

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE AMINOÁCIDOS
ESENCIALES DEL PAICHE (*Arapaima gigas*) EN BASE A LA
COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS EN EL MÚSCULO”**

Presentada por:

JULIO CESAR OROSCO NAPAN

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

Lima - Perú

2022

Document Information

Analyzed document	TESIS MAESTRIA JULIO OROSCO FINAL FIRMADO (1).docx (D154086790)
Submitted	12/20/2022 3:15:00 PM
Submitted by	Víctor Jesús Vergara Rubín
Submitter email	vjvergara@lamolina.edu.pe
Similarity	14%
Analysis address	victor.jesus.vergara.rubin.unalm@analysis.arkund.com



Sources included in the report

W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/185669111.pdf Fetched: 8/1/2020 4:44:17 AM	 5
W	URL: https://1library.co/document/ye8j41ry-estimacion-requerimiento-aminoacidos-esenciales-piaractu... Fetched: 1/2/2022 6:35:49 PM	 1
W	URL: http://docplayer.es/145434641-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html Fetched: 1/2/2022 6:35:48 PM	 3
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS NIVELES E-P PAICHE - JURADO (1).docx Document TESIS NIVELES E-P PAICHE - JURADO (1).docx (D138395184) Submitted by: jesvargas@lamolina.edu.pe Receiver: jesvargas.unalm@analysis.arkund.com	 13
SA	Albinagorta_Ponce_Aracelli_Titulo_Profesional_2016.pdf Document Albinagorta_Ponce_Aracelli_Titulo_Profesional_2016.pdf (D29205665)	 1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS E-P PAICHE CORREGIDO final _LELIS MASULI.docx Document TESIS E-P PAICHE CORREGIDO final _LELIS MASULI.docx (D154086724) Submitted by: vjvergara@lamolina.edu.pe Receiver: victor.jesus.vergara.rubin.unalm@analysis.arkund.com	 6
SA	DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DIGESTIBLE DEL MAÍZ (Zea mays) EN JUVENILES DE PAICHE (Arapaima gigas)_.docx Document DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DIGESTIBLE DEL MAÍZ (Zea mays) EN JUVENILES DE PAICHE (Arapaima gigas)_.docx (D142307029)	 2
W	URL: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7212381.pdf Fetched: 7/22/2020 12:35:54 AM	 3
SA	EXPOSICIÓN.docx Document EXPOSICIÓN.docx (D53879196)	 7

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE AMINOÁCIDOS
ESENCIALES DEL PAICHE (*Arapaima gigas*) EN BASE A LA
COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS EN EL MÚSCULO”**

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

Presentada por:

JULIO CESAR OROSCO NAPAN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Carlos Vilchez Perales
PRESIDENTE

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín
ASESOR

Mg.Sc. Jessie Vargas Cárdenas
MIEMBRO

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco
MIEMBRO

A mis padres Julio, Martha y mi hermano Gustavo por todo su apoyo incondicional y a los eventos que he vivido hasta ahora. Asimismo, a los miembros del jurado por sus observaciones, las cuales fueron fundamental para la elaboración de la presentetesis; y no olvidar los comentarios del Dr. Sadasivam Kaushik.

A mis abuelos, a mi tía y a mi padrino, que cuando era niño me inculcaron hábitos y me enseñaron lo que pudieron en su tiempo, sentando mucho de mi formación analítica que me ha ayudado en el desarrollo de la tesis.

AGRADECIMIENTOS

Al Mg. Sc. Víctor Vergara Rubín, por su asesoría y apoyo fundamental en el desarrollo de la presente tesis.

Al Ph.D. Víctor Guevara Carrasco, por sus observaciones, consejos científicos, los cuales fueron importantes en la base del marco teórico. A la Mg. Jessie Vargas Cárdenas, por sus observaciones en la tesis y su apoyo en la información y al Ph.D. Carlos Vilchez Perales, por sus indicaciones en la presentación de la tesis y su consejo final al término de la sustentación.

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), por haberme otorgado la beca y haber hecho posible la realización de la maestría de nutrición y el presente trabajo de investigación.

Al personal técnico del LINAPC por sus consejos y aportes en la etapa experimental.

A la Sra. Silvia encargada del Laboratorio de Nutrición Animal por su apoyo en el procesamiento de las muestras y análisis.

A mis amigos y compañeros de la maestría en Nutrición, que me apoyaron durante el beneficio de los Paiches.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Características generales del Paiche	3
2.1.1. Habidad y localización geográfica	3
2.1.2. Descripción y comportamiento productivo	3
2.1.3. Hábitos alimenticios	4
2.2. Condiciones medioambientales.....	5
2.3. Requerimiento de proteína en peces	6
2.3.1. Nivel de proteína en peces	6
2.3.2. Aminoácidos esenciales en peces.....	7
2.4. Metodologías de estimación de aminoácidos esenciales en peces.....	11
2.4.1. Acreción de Proteína	11
2.4.2. Relación de la composición de tejido con los requerimientos de AAE.....	12
2.4.3. Perfil de aminoácidos del todo el cuerpo y huevo de pez.....	12
2.4.4. Relación de amino esencial entre total de aminos esenciales (A/E).....	13
2.4.5. Proteína ideal.....	15
2.5. Fórmula de Kaushik.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Material biológico experimental	20
3.3. Análisis de laboratorio	22
3.5. Estimación el requerimiento de aminoácidos esenciales en base a la composición de aminoácidos en el músculo del Paiche	22
3.6. Perfil ideal de AAE	23
3.7. Análisis estadísticos	23

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Perfil de aminoácidos del músculo de paiche	24
4.2. Estimación de cisteína en el músculo de paiche	29
4.3. Estimación el requerimiento de aminoácidos esenciales y el perfil de proteína ideal	31
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	39
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
VIII. ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de los parámetros de calidad de agua para el manejo de paiches.....	6
Tabla 2. Fórmula de la dieta que generó mayor crecimiento en juveniles de paiche.....	21
Tabla 3. Perfil de aminoácidos en el músculo del <i>Arapaima gigas</i> (g/16gN)	25
Tabla 4. Valores de arginina en el músculo de peces con hábitos alimenticios distintos.....	26
Tabla 5. Relación aminoácido esencial/total de aminoácidos esenciales (A/E) del tejido muscular del <i>Arapaima gigas</i>	32
Tabla 6. Estimación de requerimientos de aminoácidos esenciales y perfil de la Proteína ideal para <i>Arapaima gigas</i>	34

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1	Requerimientos de aminoácidos esenciales estimados en especies de peces en base a la composición corporal(g/16gN).....55
Anexo 2	Requerimientos de aminoácidos esenciales estimados en especies de peces en base a la composición del músculo (g/16gN).....56
Anexo 3	Efecto de dos niveles de energía y dos relaciones energía proteína sobre el desempeño productivo de juveniles de paiche.....57
Anexo 4	Aminoácidos esenciales en especies acuícolas de agua dulce en base a la composición muscular (g/16gN) incluyendo cisteína y tirosina.....58
Anexo 5	Perfil de aminoácidos AAE Y AANE (g/16g N) en base seca del músculo de <i>Arapaima gigas</i>59
Anexo 6	Perfil de aminoácidos (g/16g N) de proteína de músculo en base seca de <i>Arapaima gigas</i> y coeficiente de correlación.....60
Anexo 7	Coficiente de correlación de la proporción de AAE/ Lisina contenido en el músculo de <i>Arapaima gigas</i>61
Anexo 8	Resultados del perfil de aminoácidos del tejido muscular del <i>Arapaima gigas</i>62
Anexo 9	Estimación del contenido de cisteína (g/16g N)63
Anexo 10	Perfil de aminoácidos esenciales del tejido muscular de <i>Arapaima gigas</i> incluyendo los valores de cisteína y tirosina.....64

Anexo 11	Aminoácidos esenciales en la dieta y requerimiento estimado en el estudio.....	65
Anexo 12	Comparación de contenido de AAE expresados en g/16g N de las muestras de musculo de paiche.....	66
Anexo 13	Comparación de la relación de A/E de las muestras de músculo de paiche con otro estudio.....	67
Anexo 14	Comparación del requerimiento estimado de AAE para paiche	68
Anexo 15	Comparación del requerimiento estimado de AAE obtenido en la investigación con otro requerimiento estimado para paiche.....	69
Anexo 16	Correlación entre requerimientos determinados y estimados de otras especies carnívoras(g/16gN).....	70
Anexo 17	Calidad de agua de los acuarios.....	71
Anexo 18	Peso vivo de paiches y rendimiento de los músculos.....	72
Anexo 19	Análisis químico proximal del músculo de juveniles de paiche.....	73
Anexo 20	Análisis químico proximal de la dieta experimental.....	74
Anexo 21	Composición de la premezcla de vitaminas y minerales.....	75
Anexo 22	Instalaciones y equipos del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC).....	76
Anexo 23	Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC).....	77

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar el requerimiento de aminoácidos esenciales (AAE) para Paiche, utilizando el perfil de aminoácidos esenciales del músculo, para lo cual se utilizaron 8 juveniles de Paiche con un peso promedio en gramos de 936.02 ± 152.85 , los cuales estuvieron en ayuno por 24 horas antes de ser beneficiados mediante golpe de frío, siendo seguidamente eviscerados, degollados, desollados y deshuesados, obteniendo el músculo limpio y secados mediante el Método de Desecación por estufa, obteniendo 3 muestras para su posterior análisis químico. Los resultados estimados del requerimiento de AAE fueron obtenidos a partir de la relación de aminoácido esencial entre el total de aminoácidos esenciales (A/E) del músculo y el requerimiento determinado de lisina para el Dorado (*Salminus brasiliensis*), el cual es 5.0 g/16g N. Además, se comparó el perfil de aminoácidos esenciales del músculo, la relación de A/E del músculo y el requerimiento estimado de AAE obtenido en la presente investigación con los valores reportados en otras especies, y principalmente con el estudio realizado en Brasil en la especie *Arapaima gigas*, a través de la Prueba T-Student con un nivel de significancia de 0.05. Los resultados obtenidos indican que el perfil AAE del músculo reportado en el estudio de Brasil presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto perfil de AAE del músculo de la presente investigación solo para los aminoácidos arginina, leucina y treonina; sin embargo, al comparar el requerimiento estimado de arginina, leucina, Met+Cys, Phe+Tyr, treonina, triptófano y valina presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Adicionalmente, se correlacionó el requerimiento estimado de AAE reportado en Brasil con los valores obtenidos en la presente investigación, obteniendo un $r = 0.74$. En conclusión, el requerimiento estimado de AAE en la presente investigación es válido y aplicable para la formulación de dietas mientras aún no exista el requerimiento de los 10 AAE determinados por ensayos de dosis-respuesta; en consecuencia, los valores recomendados expresados en g/16g N son para Arginina (6.77), Histidina (1.03), Isoleucina (2.47), Leucina (4.35), Lisina (5.00), Metionina+Cisteína (2.16), Fenilalanina+Tirosina (4.16), Treonina (1.39), Triptófano (0.43) y Valina (2.21).

Palabras claves: proteína ideal, cisteína, *Arapaima gigas*, relación A/E, requerimiento estimado de AAE

ABSTRACT

The objective of the present research work was to estimate the essential amino acids requirement (EAA) for paiche, using the profile essential amino acids of the muscle, for which 8 juveniles of Paiche were used with an average weight in grams of 936.02 ± 152.85 , which were fasting for 24 hours before being benefited through cold shock, then being gutted, slaughtered, skinned and boned, obtaining the clean muscle and then dried by means of the Oven Desiccation Method, obtaining 3 samples for subsequent chemical analysis. The estimated results of the EAA requirement were obtained from the essential amino acid ratio between the total essential amino acids (A/E) of the muscle and the determined lysine requirement for dorado (*Salminus brasiliensis*), which is 5g/16g N. Likewise, the essential amino acid profile of the muscle, the A / E ratio of muscle and the estimated requirement of EAA obtained in the present research were compared with the values reported in other species and mainly with the study carried out in Brazil in the Arapaima gigas, through the T-Student test with a significance level of 0.05. The results obtained indicate that the muscle EAA profile reported in the study carried out in Brasil presents significant differences ($p < 0.05$) with the muscle EAA profile of the present research only for the amino acids arginine, leucine and threonine; however, comparing the estimated requirement of EAA, the values of arginine, leucine, Met + Cys, Phe + Tyr, threonine, tryptophan and valine showed significant differences ($p < 0.05$). Additionally, the estimated requirement of EAA reported in Brazil was correlated with the values obtained in the present investigation, obtaining an $r = 0.74$. In conclusion, the estimated requirement of EAA in the present research work is valid and applicable for the formulation of diets while have not been determined the requeriment of 10 EAA by dose-response tests; in consequence, recommended values expressed in g / 16g N are Arginine (6.77), Histidine (1.03), Isoleucine (2.47), Leucine (4.35), Lysine (5.00), Methionine+Cysteine (2.16), Phenylalanine+Tyrosine (4.16), Threonine (1.39), Tryptophan (0.43) and Valine (2.21).

Keywords: ideal protein, cysteine, *Arapaima gigas*, A/E ratios, estimated requirement of EAA

I. INTRODUCCIÓN

El paiche (*Arapaima gigas*) es el sexto pez de agua dulce más grande del mundo y habita extensivamente en el río Amazonas. La producción de paiche tiene un impacto social y económico para las empresas y familias que se dedican a su crianza, siendo la nutrición un punto crítico en la producción de paiche, especialmente en la formulación de dietas. Aunque el requerimiento de proteína en alevines y juveniles ha sido estudiado en forma amplia y determinado por estudios de dosis – respuesta (Vergara *et al.* 2016a); el requerimiento de aminoácidos esenciales para juveniles de paiche aún es limitado.

Por consiguiente, existe una dificultad en la formulación de dietas, dado que los aminoácidos esenciales (AAE) en las dietas comerciales se basan principalmente en el requerimiento de AAE para otras especies de peces como el salmón o trucha, basándose en que los requisitos de aminoácidos esenciales son similares entre las especies de peces carnívoros (NRC 2011). No obstante, si se conociera los requerimientos de aminoácidos esenciales (AAE) determinados por ensayos de dosis-respuesta, la formulación de dietas para paiche sería más precisa, reduciendo de esta forma el porcentaje de proteína en la dieta, los costos directos de la dieta serían óptimos y por ende aumentaría la rentabilidad por kilogramo de paiche producido.

La determinación del requerimiento de AAE por medio de estudios de dosis-respuesta sigue siendo la metodología con mayor precisión, donde los peces son alimentados con dietas purificadas y con ingredientes de alta digestibilidad (NRC 2011), pero debido a sus costos de investigación, no es aplicable para obtener información sobre los requerimientos de AAE en corto tiempo. Por tal, la estimación de requerimientos mediante el perfil de aminoácidos en el músculo es una herramienta práctica y confiable que permite obtener una información sobre tales requerimientos (Hossain *et al.* 2011; Borgues *et al.* 2014).

La estimación del requerimiento de AAE, ha sido utilizado por más de 20 años en diversas investigaciones, considerando el perfil de AAE de todo el tejido corporal, tejido muscular y huevos, asimismo, las relaciones entre aminoácidos tal como se observa en la investigación Arai (1981), considerando el requerimiento estimado de AAE como la relación de cada AAE entre el total de aminoácidos esenciales (TAAE) multiplicado por 1000, siendo representado en la literatura como relación A/E.

El estudio realizado por Wilson y Poe (1985), al correlacionar la relación de A/E de cada aminoácido esencial del tejido corporal de muestras de alevines de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) de 30 gramos de peso vivo, con la relación de A/E del requerimiento de AAE para alevín de bagre de canal, determinados por ensayos de dosis-respuesta, obtuvieron un coeficiente de correlación igual a 0.96. Asimismo, estudios donde dietas balanceadas fueron formuladas simulando la relación de A/E del músculo como patrón de requerimiento de AAE, mejoraron los parámetros productivos, ganancia de peso y eficiencia alimenticia en el pez (Small y Soares Jr 1998; Espinosa-Chaurand *et al.* 2013; Silvãõ y Nunes 2017).

