

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN



**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE TRES PERFILES DE
PROTEÍNA IDEAL PARA PACOS (*Piaractus brachypomus*) EN LA
ETAPA DE CRECIMIENTO”**

Presentada por:

NORAH PATRICIA GUTIÉRREZ DE LA ROSA

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

Lima– Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE TRES PERFILES DE
PROTEÍNA IDEAL PARA PACOS (*Piaractus brachypomus*) EN LA
ETAPA DE CRECIMIENTO”**

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

Presentada por:

NORAH PATRICIA GUTIÉRREZ DE LA ROSA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Carlos Gómez Bravo
PRESIDENTE

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco
PATROCINADOR

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín
CO-PATROCINADOR

Ph.D. Carlos Vélchez Perales
MIEMBRO

Ph.D. Mariano Echevarría Rojas
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi madre Ana María,
porque fuiste, eres y serás
el motor de mi vida.

A Jorge Luis,
mi mejor amigo,
con amor y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, me gustaría agradecer profundamente al Dr. Víctor Guevara Carrasco por patrocinar esta tesis y guiarme de manera continua, por siempre tener la respuesta a mis dudas y por siempre estar ahí.

Deseo agradecer al Ing. Víctor Vergara Rubín y a la Ing. Andrea Marchan Timoran por su guía y apoyo en el tema de presupuesto de la investigación.

Un especial agradecimiento al Ing. Wilfredo Ochoa Pachas y a la ingeniera y amiga Ruth Sumarriva Loayza por su desinteresado apoyo y colaboración para la realización del análisis NIRS de mis muestras de pescado.

Agradecer al encargado del LINAPC, el Ing, Jorge Luis Rivadeneyra Pizarro a mi compañera de laboratorio y también estudiante de la Maestría en Nutrición Ing. Roxana Pillaca Llamoca, por su apoyo constante en la parte experimental.

También me gustaría agradecer a la Sra. Silvia, técnica del Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Zootecnia por su colaboración en el proceso de desgrasado de mis muestras de pescado.

Finalmente, pero no menos importante, agradecer a mi madre Ana María De la Rosa Agapito y a Jorge Luis Medrano Tinoco por su apoyo incondicional, esto es por ustedes, las personas más importantes en mi vida. Y mil veces agradecida a mi mamita Catita que desde el cielo me guio y orientó en este camino académico, siendo mi motivación constante.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1.	Paco - <i>Piaractus brachypomus</i>	2
2.1.1.	Generalidades	2
2.1.2.	Hábitos alimenticios	3
2.1.3.	Fisiología digestiva.....	3
2.1.4.	Composición corporal	4
2.1.5.	Requerimientos nutricionales	5
2.2.	Proteína ideal	6
2.2.1.	Concepto.....	6
2.2.2.	La Lisina como aminoácido de referencia.....	7
2.2.3.	Estudios de proteína ideal en peces para establecer el balance óptimo de aminoácidos en la dieta	7
2.2.4.	Enfoques para establecer perfiles de aminoácidos	8
A.	Basado en el cuerpo entero del pez	8
B.	Basado en el músculo	8
2.2.5.	Aspectos metodológicos	8
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1.	Lugar y fecha de ejecución	10
3.2.	Animales experimentales	10
3.3.	Materiales y equipos	10
3.4.	Dietas experimentales	11
3.5.	Manejo experimental	12
3.6.	Análisis de laboratorio	13
3.7.	Calidad de agua.....	15
3.8.	Parámetros productivos.....	16
3.9.	Diseño experimental	17
3.10.	Análisis estadístico.....	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1	Parámetros productivos.....	18
4.1.1.	Peso vivo y ganancia de peso	18

4.1.2.	Consumo de alimento y conversión alimenticia	20
4.1.3.	Relación de eficiencia proteica (PER)	20
4.1.4.	Tasa de crecimiento específico (TCE)	21
4.2	Composición corporal del tejido del cuerpo entero de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	22
4.2.1.	Análisis proximal	23
4.2.2.	Perfiles de aminoácidos	24
V.	CONCLUSIONES	25
VI.	RECOMENDACIONES.....	26
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
VIII.	ANEXOS	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Perfiles de proteína ideal calculados en base a lisina para la formulación de las dietas experimentales.....	12
Cuadro 2: Composición porcentual y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales para juveniles de Paco (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	14
Cuadro 3: Composición proximal analizada (promedio \pm DS) y Energía bruta estimada de las dietas experimentales proporcionadas a juveniles de Paco (<i>Piaractus brachypomus</i>)..	15
Cuadro 4: Pesos iniciales promedios de juveniles de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.....	18
Cuadro 5: Parámetros productivos de juveniles de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.....	19
Cuadro 6: Composición proximal del tejido del cuerpo entero de juveniles de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.....	22
Cuadro 7: Perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de juveniles de paco (<i>Piaractus brachypomus</i>) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Digestión de proteína en peces.....	4
Figura 2: Acuarios de crecimiento del LINAPC - UNALM	11

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y crustáceos.	33
ANEXO II: Instalaciones y Equipos del LINAPC	34
ANEXO III: Pesos vivos iniciales.	35
ANEXO IV: Perfiles de aminoácidos de los insumos de las dietas experimentales	36
ANEXO V: Parámetros productivos de pacos alimentados con 3 perfiles de proteína ideal en 3 etapas	37
ANEXO VI: Análisis estadístico del peso vivo.....	38
ANEXO VII: Análisis estadístico para ganancia de peso.	39
ANEXO VIII: Análisis estadístico para consumo de alimento.	40
ANEXO IX: Análisis estadístico para conversión alimenticia.....	41
ANEXO X: Análisis estadístico para ganancia de biomasa.	42
ANEXO XI: Análisis estadístico del PER.....	43
ANEXO XII: Análisis estadístico para TCE.	44

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue comparar tres perfiles de proteína ideal en Pacos (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de crecimiento, utilizando dietas prácticas. Se emplearon 27 juveniles de Paco (*P. brachypomus*) con un peso promedio de 191.55 ± 0.25 que fueron distribuidos aleatoriamente en 9 acuarios de crecimiento a razón de 3 peces por acuario y alimentados con 3 diferentes dietas experimentales; perfil 1: dieta basada en el perfil de proteína ideal del requerimiento de aminoácidos de Tilapia (*Oreochromis niloticus*), perfil 2: dieta basada en el perfil de proteína ideal del tejido del cuerpo entero de Paco (*P. brachypomus*) y perfil 3: dieta basada en el perfil de proteína ideal de peces Teleósteos, propuesto por el NRC; durante un periodo de 42 días. Los parámetros de performance se evaluaron cada 14 días estableciendo así tres bloques experimentales acumulativos que fueron analizados con un DBCA. El análisis de comparación de medias se realizó empleando la prueba de Tukey. Al final del experimento se beneficiaron tres peces por cada dieta experimental para determinar el perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero con NIRS. El perfil 2 fue significativamente superior que los perfiles 1 y 3 para los parámetros peso vivo y ganancia de peso; mientras que, para consumo de alimento, CA, ganancia de biomasa, PER y TCE, el perfil 2 fue superior al perfil 1 y similar al perfil 3. El perfil de aminoácidos de los peces beneficiados expresados en base a lisina fue parecido al perfil de proteína ideal basada en el perfil de proteína ideal del tejido del cuerpo entero de Paco.

Palabras claves: *Piaractus brachypomus*, proteína ideal, aminoácidos esenciales, teleósteos.

ABSTRACT

The objective of the present research work was to compare three ideal protein profiles in Pacos (*Piaractus brachypomus*) in the grower stage, using practical diets. Twenty seven juveniles of Paco (*P. brachypomus*) with an average weight of 191.55 ± 0.25 were randomly distributed in 9 growth aquariums at a rate of 3 fish per aquarium and fed with 3 different experimental diets; Profile 1: diet based on the ideal protein profile of the amino acid requirement of Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Profile 2: diet based on the ideal protein profile of the whole body tissue of Paco (*P. brachypomus*) and Profile 3: diet based on the ideal protein profile of Teleost fish, proposed by the NRC; during a period of 42 days. Performance parameters were evaluated every 14 days establishing three cumulative experimental blocks that were analyzed with a DBCA. Mean comparisons were performed using the Tukey test. At the end of the experiment, three fish were killed in each experimental diet to determine the amino acid profile of the whole body tissue with NIRS. Profile 2 was significantly higher than profiles 1 and 3 for the parameters live weight and weight gain; while, for feed consumption, CA, biomass gain, PER and TCE, profile 2 was superior to profile 1 and similar to profile 3. The amino acid profile of the killed fish expressed on the basis of lysine was similar to the dietary ideal protein profile based on the ideal protein profile of Paco's entire body tissue.

Key words: *Piaractus brachypomus*, ideal protein, indispensable amino acids, teleost

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura en la Amazonía Peruana ha crecido de forma extraordinaria en los últimos años. Ello permite vislumbrar a la actividad como uno de los motores de desarrollo, pero sobre todo para garantizar la seguridad alimentaria de las comunidades que viven en estas zonas y que dependen del pescado como fuente principal de proteína. El Paco (*Piaractus brachypomus*), pez amazónico considerado como una de las especies emergentes de dicha región, puede desarrollarse mediante la realización de estudios que permitan reducir sus costos de alimentación; en este sentido, mejorando el aprovechamiento de la proteína en la dieta, ya que es el nutriente más costoso.

Las dietas acuícolas contienen altos niveles de proteína comparado con las de animales terrestres; sin embargo, aún no existe un consenso acerca del requerimiento de proteína para Paco (*Piaractus brachypomus*). Los estudios han mostrado que el requerimiento varía de acuerdo a la edad, temperatura ambiental, sistema de crianza, calidad de agua e incluso de acuerdo a la tasa de alimentación. En especies terrestres este problema se superó empleando el concepto de proteína ideal; el cual se basa en el aporte exacto de aminoácidos sin deficiencias ni excesos que maximice la retención proteica y a la vez minimice la excreción de nitrógeno; ya que, a pesar de que existan diversos factores que cambien el requerimiento de aminoácidos, la proporción de estos permanecerá constante.

El concepto de proteína ideal se ha empleado en varias especies acuícolas, logrando maximizar la retención proteica, reducir los costos de alimentación, y reducir los efectos de la eutrofización asociados a elevados niveles de amoníaco en el agua. Si bien es cierto que hay estudios sobre el requerimiento de proteína para el Paco (*Piaractus brachypomus*) dicho requerimiento va a depender del nivel de aminoácidos y su balance óptimo. En la actualidad no existe un perfil de proteína ideal para especies amazónicas como el Paco.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar tres perfiles de proteína ideal en Pacos (*Piaractus brachypomus*) en la etapa de crecimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Paco - *Piaractus brachypomus*

2.1.1. Generalidades

De acuerdo a Lauzanne y Loubens (1985) el Paco (*Piaractus brachypomus*) tiene la siguiente clasificación taxonómica: Clase: Teleostomi; Orden: Characiformes; Familia: Serrasalminidae; Género: *Piaractus*; Especie: *Piaractus brachypomus*. Los peces teleósteos comprenden unas 30,000 especies (aproximadamente igual a todos los otros grupos de vertebrados combinados), y cada año se descubren nuevas especies (Weitzman, 2018). Los peces teleósteos presentan como principal característica la de tener un esqueleto óseo interno, además de escamas protectoras dérmicas en la superficie externa del cuerpo (MDAT–UFRGS, s.f.). Los teleósteos se distinguen principalmente por la presencia de una cola homocercal, una cola en la que las mitades superior e inferior son aproximadamente iguales (Weitzman, 2018). Asimismo, los Characiformes habitan en todo tipo de aguas dulces, incluidos bordes de riberas de maleza, estanques estancados, arroyos rápidos e incluso cuevas subterráneas (Lauzanne y Loubens, 1985).

Según Loubens y Panfili (2001), la distribución de *Piaractus brachypomus* es similar a la de *Colossoma macropomum*, que se encuentra distribuido en las cuencas del Amazonas y Orinoco, principalmente en los sistemas de ríos de la Amazonía Central; sin embargo, está alargando su área de distribución a los bajos Andes de Bolivia y Guyana.

En Perú, el Paco es una especie amazónica que se encuentra en crecimiento, como muestra PRODUCE en su Anuario Estadístico del 2015, en donde se observa que para el año 2006 la cosecha de Paco fue de 38 TN; mientras que para el año 2015 la cosecha de Paco llegó a 825 TN, dando conocimiento que es una especie con bastante potencial como fuente de proteína para años futuros.

2.1.2. Hábitos alimenticios

Lauzanne y Loubens (1985), plantearon que el Paco presenta fuertes dientes molariformes, permitiéndole alimentarse de hojas grandes, semillas o frutas que caen de los árboles. Para Gutiérrez *et al.* (1996) el paco es una especie amazónica de hábitos omnívoros, tendiendo a frugívora, ya que consume preferentemente frutos y semillas. Goulding (1980) postuló que, durante la temporada de aguas altas, las regiones terrestres son convertidas en hábitats acuáticos que ofrecen un espacio más amplio para los peces. Estos nuevos hábitats acuáticos constituyen una entrada de los nutrientes alóctonos como las frutas, los artrópodos terrestres y la materia orgánica del suelo originando una fuente suplementaria de recursos durante toda la fase de inundación. Es decir, los Pacos, son peces que varían su alimentación de acuerdo la creciente del río.

2.1.3. Fisiología digestiva

El tracto digestivo en peces teleósteos es un tubo muscular recubierto por un epitelio cuya función es la recepción y digestión del alimento. Inicia desde la boca expandiéndose a través del celoma, y finalmente se comunica al exterior por medio de un orificio anal (Tyagi y Shukla 2002). Está dividido en cavidad oral, faringe, esófago, estómago e intestino; pudiendo variar según la especie y los hábitos alimenticios. Hacen parte del sistema digestivo glándulas anexas, como hígado y páncreas, las cuales participan en la síntesis de enzimas necesaria para la digestión del material alimenticio (Ferguson 2007; Grosell 2011). Mendoza *et al.* (2013) estudiaron la histología del sistema digestivo del paco en diferentes estadios de desarrollo concluyendo que las variaciones existentes se deben a las funciones específicas de cada órgano según el proceso digestivo que desempeña.

En las especies de peces con estómagos, el pH bajo de la secreción de HCl desnaturaliza la mayoría de las proteínas a medida que se solubilizan, abriendo la estructura para facilitar el acceso de la pepsina (Bakke *et al.* 2010). Las proteínas y péptidos que ingresan al intestino, se diluyen y se disuelven en secreciones alcalinas del hígado, el páncreas y la pared intestinal. Las acciones de las endopeptidasas pancreáticas tripsina, quimotripsina y elastasas I y II, así como las exopeptidasas carboxipeptidasas A y B, dan como resultado una mezcla de aminoácidos libres y péptidos más pequeños (Kuz'mina 2008).

Los aminoácidos libres y los péptidos pequeños parecen ser absorbidos más temprano en el proceso digestivo que las proteínas que no fueron degradadas (Ambardekar *et al.* 2009). La absorción de péptidos y / o proteínas más grandes, muy probablemente por endocitosis, se ha demostrado en las regiones intestinales distales de varios peces (Bakke *et al.* 2010).

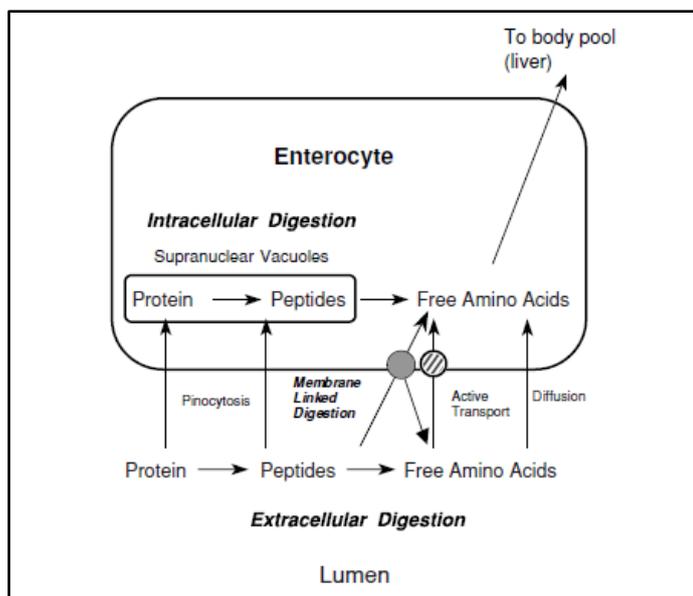


Figura 1: Digestión de proteína en peces. La digestión puede ocurrir dentro del enterocito (digestión intracelular), en asociación con membranas de enterocitos (digestión ligada a la membrana) y fuera del enterocito (digestión extracelular). FUENTE: Rust, 2002.

Composición corporal

La composición química de los peces es muy variable, pudiendo contener de 70 a 85% de humedad, 15 a 24% de proteína, 0,1 a 22% de grasa y 1 a 2% de minerales; porcentajes que pueden variar entre especies, por la época del año e incluso por el tipo y cantidad de alimento disponible (Ogawa y Koike 1987; Castagnolli 1979). Conocer la composición corporal de los peces es necesario para que su utilización en la alimentación humana pueda ser optimizada, permitiéndole así ser competencia para otras fuentes de proteínas que son ampliamente utilizadas como carne de res, cerdo y aves de corral (Bello y Rivas 1992).

En cuanto a los peces amazónicos, información acerca de la composición proximal nutricional es muy escasa. Sin embargo, el ITP (Instituto Tecnológico Pesquero del Perú) (2009) publicó un boletín informativo en donde reportó que el contenido de humedad, grasa, proteína, ceniza y energía (Kcal/100g) varían dentro de los rangos de 72.5 - 82.2%, 0.3 - 8.8%, 15.7 - 18.7%, 1.1 - 1.6% y 67.6 - 147 respectivamente.

Cho y Kaushik (1990) encontraron que dietas altas en energía tienden a incrementar el contenido de grasa en la carcasa y/o músculo en peces. Adicionalmente, Hualinga (2013) evaluó un probiótico comercial en 1224 alevinos de Paco *Piaractus brachypomus* en el IIAP – San Martín, encontrando que la composición corporal de los peces sufrió un incremento en el porcentaje de proteína, carbohidrato, ceniza y humedad en comparación a la composición inicial, mientras que la fibra se mantuvo con el mismo porcentaje y el extracto etéreo o grasa en comparación a la composición inicial se vio reducido.

2.1.4. Requerimientos nutricionales

Gutiérrez *et al.* (1996), evaluó seis dietas experimentales que contenían dos niveles de proteína bruta de 27,4 % y 29,8 % y tres niveles de energía digestible 2700, 2900 y 3100 kcal/Kg. de alimento, para determinar los requerimientos de proteína y energía y la relación óptima energía/proteína para juveniles de paco de 179 gramos. Niveles mínimos de 29,8% de proteína bruta y 2700 Kcal de ED/Kg. de alimento son los requeridos por juveniles de paco en dietas de crecimiento para obtener una adecuada ganancia de peso y una eficiente retención de proteínas, con una relación ED/proteína de 9,0 Kcal/g de proteína. Posteriormente, Bicudo (2008) demostró que juveniles de paco con peso inicial de 15 gramos tenían una exigencia mínima de 27% de proteína bruta con una relación PB/ED óptima de 92,9 mg PB/ Kcal ED (equivalente a una relación ED/PB de 10,76 Kcal/g de proteína).