La primera estimación sobre el requerimiento de AAE para paiche ha sido realizado en Brasil y reportado por Rodrigues *et al.* (2021), quienes utilizaron una adaptación de la metodología propuesta por Meyer y Fracalossi (2005), cuya muestra fue juveniles provenientes de rios y de piscigranjas, de dos pesos distintos (1.7 y de 10.5 kg). Sin embargo, los peces fueron alimentados con una dieta comercial con 40 por ciento de proteína cruda (PC), siendo este valor inferior al porcentaje de PC reportado por los autores, Medeiros *et al.* (2019); Casado del Castillo *et al.* (2020), quienes registraron una mayor ganancia de peso y eficiencia alimenticia en juveniles de paiche, cuando el porcentaje de PC en la dieta se encuentra entre 44 por ciento y 48 por ciento; asimismo, la ausencia de ensayos de crecimiento utilizando el requerimiento estimado de AAE para juveniles paiche reportados por Rodrigues *et al.* (2021), conlleva a realizar más investigaciones sobre la estimación del requerimiento de AAE, con dietas que generen máximo crecimiento y eficiencia alimenticia.

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo estimar el requerimiento de AAE de juveniles de paiche, en base a la composición de los aminoácidos contenidos en el músculo, cuyos peces obtuvieron un máximo crecimiento con una dieta de 50 por ciento de PC; asimismo, el perfil ideal de AAE se expresó bajo el concepto de proteína ideal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PAICHE

2.1.1 Hábitat y localización geográfica

El paiche (*Arapaima gigas*) es originario de la cuenca del Amazonas, el cual tiene diferentes nombres, “Pirarucú” en Brasil, “Warapaima” en Guyana y “De-chi” en Colombia (IIAP 2007). En el Perú, el Paiche se encuentra entre las cuencas bajas de los ríos Napo, Putumayo, Marañón, y Ucayali, y en gran cantidad en la reserva nacional Pacaya – Samiria (MINCETUR 2015).

Pertenece a la familia de los Arapaimidae (Osteoglossidae), orden Clupeiforme y súper orden Osteoglossomorpha, considerado como uno de los mayores peces de agua dulce, alcanzando en estado adulto, la longitud de 3 metros y pesos superiores a los 200 kg.

2.1.2 Descripción y comportamiento productivo

El paiche presenta una cabeza pequeña con relación a cuerpo y su coloración es ceniza oscura, siendo el borde de las escamas de color amarillo o rojizo, asimismo, tiene aletas pequeñas que están orientadas hacia atrás con un revestimiento de escamas cicloides que cubren su cuerpo, el cual tiene forma alargada. Durante el período de reproducción, los ejemplares machos tienen una acentuada coloración oscura en la región dorsal (Franco 2005).

El comportamiento reproductivo del paiche es complejo, debido a formación de parejas dominantes, las cuales establecen su territorio y la defienden de otros individuos de su misma especie , así como, de otros peces (Fontenele 1948; Alcántara *et al.* 2006).

La construcción de nidos es una característica propia del comportamiento de esta especie, construyéndolos en las orillas de los ríos, a niveles poco profundos del suelo, generalmente menor a un metro. Los paiches llegan a pesar entre 8 y 12 kg al año con un rendimiento en músculo limpio (filete) alrededor del 52 por ciento, además de tener un buen sabor, color y textura, siendo valor agregado los subproductos obtenidos como escamas y piel (Udewald 2005; Chu-Koo y Alcántara 2009; Chu-Koo *et al.* 2012).

Según Chu-Koo *et al.* (2017), la clasificación de los paiches de acuerdo con su etapa de ciclo biológico son: larva, alevino, juvenil y reproductor, cuyas tallas son: 10 mm, 2 a 20 cm, hasta 1.5 m y mayor a 1.7 m respectivamente, así como su edad de cada estado fisiológico se clasifica en 0 a 8 días (larvas), 9 días a 3 meses (alevino), 3 meses a 3 años (juvenil) a partir de 4 años (reproductor).

2.1.3 Hábitos alimenticios

El paiche tiene un hábito alimenticio carnívoro, pero en sus primeras etapas tiene un comportamiento omnívoro con una dieta natural compuesta principalmente de invertebrados acuáticos, como insectos, moluscos y crustáceos (EMBRAPA 2015); sin embargo, en etapas posteriores se alimenta de otros peces pequeños entre ellos bujurqui, boquichico, guppi, mojarra, etc., en una proporción de 8 a 10 por ciento de su peso vivo, cuando es joven, y de 6 por ciento cuando es adulto (IIAP 2007).

El paiche caza a través de una fuerte succión, produciendo un chasquido con un brusco movimiento de la cabeza. Por otra parte, la crianza de paiche en sistemas intensivos permite la alimentación con peces vivos, muertos e incluso alimento balanceado (Alcántara *et al.* 2006; Chu-Koo *et al.* 2006; Rodríguez *et al.* 2015).

Según Sagratzki *et al.* (2003), el cultivo de peces carnívoros se ve obstaculizada al no aceptar de manera voluntaria raciones balanceadas; sin embargo, el paiche acepta con facilidad el alimento balanceado debido a una adecuada adaptación en la fase de alevines con el reemplazo del alimento vivo en forma gradual por el alimento balanceado. Además, los peces carnívoros poseen una alta eficiencia a nivel digestivo y enzimático con alimentos de origen animal, a diferencia de los peces omnívoros, por lo que requieren un alto contenido

de proteínas de excelente calidad, en las dietas que se utilizan en sistemas intensivos (Marculino 2012).

Para Yúfera y Darias (2007), la eficacia de la adaptación del pez al alimento balanceado está en función de la calidad, la composición del alimento, del tamaño de partícula (en relación con la etapa biológica del pez), de la textura, de la palatabilidad, de la disponibilidad y la dinámica en la columna de agua, la cual debe estar adaptada a la estrategia de alimentación del pez (la forma en que el pez atrapa el alimento o lo succiona), por tal motivo, la presentación del alimento debe considerar los factores físicos que garanticen un consumo adecuado.

2.2 CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES

El paiche vive en cuerpos de agua dulce (aguas continentales) con temperatura ambiental cercana a los 26 °C y con una precipitación anual mayor a 2000mm (Franco y Peláez, 2007). El paiche debido a su anatomía y fisiología presenta respiración acuática y aérea, por lo cual sube a la superficie del agua en intervalos de 5 a 15 minutos para captar el aire atmosférico, cuya capacidad de almacenamiento de oxígeno es gracias a su pulmón primitivo (Castello y Stewart 2010). Asimismo, se adapta en ambientes con hipoxia, presenta una capacidad de tolerar el amonio, lo cual le da una ventaja para la crianza intensiva con respecto a otras especies (Burton *et al.* 2016).

En los sistemas intensivos, la calidad del agua debe mantenerse en valores adecuados que permitan un desarrollo óptimo del paiche, evitando de esta forma alteraciones metabólicas por intoxicación de nitritos, nitratos, la competencia por el oxígeno disuelto con otros organismos o la disminución del consumo de alimento por el efecto de la temperatura (IIAP, 2017). Los parámetros de calidad de agua para crianza de paiches según IIAP (2017) se muestran en la Tabla 1

Tabla1. Valores de los parámetros de calidad de agua para paiches

Parámetro	Unidades	Rango adecuado	Rango óptimo
Temperatura	°C	25 - 31	27 - 29
Oxígeno disuelto	mg/L	4-7	>5
Amonio	mg/L	<0.05	<0.02
Nitritos	mg/L	<0.05	Ausente
Conductividad eléctrica	μS/cm	10-60	25 - 40
pH		5-8	6-7

2.3. REQUERIMIENTO DE PROTEINA Y AMINOÁCIDOS EN PECES

2.3.1. Nivel de proteína

El nivel de proteína se ve afectada por la energía contenida en la dieta y la relación con esta, así como compuestos no-nitrogenados y la etapa del ciclo biológico del pez. La energía que aporta el exceso de proteína en la dieta es un factor que afecta el consumo del alimento, por lo cual, los peces ingieren hasta cubrir sus requerimientos energéticos (Wilson y Halver 1986); además existe una relación de decrecimiento en el requerimiento proteico en la dieta de los peces, en relación con el peso y edad.

Asimismo, el contenido de proteína en la dieta debe considerar el nivel de energía de la dieta, debido a que el exceso de proteína se vuelve energía a través de las diversas rutas metabólicas acumulando tal exceso en lípidos y generando en el proceso un incremento en la excreción de amoníaco. Lo cual no solo aumenta los costos de alimentación por el exceso de proteína, sino que afecta la ganancia económica por peso vivo o carcasa, ya que la ganancia de peso se ve afectada (Zehra y Khan 2011).

El nivel de proteína y su efecto en los parámetros bioquímicos como la hemoglobina y hematocrito son afectados como se demuestra en el estudio de Ahmed y Maqbool (2017) en la Carpa común variedad *Specularis*, observándose una tendencia lineal positiva en el nivel de hemoglobina a medida que el porcentaje de proteína dietaría aumentaba desde 25 por ciento hasta 45 por ciento, afectando el desarrollo del pez.

Del Risco *et al.* (2008), mencionan que el requerimiento de proteína en juveniles de paiche es 40 por ciento y con un nivel de energía digestible de 3.2 Mcal ED /kg de alimento, asimismo Ituassú *et al.* (2005) reportaron mayor crecimiento en juveniles de paiche que fueron alimentados con 48.6 por ciento de proteína bruta. Asimismo, el estudio realizado por Casado del Castillo *et al.* (2020) en juveniles de paiche alimentados con 5 niveles de proteína bruta con una proporción constante de 9.01 kcal/ g de proteína, reportaron que los peces alimentados con dietas entre 44 y 48 por ciento presentaron mayor crecimiento e índice de eficiencia proteica (PER), además, encontraron que dietas con 52 por ciento de proteína bruta causan estrés en juveniles de paiche, afectando la concentración de hemoglobina e incrementando una mayor demanda de oxígeno y disminuyendo la ganancia de peso y la conversión alimenticia con dietas mayores a 44 por ciento de proteína.

2.3.2. Aminoácidos esenciales en peces

Los aminoácidos esenciales (AAE) no pueden ser sintetizados o su tasa de síntesis de “novo” no está en la relación de la demanda para la síntesis de músculo. Por definición los aminoácidos esenciales no pueden ser sintetizados adecuadamente por los animales acuáticos (Li *et al.* 2008). Además, Kroeckel *et al.* (2013) indican que la ausencia de un solo aminoácido esencial puede reducir el uso de la proteína y por ende el crecimiento. A su vez la baja disponibilidad de estos afecta la tasa de crecimiento, reduciendo así la conversión de estos (Dairiki *et al.* 2013).

Los diez aminoácidos esenciales en peces son arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina (Wilson y Halver 1986 y Li *et al.* 2008). La lisina es el primer aminoácido limitante evaluado en la elaboración de alimentos balanceados, debido a que es el aminoácido principal que componen carcasa de varias especies de peces (Abimorad *et al.* 2010).

La arginina (Arg) y lisina (Lys) cumplen un rol importante para mantener el balance electrolítico en los peces (Murillo-Gurrea *et al.* 2001), siendo limitante, cuando se usa fuentes de proteína de origen vegetal como el maíz. Según Tesser *et al.* (2005) la arginina está involucrada en varias vías metabólicas como la síntesis de proteína, producción de urea y el metabolismo del ácido glutámico. La lisina es frecuentemente el aminoácido limitante en la mayoría de los ingredientes utilizados en la producción de dietas comerciales, especialmente cuando se reemplaza la harina de pescado por proteínas de origen vegetal (Mai *et al.* 2006a).

No obstante, debe considerarse antagonismo de lisina- arginina, en la dieta suministrada el cual sido documentado en ciertos animales, aunque en estudios de crecimiento en el pez gato americano (Robinson *et al.* 1981), tilapia azul (Liou 1989), trucha arco iris (Kim *et al.* 1992b) y la perca americana (Twibell y Brown 1997), este antagonismo no ha se ha observado.

Sin embargo, Kaushik y Fauconneau (1984) reportaron que el incremento de la lisina en la dieta puede afectar el contenido de arginina en el plasma y los niveles de urea, así como la excreción de amonio en Truchas arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). Estos cambios fueron encontrados debido a la disminución de la relación de arginina, a medida que aumentaba el nivel de lisina, observándose similar tendencia en el salmón atlántico (Berge *et al.* 2002).

Asimismo, Dairiki *et al.* (2013) reportaron que deficiencia de arginina afecta rápidamente crecimiento y retención de proteínas en el dorado (*Salminus brasiliensis*), determinando a su vez el requerimiento arginina y lisina con dietas semipuríficas, siendo 1.48 por ciento y 2.5 por ciento respectivamente con respecto a la dieta.

La Leucina (Leu), Isoleucina (Ile) y Valina (Val) identificados como aminoácidos ramificados, desarrollan roles importantes en ciertas reacciones bioquímica y función estructural, principalmente depositados en el músculo (Ahmad *et al.* 2021). Por ende, la mayoría de la proteína corporal tiene altos niveles de aminoácidos ramificados, representando entre el 18 a 20 por ciento del total de aminoácidos presentes en la proteína animal (Li *et al.* 2009).

Así mismo Chance *et al.* (1964), indican que el exceso de isoleucina reduce la tasa de crecimiento en alevines de salmón real (*Oncorhynchus tshawytscha*) cuando se alimenta junto con un nivel subóptimo de leucina. La leucina induce la síntesis de proteína del músculo e inhibe el catabolismo de las proteínas, asimismo, se relacionado con la ruta de traducción del ARN mensajero, dado que está relacionado en la ruta bioquímica de mTOR, la cual regula el crecimiento celular (Holz *et al.* 2005; Wullschleger *et al.* 2006).

Según Li *et al.* (2008), la suplementación en exceso de leucina incrementa la eficiencia alimentaria pero el consumo de alimento disminuye y el crecimiento en trucha arco iris, probablemente por antagonismo entre aminoácidos ramificados.

El estudio de Khan y Abidi (2014), encontraron que niveles mayores a 13.8 g/kg de histidina en la dieta afecta la concentración en la hemoglobina en alevines de pez gato aguijón (*Heteropneustes fossilis*), asimismo, actúa como un antioxidante en el cristalino, por lo cual previene las cataratas en algunas especies de salmónidos (Waagboø *et al.* 2010). Adicionalmente desempeña un papel fundamental en el anabolismo de proteínas y es abundante en la albumina plasmática en peces y se encuentra en los músculos en forma de aminoácido libre o carnosina (Li *et al.* 2009). Además, estimula el crecimiento del músculo esquelético y genes relacionados con el crecimiento muscular en juveniles de tilapia del Nilo (Michelato *et al.* 2017).

La valina también participa en la síntesis de la cubierta de mielina de los nervios, y su deficiencia puede causar afecciones neurológicas degenerativas en los mamíferos (NRC 2011). Además, la valina participa en el mantenimiento de los parámetros inmunológicos de los animales, principalmente en la capacidad de respuesta de los linfocitos y en las funciones celulares de homeostasis como indica Calder (2006), así como ser sustrato para la síntesis de aminoácidos no esenciales, especialmente glutamina y alanina (Wu 2009).

La metionina (Met) es un aminoácido azufrado no polar (hidrofóbico), indispensable que desempeña una función esencial en la iniciación de síntesis de proteína (Wang *et al.* 2016; Martinez *et al.* 2017); cuyo requerimiento comúnmente en especies de peces está en el rango de 13 y 45.3 g/kg de proteína cruda (Zhou *et al.* 2011; NRC 2011).