Vásquez-Torres *et al.* (2011) establecieron seis dietas isoenergéticas con un valor de 3080 Kcal ED semi-purificadas con diferentes niveles de proteína bruta (16, 20, 24, 28, 32 y 36%), para determinar el requerimiento de proteína de juveniles de paco con 15 gramos de peso inicial. Los resultados mostraron que 31,6% es el requerimiento encontrado con una regresión polinomial de segundo orden. Sin embargo, para juveniles de mayor tamaño como es el caso de la evaluación de Klein *et al.* (2014) que trabajaron con pacos de peso inicial de 150 gramos criados en tanques de redes encontraron un requerimiento de proteína cruda de 26%. Basado en la importancia de la especie, Guimarães y Martins (2015) publicaron una revisión acerca de los requerimientos nutricionales que se habían investigado en los peces amazónicos Paco y Gamitana, concluyendo que a pesar de que existen investigaciones previas, es necesaria mayor investigación debido a la alta variabilidad de resultados y a la creciente importancia de estas especies.

2.2. Proteína ideal

2.2.1. Concepto

El concepto de proteína ideal fue inicialmente desarrollado por Mitchell (1964) en la Universidad de Illinois. Este concepto tuvo mucho éxito en cerdos (Milgen y Dourmad, 2015) y luego Baker y Han (1994) lo aplicaron en aves donde se desarrolló ampliamente. En ambas especies existe abundante información respecto de la relación ideal de aminoácidos tanto para mantenimiento como para ganancia de peso (Emmert y Baker 1997).

De acuerdo con Emmert y Baker (1997), la proteína ideal se define como el equilibrio exacto de aminoácidos esenciales y no esenciales, capaces de proveer, sin deficiencias ni excesos, las necesidades absolutas de todos los aminoácidos exigidos para mantenimiento y ganancia de peso. El incrementar la eficiencia en la utilización de nitrógeno puede reducir el requerimiento de proteína y además podría reducir los efectos detrimentales del nitrógeno sobre el medio ambiente (Botaro *et al.* 2007; Furuya *et al.* 2004; Baker y Han 1994). Además, este concepto se puede emplear en varias situaciones porque si bien los requerimientos absolutos de los aminoácidos pueden variar, las proporciones en relación a la Lisina se mantendrán constantes (Botaro *et al.* 2007).

En peces el concepto de proteína ideal no se encuentra del todo esclarecido. No obstante, existen algunas publicaciones acerca de su uso en la formulación de dietas, es así que fue aplicado para presentar las exigencias de aminoácidos del Bagre del Canal (*Ictalurus punctatus*) en los Estados Unidos e inicialmente aplicado en dietas para Tilapia en Brasil (Wilson y Poe 1985 y Furuya *et al.* 2004 citados por Furuya 2013). Adicionalmente, Arai (1981) fue uno de los primeros investigadores en utilizar este concepto para los peces, mostrando que la exigencia de los aminoácidos esenciales (AAE) podría expresarse como la tasa ideal de un aminoácido en relación al total de AAE, incluyendo cistina y tirosina, del tejido animal (relación A/E). Más adelante, Wilson y Cowey (1985) observaron altas correlaciones entre las exigencias en AAE de la trucha arco iris y del salmón del Atlántico con las relaciones A/E de sus carcasas. Por lo tanto, existen evidencias de que el concepto de proteína ideal también se puede aplicar en la alimentación de peces amazónicos.

2.2.2. La Lisina como aminoácido de referencia

De acuerdo con Baker y Han (1994) la lisina se ha seleccionado como el aminoácido de referencia por 3 razones importantes: Primero, el análisis en las dietas es relativamente simple y sencillo; segundo, la lisina absorbida es usada únicamente para formación de proteína muscular y tercero, existe una considerable cantidad de información acerca de su requerimiento en pollos. Esto último, Miles y Frank (2007) lo confirmaron para peces, afirmando que dependiendo de la especie de pez y del tipo de ingredientes que se utilicen en sus dietas, la lisina es usualmente el primer o segundo aminoácido limitante, por lo que se conoce más acerca de los requerimientos de lisina que de otros aminoácidos.

2.2.3. Estudios de proteína ideal en peces para establecer el balance óptimo de aminoácidos en la dieta

El concepto de proteína ideal aún no está muy difundido en todas las especies de peces. Existen ciertos perfiles de proteína ideal en Tilapia (Furuya *et al.* 2004) y Trucha arco iris (Davies y Morries, 1997). Sin embargo, es un campo que ofrece muchas oportunidades de reducir el requerimiento de proteína cruda en las dietas. Furuya *et al.* (2004) pudo reemplazar 10% de harina de pescado en dietas para tilapia (*Oreochromis niloticus*) con 10% de torta de soya agregando aminoácidos esenciales (metionina, lisina y treonina) encontrando similar ganancia de peso. Davies y Morries (1997) reemplazaron el 66% de harina de pescado con torta de soya agregando aminoácidos esenciales (metionina, lisina, triptófano, treonina, arginina e histidina) y reportaron ganancias del 90% de la ganancia del grupo alimentado con harina de pescado.

Botaro *et al.* (2007) estudiaron el concepto de proteína ideal en juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con dietas con 29% de proteína reduciendo hasta 27% con la adición de aminoácidos esenciales y además observaron un incremento lineal de la retención de nitrógeno. Un aporte diferente fue de Furuya *et al.* (2004) que mencionaron que uno de los grandes problemas de la torta de soya es que tiene baja biodisponibilidad de fósforo, por ello, la adición de fosfato dicálcico, además de los aminoácidos esenciales, es necesaria para alcanzar la misma performance.

Adicionalmente, Nguyen (2017), concluyó que el concepto de proteína ideal se puede aplicar en la formulación de dietas para tilapia del Nilo con el objetivo de optimizar el

perfil de aminoácidos de las dietas y que dicho perfil bien equilibrado puede ser utilizado para reducir los niveles de proteína intacta de 32 a 27,2% sin causar un deterioro del crecimiento de los peces. Si se reduce mucho más el nivel de proteína surge la necesidad de suplementar con aminoácidos no para superar las limitaciones del nitrógeno no específico y optimizar la eficiencia de la proteína.

2.2.4. Enfoques para establecer perfiles de aminoácidos

A. Basado en el cuerpo entero del pez

Mambrini y Kaushik (1995) compararon perfiles de aminoácidos esenciales de tres diferentes fuentes (ovas, músculo y cuerpo entero de peces) obteniendo que el perfil de aminoácidos de la carcasa íntegra (cuerpo entero) representa mejor el patrón ideal de una proteína de referencia, y que puede ser utilizado como directriz para la formulación de raciones o para estudios de requerimiento de aminoácidos. Es así que Monentcham *et al.* (2010) para la especie africana Bonytongue (*Heterotis niloticus*), de igual manera determinaron el perfil de aminoácidos de ovas y del cuerpo entero de diferentes estadios, desde larva hasta adulto maduro. De igual manera, Snellgrove y Alexander (2011), sugirieron que usar el perfil de aminoácidos del cuerpo completo en especies que no son comerciales es mucho más económico que estudios de dosis respuesta.

B. Basado en el músculo

Abimorad y Castellani (2011) determinaron la composición de aminoácidos de la carcasa íntegra (carcasa con tracto gastrointestinal vacío) y del tejido muscular del Lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) para estimar el requerimiento de aminoácidos en base a estos datos relacionándolos con el promedio de las exigencias de otras especies; concluyendo que, efectivamente, las relaciones A/E calculadas para carcasa íntegra y tejido muscular pueden ser usadas como referencia en nuevos estudios para determinar exigencias nutricionales para el Lambari-do-rabo-amarelo ya que estas coincidían con las exigencias de otras especies de peces y por ende, para la formulación de raciones.

2.2.5. Aspectos metodológicos para estudiar proteína ideal

Los métodos más empleados para establecer el perfil de proteína ideal son el método factorial, dosis respuesta y el último método más sofisticado es el método del indicador de oxidación de aminoácidos.

A. Método factorial

El método factorial se basa en que el requerimiento para determinado aminoácido se divide en requerimiento para mantenimiento, deposición proteica y crecimiento de plumas (aves). El mantenimiento es definido como la cantidad de aminoácidos para mantener en equilibrio el peso vivo. Para obtener el requerimiento digestible de un aminoácido, se divide el requerimiento neto, el cual puede ser calculado por análisis químico de los compartimientos, entre el coeficiente de utilización (Lemme, 2003).

B. Método de dosis respuesta

La debilidad del método del método factorial es la asunción de la linealidad del requerimiento porque la respuesta biológica frente al incremento de un nutriente generalmente no se comporta linealmente (Lemme, 2003). Ello se puede superar realizando estudios de dosis respuesta donde el único aminoácido que varía es el aminoácido en estudio mientras que los demás aminoácidos se encuentran en exceso. La respuesta animal puede interpretarse a través de una línea quebrada, ecuación cuadrática o exponencial, dependiendo de la respuesta (Rodehutsord y Pack, 1999). Cabe resaltar que el método de dosis respuesta es uno de los más empleados en la literatura y uno de los métodos que tiene mayor consistencia y repetibilidad (Kidd y Tillman, 2016).

C. Método de oxidación de aminoácidos

Uno de los últimos métodos para determinar el requerimiento de aminoácidos es la técnica del indicador de oxidación de aminoácidos que se basa en el concepto de que cuando un aminoácido en particular es deficiente para la síntesis de proteínas, todos los otros aminoácidos, incluyendo el aminoácido indicador (por lo general L- [1-13C] fenilalanina), serán oxidados. Esto se basa en que los aminoácidos no se almacenan y por lo tanto deben dividirse entre la incorporación como proteínas o la oxidación de los mismos (Elango *et al.*, 2008). Este es un método altamente sofisticado, sin embargo, en estudios con pollos de carne han reportado resultados comparables con los estudios de dosis respuesta (Lemme, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de ejecución

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación en Peces y Crustáceos (LINAPC), Departamento Académico de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Agraria La Molina entre los meses de enero y marzo, 2018, con una duración de 42 días.