En los estudios realizados sobre requerimiento de aminoácidos, la privación de metionina ha demostrado ser la causa de crecimiento reducido, baja eficiencia alimenticia, reducción de la actividad de enzimas, desarrollo imparcial del intestino e incluso la formación de cataratas en peces (Espe *et al.* 2008; Jiang *et al.* 2016; Poppi *et al.* 2017). La metionina al tener varias metabólicas como transmetalación, remetilación, transulfuración para la síntesis de cisteína, taurina, glutatión y algunos fosfolípidos (NRC 2011), por lo cual en la formulación de dietas debe considerarse tales pérdidas.

NRC (2011) indica que la cisteína (Cys) es un aminoácido azufrado polar (hidrofilico) que al ser derivado de la metionina complica la estimación del requerimiento de ambos. Por tal el nivel de cisteína en la dieta variará la cantidad de metionina en la dieta requerida por el pez, lo que conlleva a que metionina y cisteína se exprese como un solo aminoácido, siendo representando en varios textos como Met + Cys. Se estima que la cisteína en la dieta tiene valores de reemplazo de metionina de 40 a 60 por ciento para varias especies de peces (Wilson 2002).

La cisteína se estima que tiene un valor de reemplazo del 60 por ciento para el bagre de canal (Harding *et al.* 1977), el 44 por ciento para la tilapia azul (Liou 1989), el 42 por ciento para la trucha arco iris (Kim *et al.* 1992a) y el 40 por ciento para el tambor rojo y lobina rayada híbrida (Moon y Gatlin 1991; Griffin *et al.* 1992).

La fenilalanina (Phe) es un aminoácido aromático que puede convertirse en tirosina por la tetrahidrobiopterina-fenilalanina hidroxilasa dependiente en el hígado y riñones (Li *et al.* 2008). La presencia de tirosina (Tyr) puede reducir el requerimiento de fenilalanina en la dieta, por lo cual se cree que el ahorro de fenilalanina por tirosina esta entre 40 y 60 por ciento en basado en los datos de las especies estudiadas (NRC 1993; Guillaume *et al.* 1999).

Por otro lado, la tirosina es un aminoácido proteínogénico, el cual tiene un papel especial en la transferencia del grupo fosfato al grupo hidroxilo por la proteína kinasa llamada tirosina quinasa receptora. Cowey y Walton (1989) indican que a forma L de la tirosina puede convertir en catecolaminas, noradrenalina y dopamina (un neurotransmisor). NRC (2011) indica que el triptófano (Trp) funciona como un precursor bioquímico de varios compuestos, incluido el 5-HT (serotonina), un neurotransmisor que se sintetiza a través del triptófano

hidroxilasa. Por su parte, a serotonina a su vez puede convertirse en melatonina (una neurohormona) a través de las actividades de N-acetiltransferasa y 5-hidroxiindol-O-metiltransferasa.

La suplementación dietaria de triptófano puede inhibir la agresión en juveniles de trucha arcoíris (Hseu *et al.* 2003). Además, la escoliosis inducida por déficit de triptófano puede ser revertida con una adecuada concentración de triptófano o con una inclusión de serotonina en la dieta (Akiyama *et al.* 1986). Según Tibaldi y Kaushik (2005) la deficiencia de triptófano ejerce una depresión significativa en la ingesta voluntaria de alimento en la lubina europea.

La Treonina (Thr) es un aminoácido que tiene un grupo alcohol, siendo abundante en forma de mucina, que es el componente principal del intestino, regulando la integridad y función de este (Li *et al.* 2008). Los peces producen cantidades importantes de moco, especialmente durante condiciones estresantes, transfiriéndolo al agua o en exposición a metales pesados, amoníaco (Eddy y Fraser 1982).

La treonina se asume que es el segundo o tercer aminoácido limitante en algunas dietas prácticas para la Lubina rayada o sus híbridos (Small and Soares Jr 1999). Según Ahmed (2007) la treonina cuando es absorbida por el tejido intestinal se puede utilizar para tres propósitos metabólicos principales: incorporación a proteínas, conversión mediante transaminación en otros aminoácidos, sustratos metabólicos e intermedios biosintéticos y oxidación completa a CO₂.

2.4. METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN PECES

2.4.1. Acreción de proteína

Este método se ha utilizado para estimar los requerimientos de aminoácidos para esturión siberiano (Kaushik *et al.* 1991) y el esturión blanco (Ng y Hung, 1995) con respecto a la acumulación de proteína en la carcasa del pez. Asimismo, Ogino (1980) estimó el

requerimiento de AAE para la Trucha arcoiris y carpa común basándose en cada aminoácido retenido en la carcasa del pez, el cual fue alimentado con proteína dietaria de alta cantidad.

Por otro lado Wilson (2002), indica que los valores netos de retención de aminoácidos obtenidos por esta metodología son cuestionables al ser utilizados para establecer el requerimiento de aminoácidos para crecimiento máximo en el pez. Debido a que valores de requerimiento estimados por este método son más bajos que los determinados por estudios de crecimiento (dosis-respuesta), y esto puede deberse al hecho de que normalmente solo alrededor del 30 al 40 por ciento de los alimentos que es consumido, el nitrógeno es retenido por los peces en crecimiento.

2.4.2. Relación de la composición de tejido con los requerimientos de AAE

En la década del 80, la información sobre requerimiento de AAE en peces era escasa, por tal utilizar información de tejidos corporales para estimar el requerimiento de AAE comenzó a considerarse una herramienta útil, así mismo, Cowey y Tacon (1983) citados por Wilson (2002), sugirieron que el requerimiento de AAE está relacionado o gobernado por el perfil de AAE del tejido muscular. Así mismo, Wilson y Poe (1985) reportaron el perfil de AAE del tejido corporal del Bagre de canal o pez gato americano (*Ictalurus punctatus*) de 30 gramos de peso vivo, presenta un coeficiente de correlación (r) de 0.96 cuando se correlaciona con su requerimiento de AAE determinado por estudios de dosis-respuesta. En cambio, cuando correlacionaron el requerimiento de AAE con el perfil de AAE de huevo, obtuvieron un coeficiente de correlación (r) igual a 0.68.

2.4.3. Perfil de aminoácidos del todo el cuerpo y huevo de pez

El perfil de aminoácidos del todo el cuerpo y huevo de pez ha sido utilizado para estimar los requerimientos de AAE en diversas especies de peces desde la década de los 80. Donde las dietas experimentales se formulan en base al patrón de aminoácidos esenciales contenidos tanto en el tejido corporal, así como el huevo de la especie de pez estudiada. Los peces alimentados con tales dietas, las cuales contenían la misma cantidad de los AAE del tejido del todo el cuerpo o del huevo al 100 por ciento o un porcentaje de este, mostraron mejor respuesta biológica, siendo la ganancia de peso, el indicador biológico evaluado.

Tal enfoque ha sido utilizado por autores como Ketola (1982); Ogino (1980); Mambrini y Kaushik (1995); Arai (1981); Forster y Ogata (1998) en estudios de estimación de requerimiento de AAE y análisis químico del tejido corporal. Mambrini y Kaushik (1995) reportaron que el perfil de aminoácidos de las proteínas de diferentes tejidos en el pez, a pesar de tener diferentes patrones de AAE, no es variable estadísticamente entre las especies, y además es no afectado por factores como la temperatura, la tasa de alimentación y el tamaño.

Asimismo, Nose y Murai (1990) citados por Wilson (2002) reportaron un r de 0.75 entre el perfil de AAE del huevo y el requerimiento de AAE para la carpa común (*Cyprinus carpio*). De igual manera correlacionaron el perfil de AAE del tejido corporal y el requerimiento de AAE obteniendo un r igual a 0.86. Por el contrario, al correlacionar el perfil de AAE del huevo y tejido corporal del salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) con su requerimiento de AAE, obtuvieron un r = 0.90 y r = 0.95 respectivamente.

2.4.4. Relacion de amino esencial entre total de aminos esenciales (A/E)

Arai (1981) propuso por la utilización del perfil de aminoácidos esenciales del tejido corporal de alevines de salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) para estimar los requerimientos de los aminoácidos esenciales, debido que en esa época no había información sobre el requerimiento de AAE para tal especie. Las dietas purificadas con caseína y harina de pescado utilizadas fueron elaboradas tomando como referencia el requerimiento estimado de AAE, siendo este postulado como la relación de aminoácido esencial entre el total de aminoácidos esenciales (A/E) multiplicado por 1000, generando una proporción para cada aminoácido esencial. La fórmula propuesta por Arai (1981) es la siguiente:

$$A/E = \left(\frac{\text{Aminoácido esencial}}{\text{Total, de aminoácidos esenciales + cisteína y tirosina}} \right) \times 1000$$

La inclusión de cisteína y tirosina en la fórmula se debe a que parte de la metionina consumida se metaboliza en cisteína, al igual que ocurre con la fenilalanina, que se convierte

en tirosina, por tal motivo Arai (1981) incluye estos dos aminoácidos no esenciales en el denominador de la fórmula. El estudio reportó que los peces alimentados con dietas cuyo perfil de AAE de igual patrón de relación A/E del tejido corporal, mostraron mayor ganancia de peso y mayor eficiencia alimenticia.

Según Ogata *et al.* (1983), utilizaron el concepto propuesto por Arai (1981), para formular dietas experimentales para alevines de salmón japonés (*Oncorhynchus masou*) y amago salmón (*Oncorhynchus masou macrostomus*), utilizando la A/E del tejido corporal de alevín de salmón japonés, obteniendo un mayor crecimiento los peces alimentados con dietas compuestas por caseína más aminoácidos sintéticos que simulan el patrón de A/E del tejido corporal. Así mismo, menciona que la relación de A/E se considera un buen indicador para ser utilizado en la estimación de requerimientos de aminoácidos esenciales.

Wilson y Cowey (1985) afirmaron que la A/E de tejido corporal y la A/E del requerimiento de AAE para bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) presentan una alta correlación, siendo el valor del coeficiente de correlación (r) que obtuvieron igual a 0.96. Asimismo, ha sido utilizado por nutricionistas de cerdos y aves de corral durante varios años, y la aplicabilidad de este concepto a los peces ha sido el foco de algunos estudios (Green y Hardy 2002; Rollin *et al.* 2003).

Asimismo, Akiyama *et al.* (1997) reportaron en su estudio de análisis matemático sobre índice de disimilitud o distancia, que el perfil de AA del tejido corporal puede ser una herramienta útil en la formulación dietas, debido que la relación de A/E entre distintas especies de peces presentan una diferencia estrecha (0.0390 a 0.1320). Además, las relaciones de A/E de los requerimientos de AAE determinado por dosis-respuesta para las mismas especies, presentan una también una diferencia estrecha (0.0195 a 0.1320).

Lall y Anderson (2005) mencionan que perfil de aminoácidos del tejido corporal de una determinada especie de pez se asemeja a los requerimientos en la dieta para el pez, lo cual ha sido corroborado en varios estudios (Arai 1981; Ogata *et al.* 1983; Wilson y Poe 1985; Mambrini y Kaushik (1995). De igual manera, Small y Soares (1998) reportaron un mayor crecimiento en juveniles de lubina rayada atlántica (*Morone saxatilis*), los cuales fueron alimentados con dietas que simulaban el patrón de A/E del tejido muscular.

NRC (2011) indica que los estudios realizados de estimación de requerimiento de AAE bajo esta metodología fueron base de muchas de las estimaciones del patrón de aminoácidos de “proteína ideal” publicadas en diversos estudios. Sin embargo, el uso de esta metodología basadas en proteínas corporales sobrestima el requerimiento de aminoácidos depositados preferentemente en proteínas corporales, como leucina y lisina, y subestiman los requerimientos de aminoácidos que desempeñan funciones metabólicas importantes, como metionina, treonina, histidina y arginina

2.4.5. Proteína ideal

NRC (2011) indica que el concepto de proteína ideal está basado en la famosa analogía del barril propuesta por von Liebig alrededor de 1840 y fue adaptado por Mitchell and Scott en los años de 1950. Según Wang and Fuller citados por NRC (2011), el concepto de proteína ideal indica que las cantidades óptimas del AAE son consideradas como una proporción relativa del total de AAE, en lugar de proporciones relativas a toda la dieta.

El uso del enfoque de proteína ideal implica la necesidad de definir primero el requerimiento de lisina de los peces en diferentes tamaños y en diversas condiciones y, como tal, no puede sustituir a los estudios tradicionales de requisitos de AAE (dosis-respuesta).

El requerimiento cuantitativo de los AAE en relación con otros AAE supone la necesidad de "equilibrar" los niveles de aminoácidos en las dietas formuladas con altos niveles de proteína con fuentes de proteínas "desequilibradas", que en la actualidad el uso de aminoácidos sintéticos permite equilibrar tales déficits en las dietas NRC (2011).

Además, niveles más altos de proteína, o relaciones más altas de energía – proteína catabolizan más aminoácidos para suministrar energía y se supone que el primer AAE dietético limitante no se ahorra a expensas de los aminoácidos no esenciales (AANE) u otros AAE no limitantes (NRC 2011). No obstante, diversos estudios en las últimas décadas han sugerido que existe un "desequilibrio" en el perfil de aminoácidos en la dieta y este puede deprimir la ingesta de alimento y el crecimiento de los peces (Yamamoto *et al.* 2004). Según, NRC (2011), los patrones ideales de AAE se expresan generalmente como la proporción de

cada uno de los 9 AAE con respecto a la lisina, la cual es considerada como el aminoácido limitante, dándole un valor arbitrario de 100.

El uso de este enfoque implica la necesidad de definir primero el requerimiento de lisina de los peces en diferentes tamaños y bajo diversas condiciones; sin embargo, no puede sustituir a los estudios tradicionales de requisitos de AAE de dosis-respuesta (NRC 2011).

La utilización del concepto de proteína ideal puede ser útil para establecer un perfil de AAE para especies de peces que aún no se han determinado por estudios de dosis-respuestas con dietas purificadas y de alta digestibilidad, permitiendo formular de esta forma dietas prácticas o experimentales con un menor nivel de proteína, que dan como resultado una eficiencia óptima en la utilización de proteínas y un mínimo de desechos nitrogenados.

Wilson citado por Fagbenro (2000), aplicó tal concepto para estimar los requerimientos dietéticos de aminoácidos esenciales de *Ictalurus punctatus* y reportó una estrecha concordancia con los valores de requerimiento de aminoácidos esenciales determinados por métodos empíricos a principios de 1990.

Kaushik (1998) postuló una fórmula utilizando el concepto de proteína ideal, con la cual estimó el requerimiento de AAE de tres peces teleósteos (infraclase de peces óseos actinopterygios), los cuales fueron el róbalo europeo (*Dicentrarchus labrax*), la dorada (*Sparus aurata*) y rodaballo (*Psetta máxima*), utilizando como perfil de AAE, el tejido corporal de cada especie y el requerimiento de lisina determinado por dosis-respuesta, a excepción del rodaballo.

Fagbenro (2000) validó la estimación de requerimiento de AAE para tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*), utilizando el concepto de proteína ideal, y el requerimiento de lisina determinado por Santiago y Lovell (1988). El requerimiento estimado AAE fue correlacionado con el requerimiento de AAE determinado por dosis-respuesta por Santiago y Lovell (1998) para la tilapia de Nilo, obteniendo un coeficiente de correlación igual a 0.92.

Así mismo, Montes-Girao y Fracalossi (2006), utilizaron el concepto de proteína ideal para estimar el requerimiento de los 9 AAE para jundía (*Rhamdia quelen*) a partir del

requerimiento de lisina determinado por ensayo de dosis – respuesta, obteniendo que el requerimiento de lisina es 4.5 o 5.1 por ciento de proteína en la dieta, dependiendo del método estadístico, sea línea quebrada o regresión polinomial.