3.2. Animales experimentales

Se emplearon 27 juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*), provenientes de la Estación Piscícola Fundo Palmeras de Silver Corporation SAC; ubicado en el Centro Poblado Villa Capiri, distrito de Río Negro, Provincia de Satipo, Departamento de Junín; que fueron pesados y distribuidos aleatoriamente en nueve acuarios de crecimiento a razón de 3 peces por acuario con peso promedio de 191.55 ± 0.25 .

3.3. Materiales y equipos

Las instalaciones del LINAPC cuentan con varios equipos y un sistema de recirculación el cual permitió mantener la calidad de agua, todo ello detallado en el ANEXO I y II. Se utilizaron 9 acuarios de crecimiento de fibra de vidrio, color blanco, liso por dentro y afuera, y frontis de vidrio de 6 mm de grosor con capacidad de 55 – 75 litros, con medidas de 45 cm. de ancho, 45 cm. de profundidad, 50 cm. de altura; tal como se muestra en la Figura 2.

Para el manejo de los animales se utilizaron mallas SERA para capturarlos, recipientes de plástico para el control biométrico, una balanza analógica marca SORES, modelo PS-R1, con capacidad para 5000g y precisión de 0.01g., para pesar el alimento suministrado y obtener el peso individual de cada animal.



Figura 2: Acuarios de crecimiento del LINAPC - UNALM

3.4. Dietas experimentales

Las dietas experimentales fueron formuladas en base al concepto de proteína ideal con el mismo nivel de energía determinado como requerimiento previamente. Se emplearon tres perfiles de proteína ideal (PPI), las cuales fueron establecidas como dietas experimentales (Cuadro 1). El nivel de lisina fue el mismo para todos los tratamientos y fue calculado en proporción al nivel de requerimiento de proteína hallado en Pacos previamente para evitar el uso de aminoácidos sintéticos. Se asumió una Relación MET / MET-CIS de 67%.

PERFIL 1: Dieta en base al perfil de proteína ideal del requerimiento de aminoácidos de Tilapia (*Oreochromis niloticus*), pez omnívoro con perfil de aminoácidos similar al del Paco determinado por Santiago y Lovell (1988).

PERFIL 2: Dieta en base al perfil de proteína ideal del tejido del cuerpo entero de Paco determinado por Vásquez-Torres y Arias-Castellanos (2013).

PERFIL 3: Dieta en base al perfil de proteína ideal de peces Teleósteos propuesto por el NRC (2011).

Cuadro 1: Perfiles de proteína ideal calculados en base a lisina para la formulación de las dietas experimentales.

Aminoácido	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
Lisina	100	100	100
Metionina	52	34	38
Cistina	11	10	16
Met + Cys	63	45	54
Treonina	73	62	56
Triptófano	20	14	14
Valina	55	68	61
Isoleucina	61	58	54
Leucina	66	104	70
Fenilalanina	73	57	55
Histidina	34	31	35
Arginina	82	89	82

PERFIL 1: PPI del requerimiento de aminoácidos de Tilapia, PERFIL 2: PPI del tejido del cuerpo entero de Paco, PERFIL 3: PPI de peces Teleósteos propuesto por el NRC.

Las dietas experimentales fueron preparadas en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina. Los ingredientes fueron molidos y luego mezclados utilizando una mezcladora horizontal de cintas por 10 minutos. Las dietas fueron sometidas a calor y presión y luego pasadas por un diámetro de 3.5mm (peletización), para finalmente ser secadas al ambiente. Las dietas fueron racionadas para cada semana y continuamente pasadas por un tamiz para evitar el exceso de polvillo y así reducir el deterioro de la calidad de agua de los acuarios. Las dietas se muestran en el Cuadro 2 y el análisis proximal de las dietas en el Cuadro 3.

3.5. Manejo experimental

Se realizó el pesaje inicial de los peces, que fueron asignados a 9 acuarios con 3 peces por acuario. Los pesajes se realizaron cada 2 semanas, obteniéndose el peso vivo para cada etapa. Al final de la evaluación, se procedió a sacrificar un pez de cada repetición para analizar la composición corporal del tejido del cuerpo entero. Posteriormente, los peces fueron congelados para su almacenamiento hasta realizar los análisis de laboratorio.

3.6. Análisis de laboratorio

El análisis químico proximal (AQP) de las dietas experimentales fueron desarrollados de acuerdo a los métodos establecidos por el AOAC (2005) en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de alimentos (LENA), Departamento de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, para lo cual se enviaron 250g de muestra de cada dieta, por duplicado.

Al finalizar el ensayo se realizó el análisis de Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (NIRS), el cual se llevó a cabo en el Laboratorio de la empresa MONTANA, que cuenta con un Analizador NIRS para estimar el perfil de aminoácidos en el tejido del cuerpo entero de los peces (cuerpo entero del pez con el tracto digestivo vacío), para lo cual se pesaron y sacrificaron 3 peces por tratamiento (1 pez de cada repetición), sumergiéndolos en agua a 10°C durante 15 minutos. Se diseccionaron, extrayendo la grasa visceral y se vaciaron los tractos digestivos con agua y junto con la carcasa, que fue trozada en 4 partes, y las branquias se pusieron en estufa a 65°C por 7 días o hasta peso constante. Se realizó una pre-molienda con un mortero; para luego utilizar un molino de discos con una malla de 2 mm. Se desgrasaron las muestras con un método de desgrasado artesanal desarrollado y comprobado por Bergeron y Benning (2011) utilizando hexano y alcohol isopropílico en una proporción 3:2, realizándose dos lavados. Una vez desgrasadas las muestras fueron rotuladas y enviadas al laboratorio para análisis respectivo.

Cuadro 2: Composición porcentual y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales para juveniles de Paco (*Piaractus brachypomus*).

COMPOSICIÓN	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
Maíz	54.05	40.65	54.27
Hna. Pescado	33.90	30.00	34.13
Hna. Soya	8.68	15.00	8.25
Hna. Trigo	0.00	10.00	0.00
Aceite de Pescado	2.77	3.75	2.74
Premix Acuicultura	0.30	0.30	0.30
Inhibidor hongos	0.10	0.10	0.10
Aquamos	0.10	0.10	0.10
Pegabind	0.08	0.08	0.08
Antioxidante	0.02	0.02	0.02
TOTAL	100.00	100.00	100.00

CONTENIDO NUTRICIONAL			
PROTEÍNA CR., %	30.030	31.079	30.000
ED, Mcal/Kg.	3.400	3.400	3.400
LIS TOTAL, %	2.050	2.050	2.050
ARG TOTAL, %	1.740	1.845	1.737
MET TOTAL, %	0.797	0.765	0.799
MET-CIS TOTAL, %	1.148	1.146	1.149
TRIP TOTAL, %	0.340	0.364	0.339
TREO TOTAL, %	1.219	1.239	1.218
GLI TOTAL, %	1.507	1.515	1.507
GLI-SER TOTAL, %	2.837	2.915	2.833
HIS TOTAL, %	0.747	0.773	0.746
ISOL TOTAL, %	1.350	1.391	1.349
LEU TOTAL, %	2.430	2.450	2.428
FENIL TOTAL, %	1.322	1.391	1.319
FEN-TIR TOTAL, %	2.544	2.619	2.540
VAL TOTAL, %	1.537	1.569	1.536
P TOTAL, %	0.999	1.003	1.003
P DISP, %	0.876	0.819	0.880
CALCIO, %	1.301	1.181	1.308
SODIO, %	0.310	0.279	0.312

PERFIL 1: PPI del requerimiento de aminoácidos de Tilapia, PERFIL 2: PPI del tejido del cuerpo entero de Paco, PERFIL 3: PPI de peces Teleósteos propuesto por el NRC.

Cuadro 3: Composición proximal analizada (promedio \pm DS) y Energía bruta estimada de las dietas experimentales proporcionadas a juveniles de Paco (*Piaractus brachypomus*).

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
Materia seca, %	94.75 \pm 0.25	94.37 \pm 0.15	94.39 \pm 0.09
Proteína cruda, %	33.12 \pm 0.12	33.17 \pm 0.21	32.81 \pm 0.45
Grasa, %	7.73 \pm 0.23	6.57 \pm 0.31	6.22 \pm 0.15
Fibra cruda, %	1.05 \pm 0.12	1.56 \pm 0.06	1.16 \pm 0.07
Ceniza, %	7.89 \pm 0.15	7.54 \pm 0.13	7.37 \pm 0.05
ELN, %	44.91 \pm 0.37	44.02 \pm 0.44	45.38 \pm 0.37
Energía Bruta, Kcal/Kg	4531.48	4409.32	4396.47

PERFIL 1: PPI del requerimiento de aminoácidos de Tilapia, PERFIL 2: PPI del tejido del cuerpo entero de Paco, PERFIL 3: PPI de peces Teleósteos propuesto por el NRC.

3.7. Calidad de agua

Las instalaciones del LINAPC fueron abastecidas con agua potable, la cual era almacenada en un tanque de 1000 litros. Se realizó la limpieza de los acuarios y filtros, dos veces por semana, al igual que el recambio del 80 por ciento de agua del sistema.

Los parámetros de calidad de agua se mantuvieron dentro de los rangos recomendados para la especie, siendo los valores igual a: 26.5°C para temperatura del acuario, <0.2ppm de nitrógeno amoniacal total, 0.05 mg/L de nitritos, 50 mg/L de dureza y 7.1 de pH, los cuales también se encontraban dentro de los rangos recomendados para peces tropicales de acuerdo con Vinatea (1997) citado por De Almeida (2006). Se asegura una buena calidad de agua debido a que el LINAPC cuenta con un sistema cerrado de recirculación y tratamiento de agua. A continuación, se detallan los equipos utilizados:

➤ Temperatura

La temperatura de los acuarios se tomó con termómetros digitales. Rango de medición de 0.0 – 60.0 °C, precisión 0.01°C; el cual era verificado con el termostato del Laboratorio. La temperatura ambiental se tomó con un termómetro ambiental de mercurio. Rango de medición de -50.0 – 50.0 °C, precisión 1°C. Ambos de marca Sper Scientific.

➤ Dureza

Se utilizó el kit de tres reactivos LaMotte. Rango de medición 0 – 200ppm, precisión 4ppm.

➤ Nitrógeno Amoniacal

Se utilizó el kit colorimétrico de La Motte. Rango de medición de 0.2 – 3.00 mg/Lt.

➤ Potencial de hidrógeno (pH)

La medida del pH se realizó mediante el phmetro lápiz Phestr 10. Rango de medición de 0.0 – 14.0, precisión 0.1.

➤ Nitritos

La concentración de nitritos se determinó con el kit colorimétrico Sera. Rango de medición de 0.0 – 5.0 mg/Lt.

3.8. Parámetros productivos

a. Peso vivo y Ganancia de peso

Al inicio y cada 14 días hasta el final del experimento se registró el peso vivo de los peces y la biomasa de cada acuario.

b. Consumo de alimento (C.A.)

Por día se ofreció una determinada cantidad de alimento, se pesó el residuo y por diferencia se obtuvo la cantidad de alimento consumido por acuario y por pez.

c. Conversión alimenticia

Se determinó dividiendo el alimento consumido en el periodo de alimentación, entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$Conv. Alim = \frac{(Consumo\ de\ alimento)}{(Ganancia\ de\ peso)}$$

d. Ganancia de biomasa

La ganancia de biomasa se determinó por diferencia entre la biomasa final e inicial.

e. Relación de Eficiencia Proteica

Es la ganancia de peso (en peso húmedo) por unidad de proteína ingerida.

$$PER = \frac{(Ganancia\ de\ peso)}{(Consumo\ de\ alimento \times contenido\ de\ prote\acute{i}na\ en\ dieta)}$$

f. Tasa de crecimiento específico

$$TCE = 100 \times \frac{[\ln(\text{peso final promedio}) - \ln(\text{peso inicial promedio})]}{\text{d\acute{a}as de experimentaci3n}}$$

3.9. Diseño experimental

Se utiliz3 un diseño completamente al azar (DCA) para analizar los pesos iniciales; mientras que los demás parámetros fueron analizados con un diseño en bloques completamente al azar (DBCA). Se bloque3 por etapa de medici3n. Para lo cual, el modelo aditivo lineal matemático fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

D3nde:

Y_{ij} = Valor del carácter estudiado en el i-3simo Perfil de Proteína Ideal en el j-3simo bloque.

μ = Medía general.

α_i = Efecto del i-3simo Perfil de Proteína Ideal.

β_j = Efecto del j-3simo bloque.

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental

3.10. Análisis estadístico

Los acuarios fueron establecidos como unidades experimentales. Los datos obtenidos de las variables evaluadas fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de Varianza (ANOVA) y prueba de comparaci3n de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Todos los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico MINITAB 18.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros productivos

4.1.1. Peso vivo y ganancia de peso

Los valores de peso inicial se muestran en el Cuadro 4 y detallado en el Anexo III. Los valores de peso vivo y ganancia de peso se muestran en el Cuadro 5 y Anexo IV. Los resultados del análisis estadístico para peso vivo y ganancia de peso se muestran en los anexos VI y VII respectivamente. Los pesos iniciales no presentaron diferencias significativas; sin embargo, los resultados de peso vivo y ganancia de peso si presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tres perfiles de proteína ideal, siendo el perfil 2 el que obtuvo mejores resultados. Esto indica que el perfil 2, basado en el tejido del cuerpo entero del Paco (*Piaractus brachypomus*), es el que se acerca mejor al requerimiento, permitiendo el mayor aprovechamiento de la proteína para ganancia de peso, indicando que existe un mejor balance entre los aminoácidos según el concepto de proteína ideal (Baker y Han, 1994).

Los resultados coinciden con las observaciones de Mambrini y Kaushik (1995) quienes compararon perfiles de aminoácidos esenciales de tres diferentes fuentes (ovas, músculo y cuerpo entero de peces teleósteos), obteniendo que, el perfil de aminoácidos del cuerpo entero representa mejor el patrón ideal de una proteína de referencia. Sin embargo, el perfil del cuerpo entero tiende a sobreestimar el requerimiento de leucina y a subestimar los requerimientos de fenilalanina y metionina, por ello sugieren emplear los valores de metionina más cistina y fenilalanina más tirosina en el perfil de cuerpo entero.

Cuadro 4: Pesos iniciales promedios de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.

PERFIL	Peso inicial, g
1	191.29
2	191.79
3	191.59
ANOVA <i>P</i> -valor	0.800

Cuadro 5: Parámetros productivos de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.

PARÁMETROS	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3	ANOVA <i>p</i>-valor
Peso vivo, g	234.44 ^c	251.89 ^a	245.38 ^b	0.001
Ganancia de peso, g	43.15 ^c	60.11 ^a	53.79 ^b	0.001
Consumo de alimento, g	88.41 ^b	97.28 ^a	95.43 ^{ab}	0.031
Conversión alimenticia	1.99 ^a	1.54 ^b	1.70 ^b	0.005
Ganancia de biomasa, g	129.44 ^b	178.19 ^a	161.37 ^a	0.002
Relación de Eficiencia Proteica, g	1.64 ^b	2.14 ^a	1.98 ^{ab}	0.050
Tasa de crecimiento específica, %/día	0.70 ^b	1.01 ^a	0.88 ^{ab}	0.028

PERFIL 1: PPI del requerimiento de aminoácidos de Tilapia, PERFIL 2: PPI del tejido del cuerpo entero de Paco, PERFIL 3: PPI de peces Teleósteos propuesto por el NRC. Valores en la misma línea con superíndices diferentes representan diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

4.1.2. Consumo de alimento y conversión alimenticia

Los resultados de consumo de alimento y conversión alimenticia se muestran en el Cuadro 5 y en detalle se muestran en el Anexo IV. Los resultados del análisis estadístico para consumo de alimento y conversión alimenticia se muestran en los Anexos XIII y IX respectivamente. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para consumo de alimento y conversión alimenticia. Con el perfil 2 se obtuvo un mayor consumo así como una menor conversión alimenticia. Estos resultados indicarían que la dieta en base al perfil 2 fue mejor recibida y mejor aprovechada por los pacos, al tener un mayor consumo de alimento y una menor conversión alimenticia. De la misma manera, Abimorad *et al.* (2010) encontró menores conversiones alimenticias con juveniles de Paco (*Piaractus brachypomus*) mientras se acercaba al requerimiento de lisina. Según Baker y Han (1994) cuando una dieta esta mejor balanceada consigue una menor conversión alimenticia que con una dieta desbalanceada.

En contraste, Tafur *et al.* (2009) mostraron menores valores de conversión alimenticia en alevines de paco criados en asociación con gamitana (*Colossoma macropomum*) y bujurquitucunaré (*Chaetobranchus semifasciatus*). Esta diferencia podría relacionarse al aporte de fuentes alimenticias propias de los estanques en dicho estudio, principalmente zooplancton.

4.1.3. Relación de eficiencia proteica (PER)

Los valores de relación de eficiencia proteica se muestran en el Cuadro 5 y en detalle en el Anexo IV. El resultado del análisis estadístico del PER se muestra en el Anexo XI. El análisis de variancia muestra que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) sólo entre los perfiles 1 y 2, ya que el perfil 3 es superior numéricamente al PER del perfil 1, e inferior numéricamente al perfil 2, pero no significativamente. Estos resultados son similares a los obtenidos por Salinas (2018), quien manifiesta que al utilizar dietas con menores contenidos de proteína (30.5%) obtuvo mejor PER que con altos valores (37.4%), esto posiblemente debido a que se da un mejor uso de los aminoácidos para síntesis proteica cuando ésta se presenta en menores niveles en la ración, ya que en niveles más elevados puede ser utilizada parcialmente como fuente de energía.

Con estos resultados, se podría asumir que el PER del perfil 2 fue superior debido al mejor balance de aminoácidos, ya que todos los perfiles tenían el mismo nivel de proteína.

4.1.4. Tasa de crecimiento específico (TCE)

Los resultados obtenidos para la tasa de crecimiento específico se muestran en el Cuadro 5 y en detalle en el Anexo IV. Los resultados del análisis estadístico de la ganancia de biomasa y TCE se muestran en los Anexos X y XII respectivamente. El análisis de variancia muestra que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para los perfiles de proteína ideal. Es así que, la TCE obtenida por los peces alimentados con el perfil 3, fue similar a la de los peces alimentados con el perfil 1 y 2.

Los resultados para TCE fueron superiores al encontrado para la gamitana en el estudio realizado por Oishi *et al.* (2010) para juveniles de peso inicial de 46.4g., así como para los obtenidos por Tueros (2018) en pacos de 104.25g. de peso vivo. Sin embargo, estos resultados fueron inferiores a lo reportado por Polese *et al.* (2010), quienes evaluaron el efecto de diferentes granulometrías del maíz de la ración en el desempeño de juveniles de paco, para animales de peso inicial de 8.6 g, donde observó una tasa de crecimiento específico de 1.14%, similar a la TCE obtenida por Salinas (2018).