Según Furuya *et al.* (2015), el requerimiento AAE para Colliroja (*Astyanax fasciatus*) se puede estimar a partir del perfil de AAE del tejido corporal y el promedio del requerimiento de lisina para carpa común (*Cyprinus carpio*), carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), y tilapia de nilo (*Oreochromis niloticus*) reportados por la NRC (2011).

2.5. Fórmula de Kaushik

La fórmula de Kaushik (1998) integra el concepto de la metodología de la relación de A/E propuesta por Arai (1981), basándose en las conclusiones reportadas por Akiyama *et al.* (1997). Por ende, a partir del concepto propuesto por Arai (1981), más el concepto de proteína ideal y con el uso requerimiento de lisina determinado en la especie por dosis-respuesta, postuló la siguiente fórmula para estimar el requerimiento de los otros AAE:

$$\text{Requerimiento del aminoácido esencial} = \left(\frac{\text{A/E de cada aminoácido x requerimiento de lisina}}{\text{A/E de la lisina}} \right)$$

Dicha fórmula fue aplicada para estimar el requerimiento de aminoácidos esenciales de tres peces teleósteos (infraclassa de peces óseos actinoptergios), el róbalo europeo (*Dicentrarchus labrax*), la dorada (*Sparus aurata*) y rodaballo (*Psetta máxima*), utilizando el requerimiento de lisina determinado por Luquet y Sabaut (1974) para la dorada (5.0 g/16gN) y el requerimiento de lisina determinado por Tibaldi y Lanari (1991) para el caso del róbalo europeo (4.8 g/16gN).

Sin embargo, el requerimiento de lisina para el rodaballo no había sido determinado hasta esa fecha, por lo cual el autor utilizó el valor de 5.0 g de lisina /16gN para la Dorada, Anexo 1, para estimar el requerimiento de AAE para el rodaballo. La utilización del requerimiento

de lisina de una especie para estimar el requerimiento de AAE, utilizando la metodología de Kaushik (1998), ha sido desarrollado en diversas investigaciones, así mismo la utilización del perfil de aminoácidos del tejido muscular.

Según Hossain *et al.* (2011), se puede utilizar la fórmula propuesta por Kaushik (1998) para estimar los requerimientos de aminoácidos esenciales para la palometa plateada (*Pampus argenteus*) a partir del perfil del aminoácido del tejido corporal, usando el requerimiento de lisina 4.5g/100g de proteína determinado por Colosso *et al.* (1993) para el barrabundi (*Lates calcarifer*).

Asimismo, Abimorad *et al.* (2010) estimaron el requerimiento de AAE para Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), determinando primero el requerimiento de lisina por ensayo de dosis-respuesta y luego las relaciones de A/E del tejido muscular del pez, obteniendo el requerimiento estimado de AAE. De igual manera, el estudio reportado por Borges *et al.* (2014), hace uso de dicha fórmula para estimar los requerimientos de AAE de pámpano (*Trachinotus marginatus*) utilizando el tejido corporal y tejido muscular, más el requerimiento de lisina para róbalo europeo, cuyo valor fue determinado por Tibaldi y Lanari (1991) siendo 4.5g/100 g de proteína (Anexo 1). Dicho requerimiento fue utilizado por los autores, debido a que el requerimiento determinado por dosis-respuesta para pámpano aún no se reportado. De igual manera, Ochoa (2018) estimó el requerimiento de AAE para paco (*Piaractus brachypomus*), utilizando el perfil de AAE del tejido muscular y el requerimiento de lisina determinado por Abimorad *et al.* (2010), siendo la cisteína el único aminoácido que no se fue determinado en el perfil de AAE.

No obstante, la fórmula de Kaushik (1998) ha sido utilizada como base para plantear otras fórmulas de estimación de del requerimiento de AAE, como se reporta en el estudio de Meyer y Fracalossi (2005) generando una nueva fórmula, la cual fue utilizada para estimar el requerimiento de AAE para el pez jundiá (*Rhamdia quelen*).

Dicha fórmula relaciona los aminoácidos esenciales y el total de AAE (TAAE) en el músculo del jundiá con el promedio del requerimiento determinado de AAE de otros peces omnívoros mediante ensayos de dosis-respuesta, los cuales fueron, bagre de canal o pez gato americano,

la tilapia del Nilo y la carpa común. La estructura de la fórmula propuesta por Meyer y Fracalossi (2005) es la siguiente:

$$\text{Requerimiento del AAE} = \left(\frac{\text{Cantidad de este aminoácido en el músculo de jundía} \times \text{Promedio del requerimiento de TAAE entre bagre de canal, tilapia del Nilo y carpa común}}{\text{Promedio del TAAE en el músculo de jundía}} \right)$$

Asimismo, Bicudo y Cyrino (2009) utilizaron la fórmula propuesta por Meyer y Fracalossi para estimar los requerimientos de aminoácidos esenciales del Yamú (*Brycon amazonicus*) y del Sábalo jetón (*Prochilodus lineatus*). Abimorad y Castellani (2011) también utilizaron tal fórmula para la estimación de los requerimientos aminoácidos esenciales del Lambari de cola amarilla (*Astyanax bimaculatus*) ver Anexo 2.

Rodrigues *et al.* (2021) estimaron el requerimiento de AAE del Pirarucú (*Arapaima gigas*) usando una variación de la fórmula de Meyer y Fracalossi, cuyos valores estimados se muestran en el Anexo 2. La metodología utilizada por Rodrigues *et al.* (2021) es una adaptación de la fórmula propuesta de Meyer y Fracalossi (2005), donde utilizaron el promedio de la suma de los requerimientos determinados de AAE para salmón atlántico (*Salmo salar*) y trucha arcoiris (*Onchorynchus mykiss*) reportados por la NRC (2011) y el requerimiento estimado de AAE para las especies dorado (*Salminus brasiliensis*) y lobina negra (*Micropterus salmoides*), utilizando el requerimiento de lisina determinado por ensayo de dosis-respuesta reportado por Dairiki *et al.* (2013) y Dairiki *et al.* (2007) para las respectivas especies mencionadas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIAL BIOLÓGICO EXPERIMENTAL

La determinación del perfil de aminoácidos del músculo se obtuvo a partir de 8 juveniles con un peso promedio en gramos 936.02 ± 152.85 , los cuales mostraron la mejor respuesta biológica (mayor ganancia de peso) como se observa en el Anexo 3. Los juveniles de Paiche fueron obtenidos de la investigación realizada por Guevara (2021), llevada a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC). Los 8 juveniles utilizados fueron alimentados con una dieta experimental cuya fórmula y contenido nutricional se muestra en la Tabla 2.

Los juveniles fueron puestos en ayuno por 24 horas antes del sacrificio, siendo sacrificados mediante golpe de frío en agua con hielo por un periodo de una hora, seguidamente eviscerados, degollados, desollados y deshuesados, obteniendo el músculo limpio y secados mediante el Método de Deseccación, el cual se basa en colocar las muestras en recipientes introducir las dentro de la estufa u horno, las cuales fueron sometidas a una temperatura de 65°C hasta eliminar la humedad existente hasta obtener peso constante. El tiempo de obtención de las muestras secas fue de dos días.

Finalmente, los músculos secos de paiche fueron molidos, mezclados y luego dividida en 3 muestras, las cuales fueron guardadas en bolsas de plásticos y almacenadas en congeladora a -20°C . Dichas muestras en forma de harina fueron enviadas al Laboratorio de Calidad Total La Molina, UNALM, para la determinación la proteína bruta y el perfil de aminoácidos, cuyos valores fueron utilizados para la estimación del requerimiento de aminoácidos esenciales del paiche.

Tabla 2. Fórmula de la dieta para generó mayor crecimiento en juveniles de paiche
(Tal como ofrecido)

INGREDIENTES	(%)
Harina de pescado prime,66	69.30
Aceite de pescado	16.50
Torta de soya,47	8.00
Harinilla de trigo	5.07
Ligante	0.80
Aquapremezcla*	0.20
Cloruro de Colina	0.10
Antioxidante	0.03
TOTAL	100
Materia seca (%)	92.18
Proteína (%)	50.00
Fibra (%)	1.03
Grasa (%)	23.40
ED (Mcal/Kg)	5.00
Arginina (%)	3.02
Histidina (%)	1.23
Isoleucina (%)	2.41
Leucina (%)	3.86
Lisina (%)	3.93
Met + Cis (%)	1.97
Fen + Tir (%)	3.88
Treonina (%)	2.17
Triptófano (%)	0.60
Valina (%)	2.67
Ácidos graso n-3	5.74
Ácidos graso n-6	5.40
Fosforo total	1.77
Calcio	2.61
Sodio	0.76

* Ver Anexo 21

3.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO

El análisis de proteína del músculo del paiche fue determinado en base a los Métodos Oficiales de Análisis (AOAC 2016), el perfil de aminoácidos (AA) de las muestras de músculo mediante el método de Analytical Biochemistry 136 (Heinrikson y Meredith 1984) y la determinación de triptófano con el método LMCTL-006F 2001. El valor de cisteína fue estimado en la presente investigación debido a que no fue determinado en el análisis de laboratorio.

3.3. ESTIMACIÓN EL REQUERIMIENTO DE AAE EN BASE A LA COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS EN EL MÚSCULO DEL PAICHE

La estimación del requerimiento de aminoácidos esenciales del paiche fue calculada mediante la fórmula propuesta por Kaushik (1998) utilizando el perfil de AAE del músculo de paiche y el requerimiento de lisina para dorado (*Salminus brasiliensis*), determinado mediante la evaluación dosis-respuesta por Dairiki *et al.* (2013), debido que el requerimiento de lisina para paiche aún no ha sido determinado. La elección del dorado y su requerimiento de lisina determinado siguió el criterio empleado por Kaushik (1998), por tal se escogió una especie con similitudes en hábito alimenticio y hábitat.

El primer paso fue determinar la relación de cada aminoácido esencial entre el total aminoácidos esenciales totales (A/E) del músculo de paiche, utilizando fórmula propuesta por Arai (1981), como menciona la metodología de Kaushik (1998). La fórmula de relación de A/E fue la siguiente:

$$\text{Relación de A/E} = \left(\frac{\text{aminoácido esencial corporal} \times 1000 \text{ (g/16g N)} \times 1000}{\text{Total de aminoácidos esenciales corporales (g/16g N) + Cys + Tyr}} \right)$$

La inclusión de cisteína (Cys) y tirosina (Tyr) en la parte del denominador de la fórmula es fundamental para hallar la relación A/E con mayor precisión, debido a que la cisteína y la tirosina son aminoácidos no esenciales derivados del metabolismo de metionina y

fenilalanina. Una vez obtenidos valores de cada relación A/E del músculo de paiche, a partir de la fórmula de Arai (1981), se procedió a estimar el requerimiento de AAE cuyos valores son expresados en g/16 g N utilizando fórmula propuesta por Kaushik (1998), la cual fue la siguiente:

$$\text{Requerimiento de aminoácido esencial (g/16g N)} = \left(\frac{\text{A/E específico} \times \text{requerimiento de lisina}^*}{\text{A/E de lisina}} \right)$$

A/E = Valor obtenido utilizando la fórmula de Arai (1981) para cada aminoácido esencial incluyendo cisteína y tirosina

* El requerimiento de lisina de 5g/16gN del dorado (*Salminus brasiliensis*) por Dairiki *et al.* (2013).

3.4. PERFIL IDEAL DE AAE

El perfil ideal de AAE se determinó utilizando el requerimiento estimado de AAE para paiche y la lisina como aminoácido de referencia, cuyo valor asignado arbitrariamente es 100 por ciento, expresando los otros AAE como porcentajes del aminoácido de referencia (Campos *et al.* 2016).

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los valores obtenidos de cada aminoácido de las tres muestras de músculo de paiche fueron expresados en promedio con su respectiva desviación estándar y su coeficiente de variabilidad. Asimismo, se comparó los resultados obtenidos del perfil de AAE, la relación de A/E y valor de requerimiento estimado de AAE de la presente investigación con los valores reportados por Rodrigues *et al.* (2021) por medio de la prueba de T-student para muestras independientes, con un nivel de significancia (α) de 0.05 utilizando el software Minitab versión 17. Además, se realizó un análisis de regresión entre el requerimiento estimado de AAE obtenido y el requerimiento estimado de AAE reportado por Rodrigues *et al.* (2021) e igualmente con los requerimientos determinados por ensayos de dosis-respuesta de AAE reportados por la NRC (2011) para especies carnívoras, herbívoras y omnívoras

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PERFIL DE AMINOÁCIDOS DEL MÚSCULO DE PAICHE

El perfil de aminoácidos del músculo de juveniles de paiche expresado en g/16g N se muestra en la Tabla 3 y los valores de aminograma de cada muestra de músculo se encuentran en el Anexo 8. Los aminoácidos esenciales contenidos en el músculo de Paiche, lisina, metionina, fenilalanina, triptófano y valina así como los no esenciales, glicina, tirosina, serina y cisteína son similares a los valores del perfil de aminoácidos del músculo de las especies doncella (*Pseudoplatystoma fasciatum*), lobina negra (*Micropterus salmoides*), jundiá (*Rhamdia quelen*), paco (*Piaractus brachypomus*), carpa china (*Ctenopharyngodon idella*) y siluro (*Silurus glanis*) (Portz 2001; Meyer y Fracalossi 2005; Ochoa 2018; Pyz-Łukasik y Paszkiewicz 2018), siendo los peces mencionados especies de agua dulce (aguas continentales).

Sin embargo, los valores de histidina, leucina, treonina, triptófano y valina expresados en g/16g N son menores en promedio a los valores reportados de las especies perca americana (*Perca flavescens*), sábalo jetón (*Prochilodus lineatus*), bocón (*Brycon amazonicus*), carpa cabezona (*Hypophthalmichthys nobilis*), lambari de cola amarilla (*Astyanax bimaculatus*), en 0.72, 2.17, 2.06, 0.75 y 0.88 respectivamente, como se observa en el Anexo 4 y 8.

Estudios anteriores sobre el perfil de aminoácidos del músculo de paiche han reportado valores similares en ciertos aminoácidos. Martins *et al.* (2017) encontraron valores de histidina y metionina en el músculo del paiche (provenientes de ríos) similares a los obtenidos en la investigación, en cambio, los valores de arginina, isoleucina, lisina y fenilalanina expresados en g/16g N son menores en 7.07, 0.68, 1.02 y 1.07 respectivamente. Por otra parte, los valores de leucina, treonina y valina son mayores en 0.67 g/16g N, 1.13

g/16g N y 0.51 g/16g N respectivamente cuando se comparan con los valores obtenidos en la investigación (Anexo 5). Asimismo, el perfil de AAE del músculo reportado por Rodrigues *et al.* (2021), quienes utilizaron muestras de paiche en etapa juvenil y adulta, obtenidas de ríos y piscigranjas (alimentados con dieta comerciales con 40 por ciento de proteína cruda), al ser comparado con el perfil AAE obtenido en la presente investigación, se observó que los AAE, arginina, leucina y treonina presentan diferencias significativas ($p < 0.05$), mientras que los otros AAE no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$) como se observa en el Anexo 12. El valor de arginina que se obtuvo fue superior cuantitativamente en 6.08 g/16gN al valor reportado por Rodrigues *et al.* (2021), sin embargo, los valores de leucina, lisina, Met+Cys y treonina expresados en g/16g N son menores en promedio, 2.97, 0.83, 0.16 y 1.85 respectivamente.