En base a los resultados, se puede confirmar que los peces que fueron alimentados con el perfil de proteína ideal del tejido del cuerpo entero del paco mostraron una mejor respuesta productiva en comparación a los perfiles de proteína ideal en base a los requerimientos de aminoácidos de Tilapia (perfil 1) y el perfil propuesto por el NRC para peces teleósteos (perfil 3). Por otro lado, el hecho de que no hubo diferencia significativa entre los perfiles 2 y 3 para los parámetros consumo de alimento, C.A., ganancia de biomasa, PER y TCE podría indicar que la composición corporal en aminoácidos es un método válido para establecer el perfil de proteína ideal. Esto coincide con lo afirmado por Kaushik (1998), citado por Vásquez-Torres y Arias-Castellanos (2013), acerca de que el perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de paco (*Piaractus brachypomus*) puede ser considerado semejante al perfil promedio de aminoácidos calculado como requerimiento para los peces teleósteos.

En este estudio para establecer los perfiles de proteína ideal (aminoácidos balanceados) se trabajó con dietas prácticas y no se utilizaron aminoácidos sintéticos para lograr alcanzar los perfiles de proteína ideal de cada dieta experimental. Esto marca una diferencia importante con los trabajos publicados ya que la mayoría de estudios en los que se trabaja evaluando aminoácidos, ya sea determinando requerimientos o evaluando relaciones de aminoácidos,

suelen utilizar dietas purificadas o semi-purificadas, lo cual tienden a afectar la performance dado que reduce el consumo de alimento de los peces (Berge *et al.* 2002).

En términos más detallados, los aminoácidos tienen interacciones bastante complejas que requieren análisis más específicos que los que se realizaron en el presente estudio. No obstante, según los valores obtenidos el perfil 2, basado en el tejido del cuerpo entero del paco, obtuvo mejores resultados que el perfil 3, basado en el perfil de proteína ideal para peces teleósteos, a pesar de tener perfiles parecidos. Sin embargo, los valores de treonina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina y arginina del perfil 3 fueron inferiores al perfil 2. Lo cual pudo limitar su aprovechamiento ya que estos aminoácidos podrían estar en deficiencia. Por otro lado, el perfil 1, basado en el perfil de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) obtuvo menores resultados que el perfil 2, a pesar de que varios aminoácidos se encontraban en exceso. Probablemente podría haber interacciones antagónicas entre aminoácidos lo cual puede limitar el uso eficiente de los aminoácidos. Por lo tanto, la tilapia siendo un pez omnívoro, con similares condiciones de crianza al paco, no tiene un perfil adecuado de aminoácidos para el paco.

4.2 Composición corporal del tejido del cuerpo entero de paco (*Piaractus brachypomus*)

La composición proximal y el perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de paco se muestran en los Cuadros 6 y 7, respectivamente.

Cuadro 6: Composición proximal del tejido del cuerpo entero de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
Materia seca, %	96.00	96.66	97.51
Proteína, % MS	56.72	57.69	55.99
Grasa, % MS	13.00	9.97	11.25
Ceniza, % MS	20.44	23.76	22.20

PERFIL 1: PPI del requerimiento de aminoácidos de Tilapia, PERFIL 2: PPI del tejido del cuerpo entero de Paco, PERFIL 3: PPI de peces Teleósteos propuesto por el NRC.

Cuadro 7: Perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*) alimentados con 3 diferentes perfiles de proteína ideal.

	% de la Proteína (BS*)			% de la Lisina		
	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
Lisina	7.05	8.18	8.19	100	100	100
Metionina	2.57	2.82	2.78	36	34	34
Cistina	0.86	0.84	0.84	12	10	10
Met + Cys	3.43	3.66	3.63	49	45	44
Treonina	3.75	4.21	4.29	53	52	52
Triptófano	1.14	1.22	1.26	16	15	15
Valina	5.00	5.33	5.31	71	65	65
Isoleucina	4.41	5.00	5.11	63	61	62
Leucina	6.28	7.48	7.49	89	91	91
Fenilalanina	3.27	3.75	3.70	46	46	45
Histidina	1.54	2.08	2.05	22	25	25
Arginina	7.97	8.25	8.30	113	101	101

* En base seca

PERFIL 1: PPI del requerimiento de aminoácidos de Tilapia, PERFIL 2: PPI del tejido del cuerpo entero de Paco, PERFIL 3: PPI de peces Teleósteos propuesto por el NRC.

4.2.1. Análisis proximal

Los valores obtenidos de proteína son similares a los determinados por Abimorad *et al.* (2010) en el cuerpo completo de paco y por Vásquez-Torres y Arias-Castellanos (2013) en el tejido del cuerpo entero de la misma especie. No obstante, comparando los valores obtenidos con el contenido de proteína obtenido por Kim y Lall (2000), para el tejido del cuerpo entero de la especie marina de aguas templadas Lenguado japonés (*Paralichthys olivaceus*) éste último es superior. Una posible explicación podría ser debido al hábito alimenticio de la especie, ya que el paco es un pez omnívoro mientras que el lenguado japonés es un pez carnívoro. Por otro lado, los valores de grasa hallados son similares a los obtenidos por Kim y Lall (2000) para el lenguado japonés. Sin embargo, estos valores son menores comparados a los determinados por Abimorad *et al.* (2010) y por Vásquez-Torres y Arias-Castellanos (2013). Esta diferencia puede deberse a que las muestras de peces pasaron por un proceso de desgrasado previo, para que pueda ser analizado con el NIR, como si fuese una harina de pescado comercial.

4.2.2. Perfiles de aminoácidos

El nivel de lisina encontrado en el estudio es menor a lo determinado por Abimorad *et al.* (2008) en el músculo blanco de paco (*Piaractus brachypomus*), igual a 9.5g. lisina/Kg. de proteína. Ésta marcada diferencia es repetidamente encontrada en diferentes especies que determinaron el perfil de aminoácidos en músculo como: Róbalo común (Silvão y Nunes, 2017) y Lambari-do-rabo-amarelo (Abimorad y Castellani, 2011); lo cual puede explicarse con lo manifestado por Abimorad y Castellani (2011) acerca de que la proteína del tejido muscular presenta mayores concentraciones de aminoácidos esenciales y menores concentraciones de aminoácidos no esenciales con respecto a la proteína de la carcasa íntegra. Por otro lado, los perfiles de aminoácidos hallados son similares a los obtenidos por Van der Meer y Verdegem (1996), quienes determinaron el contenido de aminoácidos en el cuerpo entero de la gamitana (*Colossoma macropomum*).

Adicionalmente, es importante resaltar que, el contenido de aminoácidos determinado para el perfil 2 es el más parecido al perfil con el cual se formularon las dietas experimentales. Esto podría entenderse como el motivo por el cual, el perfil 2 es el que mostró los mejores parámetros productivos numéricamente y para algunos significativamente.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones que se realizó la investigación y en base a los resultados obtenidos se puede concluir:

1. El perfil de proteína ideal basado en el perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de paco (*Piaractus brachypomus*) fue significativamente superior que los perfiles de proteína ideal basado en el requerimiento de aminoácidos de la tilapia y el establecido para peces teleósteos para los parámetros peso vivo y ganancia de peso.
2. El perfil de proteína ideal basado en el perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de paco (*Piaractus brachypomus*) fue significativamente superior que el perfil de proteína ideal basado en el perfil de requerimiento de aminoácidos de la tilapia; pero similar al de los peces teleósteos para consumo de alimento, CA, ganancia de biomasa, PER y TCE.

VI. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones que se realizó la investigación y en base a los resultados obtenidos se puede recomendar:

1. Formular dietas para pacos en crecimiento empleando el perfil de proteína ideal basado en el perfil de aminoácidos del tejido del cuerpo entero de paco.
2. Realizar estudios para reducir el nivel de proteína manteniendo el balance óptimo de aminoácidos en la dieta para pacos.
3. En estudios de similares características, realizar el aminograma de las dietas y de los peces antes y después del experimento, para tener una mayor precisión en el perfil de aminoácidos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMORAD, E; SQUASSONI, G; CARNEIRO, D. 2008. Apparent digestibility of protein, energy, and amino acids in some selected feed ingredients for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition* 14: 374–380.

ABIMORAD, E; FAVERO, G; SQUASSONI, G; CARNEIRO, D. 2010. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition* 16: 370-377.

ABIMORAD, E; CATELLANI, D. 2011. Exigências nutricionais de aminoácidos para o Lambari-do-rabo-amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. *Bol. Inst. Pesca* 37(1): 31 – 38.

AMBARDEKAR, A; REIGH, R; WILLIAMS, M. 2009. Absorption of amino acids from intact dietary proteins and purified amino acid supplements follows different time-courses in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 291: 179–187.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. The Association of Official Analytical Chemists.

ARAI, S. 1981. A purified test diet for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, fry. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, Tokyo 47: 547-550.

BAKER, D; HAN, Y. 1994. Ideal Amino Acid Profile for Chicks during the First Three Weeks Posthatching. Department of Animal Sciences and Division of Nutritional Sciences, University of Illinois,

BAKKE, A; GLOVER, C; KROGDAHL, A. 2010. 2-Feeding, digestion and absorption of nutrients. In: *Fish Physiology* 30: 57-110.

BELLO, R; RIVAS, W. 1992. Evaluación y aprovechamiento de la cachama, *Colossoma macropomum* cultivada, como fuente de alimento. México. FAO, Proyecto Aquila II. 113p. (Documento de Campo, 2).

BERGE, E; SVEIER, H; LIED, E. 2002. Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) imbalanced levels of lysine and arginine. *Aquaculture Nutrition* 8: 239–248.

BERGERON, F; BENNING, M. 2011. Comparison of Two Fat Extraction Method. Consultado 10 abr 2018. Disponible en: <http://web2.slc.qc.ca/jmc/www/Chemweb/oldchemweb/extractionmethods>

BICUDO, A. 2008. Exigências nutricionais de juvenis de Pacu *Piaractus mesopotamicus*: proteína, energia e aminoácidos. Tese para obtenção de Doutor em Agronomia. Universidade de São Paulo, Brasil.

BOTARO, D; FURUYA, W; SILVA, L; DOS SANTOS, L; DE CASTRO, T; GOMES, V. 2007. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede. *R. Bras. Zootec.* 3(36): 517-525.