Tabla 3. Perfil de aminoácidos en el músculo del *Arapaima gigas* (g/16gN)

Aminoácidos esenciales	Promedio
Arginina	12.21
Histidina	1.84
Isoleucina	4.45
Leucina	5.59
Lisina	9.00
Metionina	2.68
Fenilalanina	4.45
Treonina	2.50
Triptófano	0.77
Valina	3.96
Aminoácidos no esenciales	
Alanina	3.36
Ácido Aspártico	10.23
Ácido Glutámico	15.83
Glicina	4.88
Prolina	2.78
Serina	4.34
Tirosina	3.05
Cisteína	1.22*

* Valor estimado utilizando la fórmula propuesta en la investigación

La arginina es el AAE encontrado en la presente investigación que es superior en promedio a los valores de arginina que han reportado los autores citados en el Anexo 4, en 5.46 g/16g N; igualmente, el valor de arginina encontrado en la investigación es 7.69 g/16g superior al contenido de arginina en el músculo de trucha arcoiris (*Onchorynchus mykiss*) reportado por Sabetian *et al.* (2012). En cambio, el valor de arginina reportado por Ochoa (2018) en el músculo de paco (*Piaractus brachypomus*) es muy cercano al valor de la encontrado en la siendo 0.52 g/16g N menor con respecto al valor de arginina que se obtuvo en la investigación, ver Tabla 4.

Tabla 4. Valores de arginina en el músculo de peces con hábitos alimenticios distintos

Especie	(g/16g N)
Perca americana ^a	6.32
Doncella ^b	6.53
Lobina negra ^b	6.07
Jundiá ^c	6.17
Sábalo jetón ^d	7.78
Bocon ^d	3.6
Lambari de cola amarilla ^e	6.19
Trucha arcoiris ^f	4.52
Paco ^g	11.69
Carpa china ^h	6.59
Carpa cabeza ^h	6.63
Siluro ^h	6.63
Paiche ⁱ	6.14
Paiche ^j	12.21

^aRamseyer (1994); ^bPortz (2001); ^cMeyer y Fracalossi (2005); ^dBicudo y Cyrino (2009);

^eAbimorad y Castellani (2011); ^fSabetian *et al.* (2012); ^gOchoa (2018); ^hPyz- Lukasik y

Paszkievicz (2018); ⁱRodrigues *et al.* (2021); ^jInvestigación.

La diferencia de arginina (g/16gN) encontrada en músculo de paiche de la investigación ha comparación de los valores reportados en otras investigaciones es notoria, solo los valores reportados en el músculo de paco por Ochoa (2018), cuyas muestras de peces fueron criadas en el mismo laboratorio y su perfil de AA fue determinado igualmente por el Laboratorio de Calidad Total La Molina, presenta un valor muy cercano a la cantidad de arginina que se ha reportado en la investigación; sin embargo, existen pocos estudios sobre la variación de arginina a nivel del músculo y los factores que específicamente generan tal respuesta.

Rodrigues *et al.* (2021), mencionan que los paiches al ser alimentados con dietas comerciales que han sido formuladas para peces carnívoros utilizando requerimiento de AAE no específico para la especie, puede ser el factor que cause la variación de AAE encontradas en la muestra de músculo de paiche salvajes con respecto a los paiches cultivados en piscigranjas, sin embargo, esto se contradice con lo observado en las muestras de juveniles utilizadas en la presente investigación, ya que tales peces fueron criados en ambientes controlados y alimentados con un nivel de proteína de 50 por ciento de PC y 5.0 Mcal ED/kg, generando una excelente respuesta biológica (Anexo 3).

Con respecto a la fisiología del paiche, la eliminación cuerpos nitrogenados es alrededor del 21 a 24 por ciento vía renal, siendo esto reportado por Wood *et al.* (2020), cuando evaluaron actividad de osmorregulación de iones, el flujo urinario y la eliminación de amonio en las agallas y riñón, en ambientes con hipoxia e hiperoxia ; observaron que la cantidad de amonio urinario fue 10mmol/litro y el amonio es dominante con respecto a la urea en la orina siendo la equivalente al 95 por ciento de la cantidad de urea contenida en la orina (6.79 μ moles/kg/h), lo cual indica que el riñón tiene un rol importante en la eliminación de nitrógeno. No obstante, la información reportada no respaldaría el valor alto de arginina obtenida en la muestra de músculo estudiada, pero si permite comprender que el nivel de arginina en la dieta debe considerar tales pérdidas por la producción de úrea.

Recientes estudios sobre arginina y su efecto en la modulación genética y expresión de enzimas relacionadas con la síntesis de proteína y regulación del crecimiento en peces podrían dar una explicación al valor encontrado. Tu *et al.* (2015) reportaron que el nivel de arginina en la dieta no solo afecta las concentraciones de hormona de crecimiento (GH), el factor de crecimiento similar a la insulina I (IGF-I), al monóxido de nitrógeno (NO), la

proteína TOR (relacionada con la regulación del metabolismo, la proliferación y la diferenciación celular), y la ganancia de peso en la carpa prusiana (*Carassius auratus gibelio* var.CAS III), incrementándose ligeramente el contenido de arginina en el músculo cuando el nivel de arginina en la dieta es mayor a 5.4g/kg de dieta. Asimismo, Wang *et al.* (2016), mencionan que la proteína TOR se ve afectada por el nivel de arginina en la dieta.

Por otro lado, el nivel de arginina en la dieta tiene efecto en la retención de aminoácidos, así se observa en el estudio reportado por Neu *et al.* (2016), donde el contenido de arginina varía ligeramente y los otros AAE en el cuerpo de la tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*), favoreciendo a su vez la hiperplasia con el desarrollo de fibras musculares menores a 20 micras. Asimismo, Zhou *et al.* (2012b) reportaron que la concentración de AA en el músculo de juveniles de mero amarillo (*Epinephelus awoara*) varía ligeramente a medida que el nivel de arginina en la dieta aumenta desde 2.28 g/kg dieta hasta 3.27g/kg dieta.

Otros estudios sobre el impacto de la alimentación de peces en ambientes naturales o intensivos, han mostrado variaciones en el contenido de AA en el músculo, por ejemplo estudio realizado por Guseva *et al.* (2021) reportaron una diferencia de arginina 0.30 g/100g proteína en el músculo de esturiones adultos alimentados con dietas balanceadas en comparación con esturiones salvajes, lo cual indica que el perfil de AA de la dieta afecta el contenido de arginina en el músculo, así como de otros aminoácidos. Por otro lado, Rodrigues *et al.* (2021) reportaron una diferencia de 0.35g/16gN de arginina al comparar muestras de músculo de juveniles de paiche provenientes y paiches alimentados con dieta balanceada con 40 por ciento PC en piscigranjas.

En el caso de la leucina y treonina encontradas en la muestra de musculo de la investigación son menores en 2.97g/16gN y 1.85g/g N respectivamente, a los valores reportados por Rodrigues *et al.* (2021). Esto conlleva a considerar que existen factores que afectan el contenido de AAE en el músculo del pez, sin embargo, la escasez en la literatura científica sobre factor o factores específicos que generen altas variaciones en el contenido AAE en el músculo de peces, impide por comprender por qué ocurre lo observado en la investigación. Sin embargo, los recientes a nivel genético sobre expresión de enzimas y mediciones de parámetros biológicos generan indicios de cómo afecta ciertos AAE en la dieta a los peces.

De esta forma en estudios realizados se ha observado efecto de la leucina en la dieta, que al igual que la arginina, su efecto en la ganancia de peso también es observable debido a su participación en la ruta metabólica PI3K / AKT / mTOR, relacionado con la replicación celular, asimismo, con las rutas metabólicas IGF-1, TOR, S6K1, las cuales tienen relación con el crecimiento muscular.

Por ejemplo, el estudio realizado por Ren *et al.* (2015) reportaron que a un nivel de 1.74 % por ciento de leucina en la dieta, los peces presentaron una mayor expresión de mTOR, asimismo, la tasa de crecimiento específica fue alta, a diferencia de valores menores a 1.74 por ciento en la dieta. Zhao *et al.* (2020) reportaron que niveles mayores de leucina a 25g/kg de dieta, afecta la ganancia de peso e incluso el PER en el pez gato híbrido *Pelteobagrus vachelli* × *Leiocassis longirostris*, igualmente el estudio sobre nivel de leucina en la dieta en el besugo de hocico romo (*Megalobrama amblycephala*).

Sobre la treonina y el contenido de la misma en el cuerpo existen estudios a nivel sérico, por ejemplo, el efecto de la arginina en la dieta y la tasa de oxidación de la treonina en el plasma, realizado por Fauconneau *et al.* (1992) en truchas arcoiris (*Salmo gairdneri* R.) con un peso vivo en el rango de 120 a 100 gramos, encontrando que a un nivel de 2.45 por ciento de arginina en la dieta, la tasa de oxidación de treonina alcanza su máximo siendo este valor 774 nmol/100 g peso corporal / 3 horas. No obstante, la ausencia de literatura científica sobre factores que afecten el contenido de treonina en el músculo de los peces dificulta dar una explicación concisa.

4.1.1. Estimación de cisteína en músculo de Paiche

El contenido de cisteína en el músculo de paiche fue estimado a través de la fórmula propuesta en la presente investigación, basándose el concepto de Arai (1981) sobre la relación de A/E, para lo cual se utilizó los valores de metionina (Met), fenilalanina (Phe), cisteína (Cys), tirosina (Tyr) y el total de AAE (TAAE) del perfil de aminoácidos esenciales de la muestra. Por tal, se postuló que existe un valor de constante proporcionalidad (K), al sumar la cantidad de Met+Cys (g/16g N) más la cantidad de Phe+Tyr (g/ 16g N) dividido entre el TAAE (g/16g N). Por consiguiente, si se conoce el valor de K y los valores de Met,

Phe+Tyr, se puede estimar el valor de Cys. La fórmula propuesta en forma directa para obtener el valor de Cys la siguiente:

$$Cys_e = \left[K \times TAAE_m - (Met_m + Phe_m + Tyr_m) \right]$$

Dónde:

Cys_e = Cantidad de cisteína estimada

K = Constante de proporcionalidad

$TAAE_m$ = Total de aminoácidos esenciales del músculo del estudio en g/16g N

Met_m = Cantidad de metionina del músculo del estudio en g/16g N

Phe_m = Cantidad de fenilalanina del músculo del estudio en g/16g N

Tyr_m = Cantidad de tirosina del músculo del estudio en g/16g N

Los valores de Met, Phe, Cys, Tyr y el TAAE expresados en g/16g N de las muestras del perfil de aminoácidos del músculo de paiche (*Arapaima gigas*) reportados por Rodrigues *et al.* (2021) fueron utilizados para poder calcular el valor de K y en consecuencia poder estimar el valor de Cys. Dichos valores fueron utilizados, basándose en que las muestras son de la misma especie y en el coeficiente de correlación de Pearson obtenido, el cual fue 0.88 cuando se comparó el perfil de aminoácidos de las muestras de la presente investigación con perfil de aminoácidos de las muestras reportados por Rodrigues *et al.* (2021), como se indica en el Anexo 6.

El coeficiente de correlación que se obtuvo cuando se correlacionó las proporciones obtenidas entre los AAE y los AA no esenciales (sin incluir cisteína) con respecto al aminoácido limitante (lisina), entre los valores reportados por Rodrigues *et al.* (2021) y los encontrados en la investigación fue $r=0.88$ (Anexo 7). Dicho valor obtenido es considerado fuerte dado que se encuentra en el rango de $0.50 \leq r_{x,y} \leq 1.00$ clasificado de esta forma bajo las sugerencias de Cohen (1988) citado por Lalinde *et al.* (2018).

En base a los resultados de correlación encontrados, el valor K existente de (Met+Cys) + (Phe+Tyr) dividido entre TAAE de los valores del perfil de aminoácidos de paiche reportados por Rodrigues *et al.* (2021), se calculó que el valor de constante de proporcionalidad (K) fue 0.240, como se indica en el Anexo 9. En consecuencia, el valor de cisteína estimado (Cys_e) utilizando la fórmula propuesta en la presente investigación fue 1.22 g/16g N (Anexo 9).

El criterio de utilizar una fórmula propuesta para estimar cisteína ante desconocer su contenido en el musculo de pez, se refuerza en base a los diversos estudios realizados en peces que indican que la composición de aminoácidos del tejido corporal de muchas especies ha demostrado ser extremadamente constante (Wilson y Cowey 1985; Gatlin 1987; Mohanty y Kaushik 1991).

De la misma manera, el estudio de Maslennikova citado por Hossain *et al.* (2021), reportaron que el perfil de AA del tejido muscular es extremadamente constante entre especies y no se ve afectado por factores como el sexo, la etapa de ciclo biológico, así como factores externos la dieta y el ambiente, sin embargo, no puede reemplazar al 100 por ciento al valor obtenido por ensayo químico (aminograma).

4.2. ESTIMACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES Y EL PERFIL DE PROTEÍNA IDEAL

Los valores de las relaciones de A/E del tejido muscular del paiche fue calculados utilizando la fórmula propuesta por Arai (1981) y el perfil de AAE del músculo de paiche que incluye valor de cisteína estimada (1.22 g/16g N), (Tabla 3). Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.

La relación A/E de histidina encontrada en la investigación es similar al valor reportado para la especie yamú (*Brycon amazonicus*), el valor de isoleucina es similar al reportado para róbalo europeo (*Dicentrarchus labrax*) y lambari de cola amarilla (*Astyanax bimaculatus*) como se observa en el Anexo 10. Asimismo, los valores de las relaciones A/E de lisina, Met + Cys, Phe + Tyr, triptófano y valina son similares a los valores reportados para dorada

(*Sparus aurata*), rodaballo (*Psetta máxima*), jundiá (*Rhamdia quelen*), pámpano (*Trachinotus marginatus*) y sábalo jetón (*Prochilodus lineatus*).

Por otro lado, los valores de las A/E de leucina (108.73) y treonina (48.35) del estudio se encuentran debajo del rango de valores de la relación A/E reportado en otras especies y por otros autores (Kaushik 1998; Meyer y Fracalossi 2005; Bicudo y Cyrino 2009; Abimorad y Castellani 2011; Borges *et al.* 2014; Hossain *et al.* 2011), en cambio, valor de la relación A/E de arginina encontrado (235.89) es superior a los valores reportados para las especies de que se mencionan en el Anexo 10.

Tabla 5. Relación aminoácido esencial/ total de aminoácidos esenciales (A/E) del tejido muscular del *Arapaima gigas*

Aminoácidos esenciales	A/E músculo
Arginina	235.89
Histidina	35.68
Isoleucina	85.98
Leucina	108.22
Lisina	174.12
Metionina + Cisteína	75.15
Fenilalanina + Tirosina	145.11
Treonina	48.30
Triptófano	14.81
Valina	76.74

Los valores reportados por Ochoa (2018) en el paco, el cual es una especie omnívora y que habita en el río Amazonas, los valores de relaciones de A/E obtenidos de leucina, lisina, Phe+Tyr y triptófano son muy similares a los obtenidos en la investigación.

En cambio, al comparar las relaciones de A/E obtenidos en la investigación con la relación de A/E de las muestras de músculo de paiche calculadas utilizando el perfil de AA reportado por Rodrigues *et al.* (2021), se observó que la relación de A/E de arginina, leucina, lisina,

treonina y valina presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), en cambio, la relación A/E de histidina, isoleucina, Met + Cys, Phe + Tyr y triptófano no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) como se observa en el Anexo 13.

Las diferencias cuantitativas observadas entre las relaciones de A/E que se obtuvieron en la investigación en comparación con las reportadas por otros autores en otras especies, radica principalmente que los valores de relación de A/E que se obtuvieron al utilizar la fórmula de Arai (1981), están en función de la contenido de un AAE en el músculo del pez, y estos si son variables genera resultados que pueden ser ampliamente distantes o cercanos tanto entre especies con igual o diferente hábito alimenticio, e incluso observándose diferencias marcadas en muestras de la misma especie.

En cuanto al requerimiento estimado de AAE para juveniles de paiche, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 6, cuyos resultados provienen de la utilización de los valores de la Tabla 5 y la fórmula propuesta por Kaushik (1998). El requerimiento de arginina obtenido como se observa es superior al de lisina, en cambio, el requerimiento de los otros AAE están por debajo del aminoácido de referencia, siendo el valor del requerimiento de triptófano el más bajo.