CASTAGNOLLI, N. 1979. Fatores que influenciam a absorção de energia nos peixes. In: *Fundamentos de nutrição de peixes*. São Paulo: Livrocetes. 108p.

CHO, C; KAUSHIK, S. 1990. Nutritional energetics in fish: Energy and Protein utilization in Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review of Nutrition and Dietetics* 61:132-172.

DAVIES, S; MORRIS, P. 1997. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed soya-based diets. *Aquaculture Research* 28:65-74.

DE ALMEIDA, L. 2006. Perfil digestivo e metabólico de juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), alimentados com diferentes teores de proteína e lipídio. Tesis para optar Mestrado em Ciências Biológicas. Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

ELANGO, R. 2008. Indicator Amino Acid Oxidation: Concept and Application. *Journal of Nutrition* 138: 243–246.

EMMERT, J; BAKER, D. 1997. Use of the ideal Protein Concept for Precision Formulation of Amino Acid Levels in Broiler Diets. Department of Animal Science, University of Illinois, Urbana, IL 61801. *Appl. Poultry Res.* 6:462-470.

FERGUSON, H. 2007. Systemic pathology of fish: A text and atlas of normal tissue in teleosts and their responses in disease. 2nd edition. Scotian Press.

FURUYA, W; PEZZATO, L; BARROS, M; PEZZATO, A; FURUYA, V; MIRANDA, E. 2004. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture Research 35: 1110-1116

FURUYA, W. 2013. Nutrição de tilápias no Brasil. Revista Varia Scientia Agrárias 3(1): 133-150.

GOULDING, M. 1980. The fishes and the forest. Exploration in Amazonian Natural History. University of California Press, Berkeley. London. 280p.

GROSELL, M. 2011. The multifunctional gut of fish. In: The fish physiology series. New York. Elsevier, Academic Press.

GUIMARÃES, J; MARTINS, G. 2015. Nutritional requirement of two Amazonian aquacultured fish species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) and *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): a mini review. J. Appl. Ichthyol. 31(4): 57–66.

GUTIÉRREZ, W; ZALDÍVAR, J; DEZA, S; REBAZA, M. 1996. Determinación de los Requerimientos de Proteína y Energía de Juveniles de Paco, *Piaractus Brachypomus*. IIAP. Folia Amazónica 8(2). 35p

HUALINGA, K. 2013. Efecto del probiótico EM® agua en el crecimiento y composición corporal de alevinos de *Piaractus brachypomus* "paco" (Cuvier, 1818) (*Pisces, Serrasalminidae*), cultivados en corrales, CICMCR-IIAP-Bello Horizonte, San Martín. Iquitos.

ITP (Instituto Tecnológico Pesquero del Perú). 2009. Boletín de investigación: Información Nutricional sobre algunos peces comerciales de la Amazonía Peruana 9: 33-34.

KIDD, M; TILLMAN, P. 2016. Key principles concerning dietary amino acid responses in broilers. Animal Feed Science and Technology 221: 314–322.

KIM, J; LALL, S. 2000. Amino acid composition of whole body tissue of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), yellowtail flounder (*Pleuronectes ferruginea*) and Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 187: 367–373.

- KLEIN, S; LORENZ, E; BUENO, G; SIGNOR, A; FEIDEN, A; BOSCOLO, W. 2014. Levels of crude protein in diets for Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) from 150 to 400g reared in cages. *Archivos de Zootecnia* 63(244): 599-610.
- KUZ'MINA, V. 2008. Classical and modern concepts in fish digestion. In: *Feeding and Digestive Functions of Fishes* 85–154.
- LAUZANNE, L; LOUBENS, G. 1985. *Peces del río Mamoré*. Orstom-Cordebeni-UTB.
- LEMME, A. 2003. The “Ideal Protein Concept” in broiler nutrition 1. Methodological aspects – opportunities and limitations. *Amino news* 4(1):1-9.
- LOUBENS, G; PANFILI, J. 2001. Biologie de *Piaractus brachypomus* (Teleostei: Serrasalmidae) dans le bassin du Mamoré (*Amazonie bolivienne*). *Ichthyol. Explor. Freshwaters* 12:51-64.
- MAMBRINI, M; KAUSHIK, S. 1995. Indispensable amino acid requirements of fish: correspondence between quantitative data and amino acid profiles of tissue proteins. *J. Appl. Ichthyol* 11: 240-247.
- MDTA (Mídias Digitais para Matemática) – UFRGS (Universidad Federal de Río Grande del Sur). s.f. Peixes. Rio Grande do Sul, Brasil. Consultado 13 dic 2018. Disponible en: http://mdmat.mat.ufrgs.br/acqua/Textos/peixes_morfo.htm
- MENDOZA, M; COMAS, J; ROMERO, C. 2013. Estudio histológico del sistema digestivo en diferentes estadios de desarrollo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev. Med. Vet.* 25, 21-38
- MILES, R; CHAPMAN, F. 2007. The concept of Ideal Protein in formulation of Aquaculture feeds. Dep of Fisheries and Aquatic Sciences. IFAS extension. Univ. of Florida.
- MILGEN, J; DOURMAD, J. 2015. Review: Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 6 (15): 2-11.
- MITCHELL, H. 1964. *Comparative nutrition of man and domestic animals*. Vol. II. Academic Press, New York. 840p.

MONENTCHAM, S; WHATELET, B; POUOMOGNE, V; KESTEMONT, P. 2010. Egg and whole-body amino acid profile of African bonytongue (*Heterotis niloticus*) with an estimation of their dietary indispensable amino acids requirements. *Fish Physiol. Biochem.* 36:531–538

NGUYEN, L. 2017. Ideal protein concept and its application in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy at Graduate Faculty of Auburn University. Alabama. 186p.

NRC (National Research Council). 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. Washington, DC: The National Academies Press.

OGAWA, M; KOIKE, J. 1987. *Manual de pesca*. Fortaleza: Associação dos Engenheiros de Pesca do estado do Ceará. 800p.

OISHI, C; NWANNA, L; PEREIRA-FILHO, M. 2010. Optimum dietary protein requirement for Amazonian tambaqui, *Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818, fed fishmeal free diets. *Acta Amazónica*, 40: 757-762.

POLESE, M; VIDAL JUNIOR, M; MENDONÇA, P; TONINI, W; RADAEL, M; ANDRADE, D. 2010. Efeito da granulometria do milho no desempenho de juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 62(6): 1469-1477.

PRODUCE (Ministerio de la Producción). 2015. *Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2015*. Lima – Perú.

RODEHUTSCORD, M; PACK, M. 1999. Estimates of essential amino acid requirements from dose-response studies with rainbow trout and broiler chicken: effect of mathematical model. *Arch. Anim. Nutr.* 52: 223-244.

RUST, M. 2002. *Nutritional physiology*. In: *Fish Nutrition*. 3rd edition. Elsevier Science.

SALINAS, A. 2018. Niveles de energía y relación proteína a energía sobre el desempeño productivo y composición corporal del paco (*Piaractus brachyomus*). Tesis Maestría UNALM.

SANTIAGO, C; LOVELL, R. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *J. Nutr* 118: 1540-1546.

SILVÃO, C; NUNES, A. 2017. Effect of dietary amino acid composition from proteins alternative to fishmeal on the growth of juveniles of the common snook, *Centropomus undecimalis*. Revista Brasileira de Zootecnia 46(7):569-575.

SNELLGROVE, D; ALEXANDER, L. 2011. Whole-body amino acid composition of adult fancy ranchu goldfish (*Carassius auratus*). British Journal of Nutrition 106: 110–112.

TAFUR, J; ALCÁNTARA, F; DEL ÁGUILA, M; CUBAS, R; MORI-PINEDO, L; CHU-KOO, F. 2009. Paco *Piaractus Brachypomus* y gamitana *Colossoma Macropomum* criados en policultivo con el Bujurqui-Tucunaré, *Chaetobranchius semifasciatus* (CICHLIDAE). Folia Amazónica 18 (1-2):97-104.

TUEROS, B. 2018. Comportamiento productivo y composición lipídica del Paco (*Piaractus brachypomus*) alimentado con diferentes relaciones de ácidos grasos Omega 6 a 3. Tesis Maestría UNALM.

TYAGI, R; SHUKLA, A. 2002. Anatomy of Fishes. Primero edición. Nueva Delhi: Anmol Publications PVT.

VAN DER MEER, M; VERDEGEM, M. 1996 Comparison of amino acid profiles of feeds and fish as a quick method for selection of feed ingredients: a case study for *Colossoma macropomum* (Cuvier). Aquaculture Research 27: 487-495.

VÁSQUEZ-TORRES, W; ARIAS-CASTELLANOS, J. 2013. Crescimento de juvenis de *Piaractus brachypomus* alimentados com dietas contendo diferentes perfis de aminoácidos essenciais. Pesq. agropec. Bras. 48(8): 849-856.