Al observar el requerimiento estimado de AAE obtenido en la presente investigación al ser comparado con el contenido de AAE en la dieta utilizada en la alimentación de los 8 juveniles de Paiche, expresado en g/16g N, se observa que la cantidad de AAE en la dieta son menores en 1.07, 3.76, 0.06, 0.17 y 0.23g/16g N para los aminoácidos, lisina, arginina, isoleucina, Met + Cys, Phe+Tyr respectivamente, en cambio, para los aminoácidos histidina, leucina, treonina, triptófano, y valina , el valor de AAE en la dieta son mayores en 0.21, 0.75, 0.78, 0.17 y 0.47 respectivamente, asimismo, al realizar un análisis de regresión entre los AAE de la dieta y el requerimiento estimado de AAE de la investigación, se obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0.75. (Anexo 11).

El requerimiento estimado de AAE de histidina, Met + Cys, Phe+Tyr, triptófano y valina calculados en la investigación son similares a los reportados por los autores (Kaushik 1998; Meyer y Fracalossi 2005; Bicudo y Cyrino 2009; Abimorad y Castellani 2011; Borges *et al.*

2014), Anexo 1 y Anexo 2, en cambio, el requerimiento estimado de AAE de leucina y treonina son menores comparado con los valores reportados por los autores mencionados anteriormente, siendo tales valores estimado en el 3.11 g/16gN y 1.39g/16g N respectivamente

Tabla 6: Estimación del requerimiento de aminoácidos esenciales y perfil de la Proteína ideal para *Arapaima gigas*

Aminoácidos esenciales	Requerimiento de aminoácidos	Proteína Ideal	Requerimiento en el alimento*	Aminoácido por unidad de Energía digestible*
	g/16g N	%	%	g/Mcal
Lisina	5.00	100	2.50	5.00
Arginina	6.77	136	3.39	6.77
Histidina	1.03	20	0.51	1.03
Isoleucina	2.47	49	1.24	2.47
Leucina	3.11	62	1.55	3.11
Metionina + Cisteína	2.16	43	1.08	2.16
Fenilalanina + Tirosina	4.16	83	2.08	4.16
Treonina	1.39	28	0.69	1.39
Triptófano	0.43	9	0.21	0.43
Valina	2.21	44	1.10	2.21

*Obtenida de una dieta con 50 por ciento Pt y 5.0 Mcal ED/Kg (Tabla 2)

Sobre el requerimiento estimado de isoleucina (2.47g/16gN) obtenido, se observa que es menor a valores reportados para los peces de agua dulce Jundiá (*Rhamdia quelen*), Yamú (*Brycon amazonicus*), Sábalo jetón (*Prochilodus lineatus*), Lambari de cola amarilla (*Astyanax bimaculatus*) reportados por los autores Meyer y Fracalossi (2005); Bicudo y Cyrino (2009); Abimorad y Castellani (2011).

No obstante, el valor del requerimiento estimado de arginina cuyo valor obtenido fue 6.77 g/16g N , al ser comparado con requerimiento estimado de arginina de otras especies de peces (Kaushik 1998; Meyer y Fracalossi 2005; Bicudo y Cyrino 2009; Abimorad y Castellani 2011; Hossain *et al.* 2011; Borges *et al.* 2014), ver Anexo 1 y Anexo 2, se observa una diferencia cuantitativa promedio de 2.33g/16gN, igualmente al comparar el valor de arginina estimado con el requerimiento determinado por ensayo de dosis-respuesta para dorado reportado por Dairiki *et al.* (2013), se observa una diferencia de 3.34g/16gN.

En cuanto al requerimiento estimado de AAE para paiche reportado por Rodrigues *et al.* (2021), al compararse con el requerimiento estimado de AAE obtenido, se observó que los valores de histidina e isoleucina no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$), pero los valores de arginina, leucina, Met+Cys, Phe+Tyr, treonina, triptófano y valina si presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). Sin embargo, al compararse cuantitativamente, la diferencia del requerimiento estimado de AAE obtenido con el reportado por Rodrigues *et al.* (2021), el valor de arginina es mayor en 3.01g/16g N, en cambio para los otros aminoácidos leucina, Met+Cys, Phe+Tyr, treonina, triptófano y valina, son menores en 2.13g/16g N, 0.33 g/16g N, 0.45 g/16g N, 1.28 g/16g N, 0.10 g/16g N y 0.72 g/16g N respectivamente.

La diferencia cuantitativa del requerimiento estimado de arginina que se observa es consecuencia del nivel alto de arginina encontrado músculo de los juveniles de paiche utilizados, mas no por la fórmula aplicada, ya que el perfil de AA es la base de datos con que trabajan las ecuaciones publicadas para estimación el requerimiento de AAE.

Por otro lado, la producción de urea implica un gasto de arginina así como la actividad de la arginasa, la cual varía en función de la especie y el compartimiento donde se encuentre (órgano), lo cual es mencionado por Portugal y Aksnes (1983). De igual manera, Singh y Singh (1986) reportaron que los peces que realizan respiración de aire obligada presentan una actividad de arginasa en el hígado más elevada que los peces que no realizan respiración de aire forzada, siendo el pez gato el que presento mayor actividad de arginasa a comparación del rohu.

En consecuencia, el paiche siendo un pez que realiza respiración de aire obligada, su requerimiento de arginina debe considerar tal variable. Por ende, en base a lo expuesto debe considerarse para futuros estudios en paiche, los cambios bioquímicos que ocurren en el músculo ante diversos factores, especialmente el nivel de proteína y balance de AA, el nivel de arginina dieta, la tasa de oxidación de AA libres y la actividad enzimática, lo cual permitiría dilucidar muchas interrogantes sobre el contenido de AA en músculo y aspectos fisicoquímicos que podrían favorecer su calidad.

Con respecto, al análisis de regresión correlacionar el requerimiento estimado de AAE reportado por Rodrigues *et al.* (2021) con el requerimiento estimado de AAE obtenido, el coeficiente de correlación de Pearson resultante es 0.74, ver Anexo 15, no obstante, cuando se correlaciona el requerimiento estimado de AAE obtenido con los requerimientos estimados de AAE para dorado y lubina negra reportados por Rodrigues *et al.* (2021), se obtuvo un $r=0.76$ y $r=0.85$ respectivamente (Anexo16).

Así mismo si se realiza un análisis de regresión entre el requerimiento AAE estimado en la presente investigación con el requerimiento de AAE determinado por dosis- respuesta para salmón atlántico (*Salmo salar*), trucha arcoiris (*Onchorynchus mykiss*), carpa común (*Cyprinus carpio*), rohu (*Labeo rohita*), tilapia (*Oreochromis spp.*), bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) reportados por la NRC (2011), se observa que el coeficiente de correlación más alto obtenido es igual a 0.86 con el requerimientos de AAE del salmón atlántico. Esto indica que el requerimiento estimado de AAE obtenido en la investigación presenta una fuerte relación que el requerimiento determinado por ensayos de dosis-respuesta con dietas purificadas.

No obstante, la utilización de requerimientos determinados en otras especies en reemplazo de los requerimientos para paiche u otra especie de carnívora de agua continentales, debe ser corroborada por medio de ensayos biológicos, ya que si el nivel de determinado aminoácido AAE está en exceso, esto puede generar antagonismo e incluso afectar la oxidación de AAE libres, asimismo, afectar el recambio proteico lo cual puede desestabilizar la concentración de AA libres en los tejidos (Houlihan *et al.* 1993).

Con respecto a la utilización del perfil de AA del pez para estimar el requerimiento de AAE, la fórmula de Kaushik (1998) ha sido empleada en diversas investigaciones para estimar el requerimiento de AAE de otras especies de peces a partir del perfil de AAE tanto del tejido corporal (Monentcham *et al.* 2010; Hossain *et al.* 2011; Furuya *et al.* 2015), como del tejido muscular (Borges *et al.* 2014); Ochoa 2018). De igual manera, perfil de AAE del músculo ha sido utilizado además por autores Small and Soares Jr (1998); Portz y Cyrino (2003); Meyer y Fracalossi (2005); Bicudo y Cyrino (2009), (2014), para estimar el requerimiento de AAE, siendo una herramienta útil y económica, especialmente cuando no existe información sobre los tales requerimientos determinados por estudios de dosis-respuesta.

Small y Soares (1998) encontraron una fuerte correlación entre relación A/E del músculo de la Lubina rayada atlántica (*Morone saxatilis*) cuando se usa como modelo para estimar los requerimientos de aminoácidos basados en el perfil de aminoácidos del músculo, no obstante, cabe resaltar que los requerimientos estimados en base a la relación A/E tienden a ser mayores a los requerimientos determinados por experimentos dosis-repuesta, siendo reportado por Wilson (2002), igualmente, la estimación del requerimiento de AAE utilizando el perfil de AA del pez puede sobreestimar los requerimientos de aminoácidos que se depositan preferentemente en los tejidos, mientras aquellos relacionados a funciones metabólicas pueden subestimarse (Mambrini y Kaushik 1995; Rollin *et al.* 2003).

Adicionalmente, los estudios realizados sobre crecimiento y conversión alimenticia con dietas formuladas en base el perfil de AAE del tejido muscular ha demostrado mejorar tales parámetros (Small y Soares Jr 1998; Espinosa-Chaurand *et al.* 2013; Silvão y Nunes 2017), por tal su aplicación como patrón de proteína ideal en la formulación de dietas ha demostrado ser eficiente hasta la fecha.

En conclusión, por todo lo observado y discutido en la presente investigación, el requerimiento estimado de AAE para juveniles de paiche que se obtuvo utilizando la fórmula de Kaushik (1998) a partir del perfil de aminoácidos del músculo de juveniles de paiche, es válido y aplicable para la formulación de dietas mientras aún no exista información del requerimiento de AAE determinados por ensayos de dosis-respuesta con dietas purificadas.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados encontrados bajo las condiciones de la presente investigación y a los análisis realizados se concluye:

1. El requerimiento estimado de aminoácidos esenciales en g/16g N para juveniles de paiche es el siguiente: Lisina 5.00, Arginina 6.77, Histidina 1.03, Isoleucina 2.47, Leucina 3.11, Metionina + Cisteína 2.16, Fenilalanina + Tirosina 4.16, Treonina 1.39, Triptófano 0.43 y Valina 2.21.
2. El perfil de proteína ideal para juveniles paiche expresados en porcentaje es: Lisina 100, Arginina 136, Histidina 20, Isoleucina 49, Leucina 62, Metionina + Cisteína 43, Fenilalanina + Tirosina 83, Treonina 28, Triptófano 9 y Valina 44.

VI. RECOMENDACIONES

En base a lo observado en la investigación, se recomienda:

1. Evaluar el requerimiento estimado de AAE para juveniles de paiche de la investigación por medio de ensayos tanto en laboratorio como en piscigranjas midiendo la respuesta biológica y productiva.
2. Realizar evaluaciones dosis-respuesta para determinar el requerimiento de los aminoácidos esenciales para paiche a partir de los valores estimados en el presente estudio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abimorad, E.; Favero, G.; Squassoni, G. and Carneiro, D.J. 2010. Dietary digestible lysine requirement and essential amino acid to lysine ratio for pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Aquaculture Nutrition* 2010 16; 370 – 377.
- Abimorad, E. and Castellani, D. 2011. Amino acid requirements of lambari-do-rabo-amarelo based on whole body and muscle composition. *Boletim do Instituto de Pesca*. 37. 31-38.
- Ahmed, I. 2007. Dietary amino acid L-threonine requirement of fingerling Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch) estimated by growth and biochemical parameters. *Aquacult. Int.* 15, 337–350.
- Ahmed, I. and Maqbool, A. 2017. Effects of dietary protein levels on the growth, feed utilization and haemato-biochemical parameters of freshwater fish, *Cyprinus carpio* Var. *Specularis*. *Fisheries and Aquaculture Journal*. 8(1): 187.
- Ahmad, I.; Ahmed, I. and Dar, N. (2021). Effects of dietary leucine levels on growth performance, hematobiochemical parameters, liver profile, intestinal enzyme activities and target of rapamycin signalling pathway related gene expression in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* fingerlings.
- Akiyama, T., Murai, T. and Mori. K. 1986. Role of tryptophan metabolites in inhibition of spinal deformity of chum salmon fry caused by tryptophan deficiency. *B. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 52:1255-1259.
- Akiyama, T., Oohara, I. and Yamamoto, T. 1997. Comparison of essential amino acid requirements with A/E ratio among fish species (Review paper). *Fisheries Science*, 63: 963-970

- Ahokas, RA. and Sorg, G. 1977 The effect of salinity and temperature on intracellular osmoregulation and muscle free amino acids in *Fundulus diaphanus*. *Comp Biochem Physiol* 56A: 101
- Arai, S. 1981. A Purific Test Diet for Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*, Fry. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 47(4), 547-550y.
- Berge, GE. Sveier, H. and Lied, E. 2002. Effects of feeding Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) imbalanced levels of lysine and arginine. *Aquacuk. Nutr.* 8:239-248.
- Bicudo, AJA.; and Cyrino, JEP. 2009. Estimating amino acid requirement of Brazilian freshwater fish from muscle amino acid profile. *J. World Aquacult. Soc.*, 40(6): 818-823.
- Bicudo, AJA. and Cyrino, JEP. 2014. Evaluation of methods to estimate the essential amino acids requirements of fish from the muscle amino acid profile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42 (1):271–75.
- Buentello, JA.; and Gatlin III, DM. 2002. Preliminary Observations on the Effects of Water Hardness on Free Taurine and Other Amino Acids in Plasma and Muscle of Channel Catfish. *North American Journal of Aquaculture* 64. 95-102.
- Burton, AM.; Calderero, EM.; Morán, RE.; Lumbes, R.; Sanchez, AV.; Villamar, UT., and Torres, NG. 2016. A simple and low-cost recirculating aquaculture system for the production of *Arapaima gigas* juveniles.
- Campos Baca, L. 2001. Historia biológica del paiche o pirarucu (*Arapaima gigas*, cuvier) y bases para su cultivo en la Amazonía, Iquitos - Perú.
- Campos, A.; Slaguero, S. Albino, L.; Rostagno, H. 2016. Aminoácidos en la nutrición de pollos de engorde: proteína ideal. Iii clana - congresso do colégio latino-americano de nutrição animal cancún, méxico de 18 a 21 de novembro.

- Casado del Castillo, P.; Chu Koo, F.; Akifumi Ono, E.; and Gusmão Affonso, E. 2020. Growth and blood chemistry of juvenile of *Arapaima gigas* (SCHINZ, 1822) in relation to dietary protein concentration *Folia Amazonica*- Vol. 29 Número 2. Julio – Diciembre.
- Calder, PC. 2006. Branched-chain amino acids and immunity. *Journal of Nutrition*, v. 136, p. 288-293.
- Chance, RE.; Mertz, ET. and Halver, JE. 1964. Nutrition of salmonid fishes. XII. Isoleucine, leucine, valine and phenylalanine requirements of chinook salmon and interrelations between isoleucine and leucine for growth. *J. Nutr.* 83, 177-185.
- Cheng, Y.; Zhao, J.; Ayisi, CL.; and Xiaoying, C. 2020. Effects of salinity and alkalinity on fatty acids, free amino acids and related substance anabolic metabolism of Nile tilapia. *Aquaculture and Fisheries*.
- Cho, CY.; and Bureau, D. 1998. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. *Aquat. Living Resour.*, 11(4): 199-210.
- Chu-koo, F. 2006. Domesticación y crianza en cautiverio del *Arapaima gigas*: Manejo, aspectos reproductivos y nutricionales. 43 pp.
- Chu-koo, F.; Padilla, P.; Sandoval, M.; Yuto, JA. and Mori, L. 2007. Influencia de la alimentación con peces forraje en el crecimiento de juveniles de paiche *Arapaima gigas* en ambientes controlados. *Art. Científico N°4. Proyecto Bioadamaz. Iquitos – Perú.*
- Chu-koo, F. and Alcántara, BF. 2009. Cultivo de paiche doméstico. *Perspectivas económicas. Pesca Responsable*, 57 (marzo y abril):32-33.