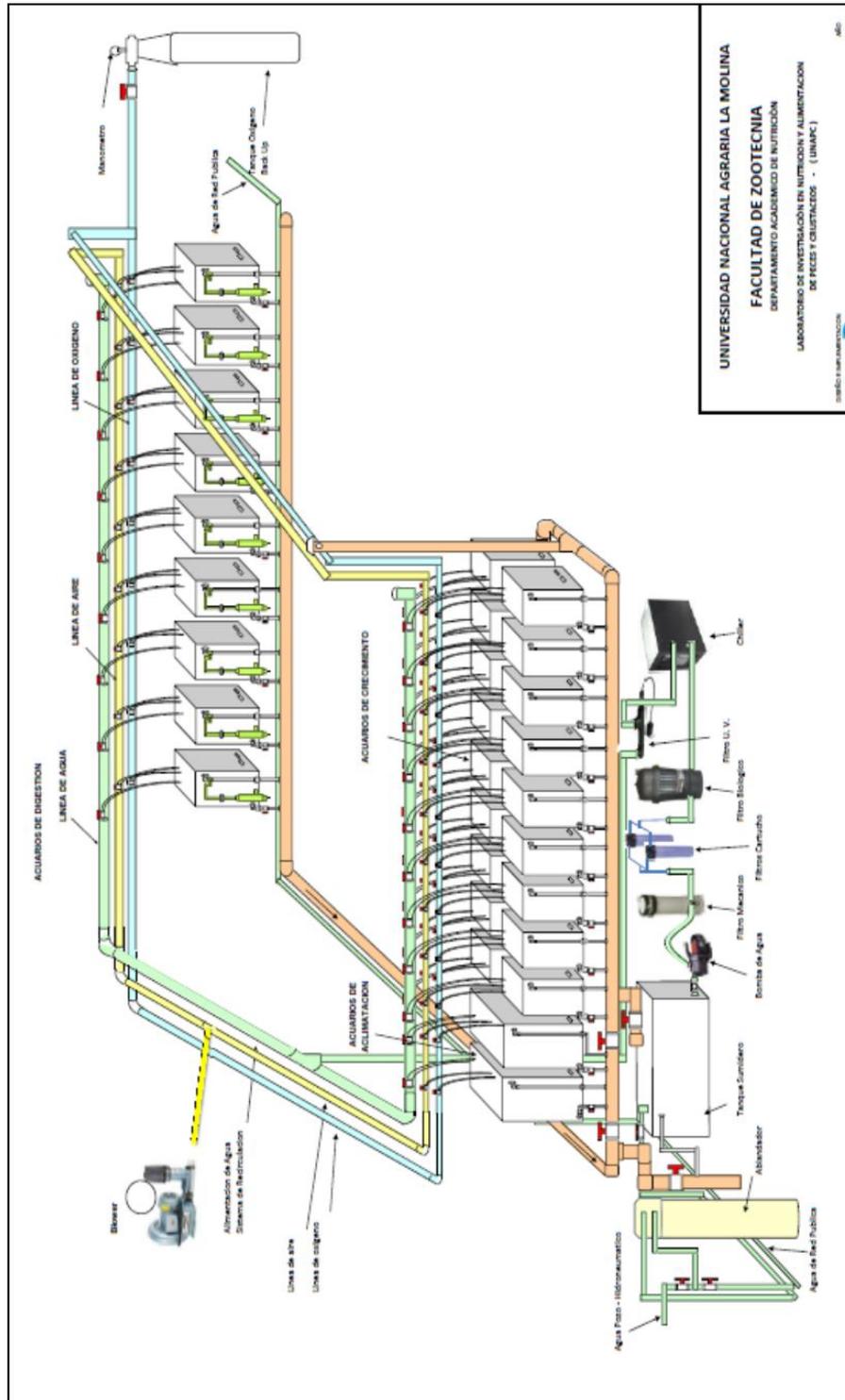
VÁSQUEZ-TORRES, W; PEREIRA-FILHO, M; ARIAS-CASTELLANOS, J. 2011. Exigência ótima de proteína bruta para juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachypomus*. Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Instituto de Aquicultura (IALL), Universidad de los Llanos. Colombia. Ciência Rural 41(12): 2183-2189.

WEITZMAN, S. 2018. Teleost (en línea). Encyclopædia Britannica. Chicago, US. Encyclopædia Britannica, inc. Consultado 13 dic 2018. Disponible en <https://www.britannica.com/animal/teleost>

WILSON, R; COWEY, C. 1985. Amino acid composition of whole body tissue of rainbow trout and Atlantic salmon. Aquaculture 48: 373-376.

VIII. ANEXOS

ANEXO I: Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y crustáceos.



ANEXO II: 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 360Lt.	Recepción directa de agua del ablandador. Consta de un desagüe por rebose y una salida hacia la bomba de agua.
Bomba de agua	1HP de potencia	Permite el movimiento del agua desde el tanque sumidero a través de todos los filtros hacia los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20 µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan el filtro mecánico con la retención de partículas de 20 µm.
Enfriador/calentador de agua	2HP 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)	1/3HP de potencia	Toma aire del ambiente y lo traslada a través de las líneas de aire hacia los acuarios, donde se encuentran las piedras difusoras de aire.
Acuarios para pruebas de crecimiento	18 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 a 75 litros de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6 mm y dimensiones de 0.47x0.47x0.50m.

ANEXO III: Pesos vivos iniciales.

	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
Repetición 1	191.47	192.54	192.26
Repetición 2	192.08	190.86	191.99
Repetición 3	190.32	191.96	190.51
χ	191.29	191.79	191.59
<i>cv</i>	<i>0.47</i>	<i>0.44</i>	<i>0.49</i>

Cada repetición es el promedio de 3 peces

ANEXO IV: Perfiles de aminoácidos de los insumos de las dietas experimentales

	Maíz	Hna. Pescado	Hna. Soya	Hna. Trigo
Materia Seca, %	86.45	88.00	87.46	88.00
Proteína cruda, %	7.28	66.00	46.50	16.00
Ext. Etéreo, %	3.70	9.30	1.50	3.50
Fibra cruda, %	2.20	0.50	4.40	1.50
Nifex, %	72.07	5.10	28.35	64.50
Ceniza, %	1.20	15.00	6.40	2.50
E. Dig., Mcal/Kg.	3.10	3.00	3.00	2.80
Lisina total, %	0.23	4.96	2.83	0.45
Arginina total, %	0.35	3.71	3.38	0.82
Metionina total, %	0.15	1.95	0.63	0.25
Met-Cis total, %	0.31	2.55	1.31	0.57
Triptófano total, %	0.06	0.75	0.63	0.21
Treonina total, %	0.26	2.71	1.82	0.46
Glicina total, %	0.37	3.33	2.05	0.58
Gli-Ser total, %	0.77	5.98	4.53	1.29
Histidina total, %	0.21	1.55	1.24	0.36
Isoleucina total, %	0.24	3.05	2.12	0.59
Leucina total, %	0.86	4.89	3.54	1.03
Fenilalanina total, %	0.35	2.73	2.39	0.72
Fen-tir total, %	0.92	4.94	4.29	1.20
Valina, %	0.34	3.42	2.22	0.71
P total, %	0.23	2.43	0.62	0.90
P disponible, %	0.06	2.43	0.25	0.30

ANEXO V: Parámetros productivos de pacos alimentados con 3 perfiles de proteína ideal en 3 etapas

BLOQUE*	PERFIL	PESO VIVO	GANANCIA DE PESO	CONSUMO	C.A.	GANANCIA BIOMASA	PER	TCE
1	1	210.92	19.63	35.84	1.83	58.89	1.78	0.69
	2	225.95	34.16	41.08	1.20	96.06	2.67	1.17
	3	217.41	25.83	37.70	1.46	77.48	2.27	0.90
2	1	233.78	42.49	85.97	2.02	127.48	1.60	0.71
	2	251.45	59.67	98.60	1.65	179.00	1.93	0.96
	3	246.65	55.06	94.96	1.72	165.19	1.92	0.90
3	1	258.60	67.31	143.43	2.13	201.94	1.53	0.71
	2	278.29	86.50	152.17	1.76	259.50	1.83	0.89
	3	272.06	80.48	153.61	1.91	241.43	1.74	0.83
ANOVA P-valor		0.001	0.001	0.031	0.005	0.002	0.050	0.028

**BLOQUE 1: 1 – 14 días, BLOQUE 2: 1 – 28 días, BLOQUE 3: 1 – 42 días*

Los valores son el promedio de 3 repeticiones, cada una con 3 peces por acuario.

ANEXO VI: Análisis estadístico del peso vivo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	3987.15	1993.58	499.20	0.000
PERFIL	2	467.21	233.60	58.50	0.001
Error	4	15.97	3.99		
Total	8	4470.33			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
2	3	251.897	A
3	3	245.373	B
1	3	234.433	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO VII: Análisis estadístico para ganancia de peso.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	3987.15	1993.58	500.27	0.000
PERFIL	2	441.16	220.58	55.35	0.001
Error	4	15.94	3.98		
Total	8	4444.25			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
2	3	60.1100	A
3	3	53.7900	B
1	3	43.1433	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO VIII: Análisis estadístico para consumo de alimento.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	18659.7	9329.84	1329.79	0.000
PERFIL	2	131.3	65.64	9.36	0.031
Error	4	28.1	7.02		
Total	8	18819.0			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
2	3	97.2833	A
3	3	95.4233	A B
1	3	88.4133	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO IX: Análisis estadístico para conversión alimenticia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	0.29936	0.149678	24.10	0.006
PERFIL	2	0.32216	0.161078	25.93	0.005
Error	4	0.02484	0.006211		
Total	8	0.64636			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
1	3	1.99333	A
3	3	1.69667	B
2	3	1.53667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO X: Análisis estadístico para ganancia de biomasa.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	36889.2	18444.6	441.24	0.000
PERFIL	2	3679.0	1839.5	44.01	0.002
Error	4	167.2	41.8		
Total	8	40735.4			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
2	3	178.187	A
3	3	161.367	A
1	3	129.437	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO XI: Análisis estadístico del PER.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	0.4844	0.24221	8.41	0.037
PERFIL	2	0.4001	0.20004	6.95	0.050
Error	4	0.1152	0.02879		
Total	8	0.9997			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
2	3	2.14333	A
3	3	1.97667	A B
1	3	1.63667	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

ANEXO XII: Análisis estadístico para TCE.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
BLOQUES	2	0.01829	0.009144	1.32	0.363
PERFIL	2	0.13896	0.069478	10.03	0.028
Error	4	0.02771	0.006928		
Total	8	0.18496			

Prueba de Tukey:

PERFIL	N	Media	Agrupación
2	3	1.00667	A
3	3	0.87667	A B
1	3	0.70333	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.