- Chu koo, F.; Sánchez, SN.; Perea, SC.; Panduro, TD.; Alvan-aguilar, M.; Alcántara, F.; Rebaza, C.; Tello, S.; Ferrer, R. and Núñez J. 2012. Estado actual del cultivo de paiche o pirarucu en el Perú. *Infopesca Internacional*, 52: 21-25.
- Chu koo, F.; Fernández, C.; Rebaza, C.; Darías, MJ.; García, C.; García, A.; Tello, S.; Campos, L.; Alvan, M.; Ayarza, J., Arévalo, L.; François, J. and Arbildo, H. 2017. El cultivo del paiche. *Biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas*. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana-IIAP. Iquitos, Perú.
- Coloso, RM.; Murillo, DP.; Borlongan, IG. and Catacutan, M.R. 1993. Requirement of juvenile sea bass, *Lates calcarifer* Bloch, for tryptophan, VI Int. Symp. Fish Nutr. And Feeding.
- Cowey, B. and Walton, MJ. 1989. Intermediary metabolism. Pp. 259-329 in *Fish Nutrition, Second Edition*, J. E. Halver, ed. New York: Academic Press.
- Dairiki, JK.; Dias, CTS; and Cyrino, JEP. 2007. Lysine requirements of Largemouth Bass, *Micropterus salmoides*: A comparison of methods of analysis of dose-response trials data. *Journal of Applied Aquaculture* 19 (4):1-27.
- Dairiki, JK.; Borguesi, R., Dias, C. and Cyrino, J. 2013. Lysine and arginine requirements of *Salminus brasiliensis*. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.48, n.8, p.1012-1020.
- Del Risco, M.; Velásquez, J.; Sandoval, M.; Padilla, P.; Mori-Pinedo, L. and Chu-koo, F. 2008. Efecto de tres niveles de proteína dietaria en el crecimiento de juveniles de paiche, *Arapaima gigas* (Shinz, 1822).
- Bureau, D. and Encarnação, PM. (2006). Adequately defining amino acid requirement of fish: the case example of lysine. *Avances en Nutrición Acuicola, VIII Symposium Internacional de Nutrición Acuicola*. 29-54.
- Eddy, FB. and Frasert, JE. 1982. Sialic acid and mucus production in rainbow trout (*Salmo gairdnei* Richardson) in response to zinc and seawater. *Comp. Biochem. Physiol.* 73C:357-359.

- Espe, M.; Hevroy, E.M.; Liaset, B.; Lemme, A. and El-Mowafi, A. 2008. Methionine intake affect hepatic Sulphur metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 274, 132–141.
- Espinosa-chaurand, LD.; Vega-Villasante, F.; Nolasco-Soria, H.; Carrillo, O. and López, S. 2013. Perfil de aminoácidos del músculo de *Macrobrachium tenellum* y cómputo químico de proteínas usadas en su alimentación. *Bol. Inst. Pesca, Sao Paulo*, 39(4): 369-378.
- Fagbenro, OA. 2000. Validation of the essential amino acid requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758), assessed by the ideal protein concept. Pages 154–156 in K. Fitzsimons, editor. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, September 2—7, 2000. SRG, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil
- Fauconneau, B.; Basseres, A. and Kaushik, S.J. 1992. Oxidation of phenylalanine and threonine in response to dietary arginine supply in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Comp. Biochem. Physiol.* 101A, 395–401
- Franco-Rojas, HH. y Peláez, M. 2007. *Manual; Cría y producción de Pirarucú en cautiverio, Experiencias en el piedemonte Caqueteño*. Caquetá. Colombia. Primera edición. Universidad de la amazonia-Piscicola Pirarucú. Digital editores.
- Forster, I. and Ogata, HY., 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture* 161, 131-142.
- Furuya, WM.; Michelato, M.; Salaro, AL.; Cruz, TP. and Barriviera-Furuya, VR. 2015. Estimation of the dietary essential amino acid requirements of colliroja *Astyanax fasciatus* by using the ideal protein concept. *Latin american journal of aquatic research*, 43(5), 888-894.

- Gatlin, DM.III. 1987. Whole body amino acid composition and comparative aspects of amino acid nutrition of the goldfish, golden shiner and fathead minnows. *Aquaculture* 60, 223–229.
- Guevara, ML. 2021. Niveles de proteína y relación energía a proteína sobre el desempeño productivo y la composición corporal de juveniles de paiche (*Arapaima gigas*). Tesis de Maestría en Nutrición (en publicación). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Green, JA.; and Hardy, RW. 2002. The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion. *Fish Physiol. Bio-chem.* 27:97-108.
- Griffin, ME.; and Brown, PB. and Grant, AL. 1992. The dietary lysine requirement of juvenile hybrid striped bass. *J. Nutr.* 122:1332—1337.
- Guillaume, J.; Kaushik, S.; Bergot, P. and Metailler, R. 1999. *Nutrition et Alimentation des Poissons et Crustacés*. Paris: INRA Edition.
- Guseva, Y.; Korobov, A.; Tarasov, P.; Vasilyev, A.; and Gurkina, O. 2021. Comparative analysis of muscle tissue amino acid composition of sturgeon bred under natural and industrial conditions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 937 032041.
- Harding. DE.; Allen, OW. Jr. and Wilson. RP. 1977. Sulfur amino acid requirement of channel catfish: L-Methionine and L-Cystine. *J. Nutr.* 107:2031-2035.
- Holz, MK.; Ballif, BA.; Gygi, SP.; Blenis, J. 2005. mTOR and S6K1 mediate assembly of the translation preinitiation complex through dynamic protein interchange and ordered phosphorylation events. *Cell*, 123, 569–580.
- Houlihan, DF.; Mathers, EM. and Foster, A. 1993. Biochemical correlates of growth rate in fish. In: Rankin, J.C., Jensen, F.B. (eds) *Fish Ecophysiology*. Chapman & Hall Fish and Fisheries Series, vol 9. Springer, Dordrecht.

- Hseu, JR.; Lu, FL.; Su, HM; Wang, LS.; Tsai, CL.; Hwang, P.P. 2003. Effect of exogenous tryptophan on cannibalism, survival and growth in juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture* 218:251–263.
- IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana). 2017. El cultivo del Paiche. Biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas. Primera edición. Iquitos-Perú. 110 p.
- Ituassú, DR.; Pereira-Filho, M.; Roubach, R.; Crescencio, R.; Cavero, BAS.; Gandra, A.L. 2005. Níveis de proteína bruta para juvenis de pirarucu. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 40(3):255-259
- Jiang, J.; Shi, D.; Zhou, X.Q.; Feng, L.; Liu, Y.; Jiang, W.D.; Wu, P.; Tang, L.; Wang, Y. and Zhao, Y. 2016. Effects of lysine and methionine supplementation on growth, body composition and digestive function of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed plant protein diets using high-level canola meal. *Aquac. Nutr.* 22, 1126–1133.
- Kaushik, SJ. and Fauconneau, B. 1984. Effects of lysine administration on plasma arginine and on some nitrogenous catabolites in rainbow trout. *Comp. Biochem. Physiol.* 79A:459-462.
- Kaushik, S. 1998. Whole body amino acid composition of European seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles.
- Kaushik, S.J., Breque, J., Blanc, D., 1991. Requirements for protein and essential amino acids and their utilization by Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). In: Williot, P. (Ed.), *Acipenser*. Cemagref Publ., Antony, France, pp. 25–39.
- Ketola, HG. 1982. Amino acid nutrition of fishes: requirements and supplementation of diets *Comp. Biochem. Physiol.* 73B, 17.
- Khan, MA. and Abidi, SF. 2014. Dietary histidine requirement of Singhi, *Heteropneustes fossilis* fry (Bloch). *Aquaculture Research* 45:1341-1354.

- Kim, KI.; Kayes, TB. and Amundson, CH. 1992a. Requirements for lysine and arginine by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 106, 333 – 344.
- Kim, KI.; Kayes, TB. and Amundson, CH. 1992b. Requirements for lysine and arginine by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 106:333-344.
- Lalinde, J.; Castro, JF.; Tarazona, MA.; Rodríguez, J.; Chacón, J.; Sierra, S.; Pirela, V. and Toloza, C. 2018. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. 37. 587-595.
- Lall, S. and Anderson, S. 2005. Amino acid nutrition of salmonids: Dietary requirements and bioavailability. *Cahiers Options Méditerranéens*. 63.
- Li, P.; Yin, Y.; Li, D.; Kim W.K. and Wu, G. 2007. Amino acids and immune function. *Br J Nutr* 98:237–252.
- Li, P., Mai, K., Trushenski, J. and Wu, G. 2009. New developments in fish amino acid nutrition: Towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids*, 37, 43–53.
- Liou, CH. 1989. Lysine and Sulfur Amino Acid Requirements of Juvenile Blue Tilapia (*Oreochromis aureus*). Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX.
- Luquet, P. and Sabaut, J.J. 1974. Nutrition azotée et croissance chez la daurade et la truite. *Actes Colloq., CNEXO, Brest, Vol. 1, pp. 243-253.*
- Mai, K.; Wan, J.; Ai, Q.; Duan, Q.; Zhang, C.; Li, H.; Wan, J. and Liufu, Z. 2006a Dietary lysine requirement of juvenile seabass (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture* 258:535–542.

- Mambrini, M. and Kaushik, S.J. 1995. Indispensable amino acid requirements of fish: correspondence between quantitative data and amino acid profiles of tissue proteins. *J. Appl. Ichthyol.* 11, 240-247.
- Marculino, A. 2012. Influência da adição de protease e lipase sobre a digestibilidade de ingredientes da dieta em juvenis de pirarucu *Arapaima gigas*. (Tesis Mg. Sc.). Brasil. UNL. 53 pp.
- Martinez, Y.; Li, X.; Liu, G.; Bin, P.; Yan, W.X.; Mas, D.; Valdivie, M.; Hu, C.A.A.; Ren, W.K. and Yin, Y.L. 2017. The role of methionine on metabolism, oxidative stress, and diseases. *Amino Acids* 49, 2091–2098.
- Martins, MG., Martins, DEG. and Pena, R. da S., 2017. Chemical composition of different muscle zones in pirarucu (*Arapaima gigas*). *Food Sci. Technol.* 37, 651–656.
- Medeiros, P.; Costa, E.; Brasil, E.; Ono, E. and Affonso, E. 2019. Diets for grow-out of pirarucu in net cage: performance, physiological parameters, fillet composition and feeding cost. *Boletim do Instituto de Pesca*, Vol 45 No 4.
- Michelato, M.; Zaminhan, M.; Boscolo, W. R.; Nogaroto, V.; Vicari, M.; Artoni, RF.; Furuya, V. R. B. and Furuya, W. M. 2017. Dietary histidine requirement of Nile tilapia juveniles based on growth performance, expression of muscle-growth-related genes and haematological responses. *Aquaculture* 467:63-70.
- Mohanty, SN. and Kaushik, SJ. 1991. Whole body amino acid composition of Indian major carps and its significance. *Aqua. Liv. Resour.* 4, 61–64.
- Monentcham, SE.; Whatelet, B.; Pouomogne, V. and P. Kestemont. 2010. Egg and whole-body amino acid profile of African bonytongue (*Heterotis niloticus*) with an estimation of their dietary indispensable amino acids requirements. *Fish Physiology and Biochemistry* 36 (3):531–38.

- Montes-Girao, P. and Fracalossi, D. 2006. Dietary Lysine Requirement as Basis to Estimate the Essential Dietary Amino Acid Profile for Jundia, *Rhamdia quelen*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 37. 388 - 396.
- Moon, HY. and Gatlin, DM. 1991. Total sulfur amino acid requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 95:97-106.
- Murillo-Gurrea, DP.; Coloso, RM.; Borlongan, IG. and Serrano, Jr, AE . 2001. Lysine and arginine requirements of juvenile Asian sea bass (*Lates calcarifer*). *Journal of Applied Ichthyology*, 17: 49-53
- NRC (National Research Council). 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. Washington, DC: National Academy Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council). 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. The National Academies Press, Washington, DC.
- Ochoa. DT. 2018. Estimación del requerimiento de aminoácidos esenciales del paco (*Piaractus brachipomus*) en base a la composición de aminoácidos en el músculo. Tesis de Maestría en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ogata, H.; Arai, S. and Nose, T., 1983. Growth response of cherry salmon *Oncorhynchus masou* and amago salmon *O. rhodurus* fry fed purified casein diet supplemented with amino acids. *Bull. Jpn. Sot. Sci. Fish.*, 49: 1381-1385.
- Ogino, C. 1980. Requirements of Carp and Rainbow Trout for Essential Amino Acid. *Bulletin Japanese Science Society Fish*, 46, 171-174.
- Ng, WK. and Hung, SSO. 1995. Estimating the ideal dietary indispensable amino acid pattern for growth of white sturgeon, *Acipenser transmontanus* (Richardson). *Aquaculture Nutrition*. 1. 85 - 94.
- Neu, D.; Boscolo, W.; Zaminhan, M.; Almeida, F.; Sary, C. and Furuya, W. 2016. Growth performance, biochemical responses, and skeletal muscle development of juvenile

- Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed with increasing levels of arginine. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(2), 248–259.
- Poppi, DA.; Moore, SS. and Glencross, BD. 2017. Redefining the requirement for total sulfur amino acids in the diet of barramundi (*Lates calcarifer*) including assessment of the cystine replacement value. *Aquaculture* 471, 213–222.
- Portugal, TR. and Aksnes, A. 1983. Arginase activity in different fish species and tissues. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 76B, No. 1, pp. 15 to 16
- Portz, L.; Cyrino, JEP. and Martino, RC. 2001. Growth and body composition of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in response to dietary protein and energy levels. *Aquaculture Nutrition* 7,1-8.
- Portz, L and Cyrino, JEP. 2003. Comparison of the amino acid contents of roe, whole body and muscle tissue and their A/E ratios for largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802). *Aquaculture Research*. 34. 585 - 592.
- Pyz-Łukasik, R and Paszkiewicz, W. 2018. Species Variations in the Proximate Composition, Amino Acid Profile, and Protein Quality of the Muscle Tissue of Grass Carp, Bighead Carp, Siberian Sturgeon, and Wels Catfish. *Journal of Food Quality*. 2018. 1-8.
- Ren, M.; Habte-Tsion, HM.; Liu, B.; Miao, L.; Ge, X.; Xie, J. and Pan, L. 2015. Dietary leucine level affects growth performance, whole body composition, plasma parameters and relative expression of TOR and TNF- α in juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture*, 448, 162–168.
- Robinson, E.H.; Wilson, RP. and Poe, WE. 1981. Arginine requirement and apparent absence of a lysine-arginine antagonist in fingerling channel catfish. *J. Nutr.* 111:46-52.

- Rodríguez, A.; Moro, G. and Dos Santos, V. 2015. Alimentação e nutrição do pirarucu *Arapaima gigas*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Pesca e Aquicultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil 32 pp.
- Rodrigues, APO.; Bicudo, AJA.; Moro, GV.; Gominho-Rosa, MC. and Gubiani, EA. 2021. Muscle amino acid profile of wild and farmed pirarucu (*Arapaima gigas*) in two size classes and an estimation of their dietary essential amino acid requirements, *Journal of Applied Aquaculture*,
- Rollin, X.; Mambrini, M.; Abboudi, T.; Larondelle, Y. and Kaushik, S. J. 2003. The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry. *Brit. J. Nutr.* 90:865-876.
- Sagratzki, B.; Ituassú, D.; Pereira, M.; Roubach, R.; Moreira, A.; Leao, F. and Akifumi, E. 2003. Uso de alimento vivo como dieta inicial no treinamento alimentar de juvenis de pirarucú. *Pesq. Agropec. Bras.* 38(8):1011-1015.
- Santiago, CB. and Lovell, RT. 1988. Amino Acid Requirement for Growth of Nile Tilapia. *The Journal of Nutrition*, 118, 1540-1546.
- Sabetian, M.; Delshad, ST.; Moini, S.; Islami, HR. and Motalebi, A. 2012. Identification of Fatty Acid Content, Amino Acid Profile and Proximate Composition in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of American Science*, 8(4): 670-677
- Silvão, CF. and Nunes, AJP. 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.
- Singh, RA. and Singh, SN. 1986. Liver arginase in air-breathing and non-air-breathing freshwater teleost fish, *Biochemical Systematics and Ecology*, Volume 14, Issue 2, Pages 239-241.

- Small, BC. and Soares Jr, JH. 1998. Estimating the quantitative essential amino acid requirements of striped bass *Morone saxatilis*, using fillet A/E ratios. *Aquacult. Nutr.*, 4, 225–232.
- Surjobala, N.; Mandal, S.; Patel, A.; Parhi, J. and Pandey, P. 2020. Effect of Graded Protein Levels on the Growth, Survival and Body Composition of Juvenile *Osteobrama belangeri* using Semi Purified Diet. *Indian Journal of Animal Research*.
- Tibaldi E. and Lanari D. 1991 Optimal dietary lysine levels for growth and protein utilisation of fingerling seabass *Dicentrarchus labrax*, *Aquaculture* 95 297-3.
- Tu, Y.; Xie, S.; Han, D.; Yang, Y.; Jin, J. and Zhu, X. 2015. Dietary arginine requirement for gibel carp (*Carassis auratus gibelio* var. CAS III) reduces with fish size from 50 g to 150 g associated with modulation of genes involved in TOR signaling pathway. *Aquaculture*, 449, 37–47
- Twibell, R. G. and P. B. Brown. 1997. Dietary arginine requirement of juvenile yellow perch. *J. Nutr.* 127:1838-1841.
- Udewald, R. 2005. Potencial de peces amazónicos en el mercado alemán: paiche, gamitana y dorado. Editado por PNPB-PROMPEX, Perú.
- Van Goudoever, JB.; Stoll, B.; Henry, JF.; Burrin, D.G. and Reeds, PJ. 2000. Adaptive regulation of intestinal lysine metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* 97:11620–11625.
- Vergara, V.; Camacho, R. and Bustamante P. 2016a. Determinación del requerimiento de Proteína cruda para el Paiche (*Arapaima gigas*). Trabajo presentado en LACQUA – SARA 2016, Lima, Perú.
- Waagbø, R.; Tröbe, C.; Koppe, W.; Fontanillas, R. and Breck, O. 2010. Dietary histidine supplementation prevents cataract development in adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in seawater. *British Journal of Nutrition* 104:1460-1470.

- Wang, YY.; Che, JF.; Tang, BB.; Yu, S.L.; Wang, Y.Y. and Yang, YH. 2016. Dietary methionine requirement of juvenile *Pseudobagrus ussuriensis*. *Aquac. Nutr.* 22, 1293–1300.
- Wang, Q.; He, G.; Mai, K.; Xu, W.; Zhou, H. and Wang, X. 2016. Chronic rapamycin treatment on the nutrient utilization and metabolism of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Sci Rep*;6:28068
- Wilson, RP. 2002. Amino acids and proteins. Pp. 143-179 in *Fish Nutrition, Third Edition*, J. E. Halver and R. W. Hardy, eds. New York: Academic Press.
- Wilson, RP. and Poe, WE. 1985. Relationship of whole body and egg essential amino acid patterns to amino acid requirement patterns in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Comp Biochem Phys B* 1985; 80: 385-388.
- Wilson, RP. and Halver, JE. 1986. Protein and amino acid requirements of fishes. *Annual Reviews. Nutritional*, 1986: 225- 244
- Wood, C.; Pelster, B.; Braz-Mota, S. and Val, A. 2020. Gills versus kidney for ionoregulation in the obligate air-breathing *Arapaima gigas*, a fish with a kidney in its air-breathing organ. *The Journal of experimental biology*. 223.
- Wu, G. 2009. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, v. 37, p. 1-17.
- Wullschleger, S.; Loewith, R. and Hall, MN. 2006. TOR signaling in growth and metabolism. *Cell*, 124, 471–484.
- Yamamoto, T.; Shima, T. and Furuita, H. 2004. Antagonistic effects of branched-chain amino acids induced by excess protein-bound leucine in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 232:539-550.
- Yúfera, M. and Darias, MJ. 2007. The onset of exogenous feeding in marine Fish larvae.

Zehra, S. and Khan, MA. 2011. Dietary protein requirement for fingerling *Channa punctatus* (Bloch), based on growth, feed conversion, protein retention and biochemical composition.

Zhao, Y.; Li, JY.; Jiang, Q.; Zhou, XQ.; Feng, L.; Liu, Y.; Jiang, WD.; Wu, P.; Zhou, J.; Zhao, J. and Jiang, J. 2020. Leucine Improved Growth Performance, Muscle Growth, and Muscle Protein Deposition Through AKT/TOR and AKT/FOXO3a Signaling Pathways in Hybrid Catfish *Pelteobagrus vachelli* × *Leiocassis longirostris*. *Cells*. Jan 30;9(2):327.

Zhou, F.; Xiao, J.; Hua, Y.; Ngandzali, B. and Shao, Q. 2011. Dietary l-methionine requirement of juvenile black sea bream (*Sparus macrocephalus*) at a constant dietary cystine level. *Aquac. Nutr.* 17, 469–481.

Zhou, QC.; Zeng, WP.; Wang, HL.; Xie, FJ.; Tuo-W, and Zheng, CQ. 2012b. Dietary arginine requirement of juvenile yellow grouper *Epinephelus awoara*. *Aquaculture*. s 350–353.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Requerimientos de aminoácidos esenciales estimados en especies de peces en base a la composición corporal (g/16gN)

Especie	Arginina	Histidina	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina + Cisteína	Fenilalanina + Tirosina	Treonina	Triptófano	Valina
<i>Róbalo europeo</i> ^{as,a}	4.60	1.60	2.60	4.30	4.80	2.30	2.60	2.70	0.60	2.90
<i>Dorada</i> ^{as,a}	5.40	1.70	2.60	4.50	5.00	2.40	2.90	2.80	0.60	3.00
<i>Rodaballo</i> ^{as,a}	4.80	1.50	2.60	4.60	5.00	2.70	5.30	2.90	0.60	2.90
<i>Pámpano</i> ^{as,b}	4.01	1.29	1.78	4.27	4.80	2.33	3.99	2.42	0.63	2.08
<i>Palometa plateada</i> ^{as,c}	3.46	1.37	2.00	3.98	4.50	1.87	3.79	2.85	ND	2.79

^{as}peces de agua salada; ^aKaushik (1998); ^bBorges *et al.* (2014); ^cHossain *et al.* (2011); ND (no determinado)

ANEXO 2. Requerimientos de aminoácidos esenciales estimados en especies de peces en base a la composición del músculo (g/16gN)

Especie	Arginina	Histidina	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina + Cisteína	Fenilalanina + Tirosina	Treonina	Triptófano	Valina
<i>Pámpano</i> ^{as,a}	3.04	1.16	1.61	4.04	4.80	1.71	3.42	2.06	0.56	1.80
<i>Lambari de cola amarilla</i> ^{ad,b}	4.48	1.77	3.00	4.26	5.13	2.89	5.56	2.64	1.05	3.11
<i>Jundiá</i> ^{ad,c}	3.72	1.31	2.54	5.03	5.80	3.11	4.79	3.00	0.27	2.65
<i>Yamú</i> ^{ad,d}	2.90	1.14	3.08	5.37	4.94	2.30	5.34	2.80	1.02	3.32
<i>Sábalo jetón</i> ^{ad,d}	3.96	1.51	2.92	4.92	5.80	1.63	4.57	2.77	0.67	3.45
<i>Paco</i> ^{ad,e}	7.53	1.66	2.27	3.78	5.67	1.78	4.65	2.69	0.55	3.01
<i>Pirarucú</i> ^{ad,f,+}	3.93	1.26	2.48	5.00	6.03	2.70	4.76	2.72	0.49	2.79

^{as}peces de agua salada; ^{ad}peces de agua dulce; ^aBorges *et al.* (2014); ^bAbimorad y Castellani (2011); ^cMeyer y Fracalossi (2005); ^dBicudo y Cyrino (2009); ^eOchoa (2018); ^fRodrigues *et al.* (2021); ⁺Valor promedio

ANEXO 3. Efecto de dos niveles de energía y dos relaciones energía proteína sobre el desempeño productivo de juveniles de paiche

Proteína Total %	Valores promedios*			
	50		45	
Relacion E/P, Kcal ED/g Pt.	10	8.5	10	8.5
E.D., Mcal / Kg	5	4.25	4.5	3.83
TRATAMIENTOS	1	2	3	4
Peso (g)				
Peso Inicial (g)	344.65 ^a	347.92 ^a	340.01 ^a	350.16 ^a
Peso Final (g)	936.02 ^a	901.36 ^a	805.79 ^a	847.77 ^a
Ganancia de peso (g)	591.37 ^a	553.45 ^a	465.79 ^a	497.61 ^a
Ganancia de Biomasa (g)	1182.74 ^a	1106.89 ^a	931.57 ^a	995.23 ^a
Longitud (cm)				
Talla Inicial	34.69 ^a	34.45 ^a	34.10 ^a	34.94 ^a
Talla Final	46.50 ^a	46.44 ^a	44.38 ^a	45.86 ^a
Ganancia de Talla	11.81 ^a	11.99 ^a	10.28 ^a	10.93 ^a
Parámetros Productivos				
Consumo alimento por juvenil (g)	502.22 ^a	456.68 ^a	400.53 ^a	477.92 ^a
Conversión alimenticia	0.85 ^{ab}	0.83 ^b	0.86 ^{ab}	0.96 ^a
Tasa de crecimiento (g/día)	12.07 ^a	11.29 ^a	9.51 ^a	10.16 ^a
Tasa crecimiento específico (%/día)	2.03 ^a	1.94 ^a	1.77 ^a	1.80 ^a
Eficiencia Alimenticia	1.19 ^a	1.22 ^a	1.16 ^a	1.04 ^a

*La información mostrada en la presenta tabla, ha sido extraída de la investigación de Guevara (2021), la cual se encuentra en proceso de publicación. Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes (P <0.05) por la prueba de Tukey.

ANEXO 4. Aminoácidos esenciales en especies acuícolas de agua dulce en base a la composición muscular (g/16gN) incluyendo cisteína y tirosina

Especie	Arginina	Histidina	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina + Cisteína	Fenilalanina + Tirosina	Treonina	Triptófano	Valina
Perca americana ^a	6.32	3.59	6.26	8.29	10.05	4.38	8.17	4.32	ND	5.50
Doncella ^b	6.53	2.88	4.05	7.56	8.16	3.40	6.87	4.50	0.89	4.25
Lubina negra ^b	6.07	2.06	3.47	6.94	8.18	3.64	6.81	4.18	0.82	3.83
Jundiá ^c	6.17	2.18	4.21	8.34	9.63	5.15	7.91	4.98	0.45	4.40
Sábalo jetón ^d	7.78	2.97	5.74	9.67	11.40	3.2*	8.97*	5.44	1.32	6.78
Bocon ^d	3.60	1.42	3.82	6.67	6.13	2.85	6.63	3.48	1.26	4.12
Lambari de cola amarilla ^e	6.19	2.82	4.75	8.33	9.39	3.66	8.05	4.43	1.53	5.12
Paco ^f	11.69	2.58	3.53	5.86	8.80	2.77**	7.22	4.18	0.86	4.67
Carpa china ^g	6.59	2.69	4.28	7.81	9.83	3.14	7.23	4.75	3.02	4.91
Carpa cabeza ^g	6.63	2.67	4.24	7.89	9.69	2.54	7.37	4.71	3.04	4.93
Siluro ^g	6.63	2.34	4.35	7.98	9.71	2.25	7.36	5.15	1.98	4.74

^aRamseyer (1994); ^bPortz (2001); ^cMeyer y Fracalossi (2005); ^dBicudo y Cyrino (2009); ^eAbimorad y Castellani (2011); ^fOcha (2018); ^gPyz-Lukasik y Paszkiewicz (2018).

*Los valores de cisteína y tirosina no se muestran de forma independiente en el estudio Bicudo (2009)

** El valor de cisteína no fue determinado, solo el valor de metionina

ANEXO 5. Perfil de aminoácidos AAE Y NAAE (g/16g N) en base seca del músculo de *Arapaima gigas*

Aminoácidos	Rodríguez <i>et al.</i> (2021)				Martins <i>et al.</i> (2017)	Estudio
	S*	C*	S**	C**	S ⁺	L ⁺⁺
Arginina	5.95	6.30	6.12	6.20	5.14	12.21
Histidina	1.86	2.01	1.80	1.86	1.87	1.84
Isoleucina	4.45	3.97	4.97	4.91	3.77	4.45
Leucina	8.53	8.01	8.74	8.96	6.26	5.59
Lisina	9.90	9.65	9.80	9.99	7.99	9.00
Metionina	2.92	2.89	2.98	3.01	2.52	2.68
Fenilalanina	4.44	4.41	4.34	4.41	3.38	4.45
Treonina	4.35	4.36	4.36	4.35	3.63	2.50
Triptófano	0.88	0.79	0.90	0.88	0.00	0.77
Valina	4.71	4.47	5.04	4.86	4.47	3.96
Alanina	5.77	6.33	5.46	5.77	4.89	3.36
Acido aspártico	10.22	10.42	9.86	10.04	8.21	10.23
Glicina	4.41	5.03	4.84	4.85	3.66	4.88
Acido glutámico	16.09	16.82	15.17	15.59	13.30	15.83
Tirosina	3.20	3.27	3.00	2.98	3.02	3.05
Prolina	3.21	3.67	3.46	3.59	2.83	2.78
Serina	2.72	4.40	2.80	4.18	3.33	4.34
Cisteína	1.13	1.35	0.91	1.04	1.09	
Taurina	2.89	0.58	2.80	0.83	0.30	
Hidroxiprolina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	

S (paiches obtenidos de río); C (paiches obtenidos de piscigranjas alimentados con dieta comercial conteniendo 40 por ciento Proteína cruda); L (paiches criados en laboratorio); * Valor promedio de muestra de 1.7 kg de peso vivo; ** Valor promedio de muestra de 10.5 kg de peso vivo; ⁺Valor promedio de muestra de peso vivo de 18.6kg; ⁺⁺peso de muestra fresca 0.269 kg.

ANEXO 6. Perfil de aminoácidos (g/16g N) de proteína de músculo en base seca de *Arapaima gigas* y coeficiente de correlación

Aminoácidos	Rodríguez <i>et al.</i> (2021)				Estudio	
	S*	C*	S**	C**	Promedio	L ⁺
Arginina	5.95	6.30	6.12	6.20	6.14	12.21
Histidina	1.86	2.01	1.80	1.86	1.88	1.84
Isoleucina	4.45	3.97	4.97	4.91	4.58	4.45
Leucina	8.53	8.01	8.74	8.96	8.56	5.59
Lisina	9.90	9.65	9.80	9.99	9.84	9.00
Metionina	2.92	2.89	2.98	3.01	2.95	2.68
Fenilalanina	4.44	4.41	4.34	4.41	4.40	4.45
Treonina	4.35	4.36	4.36	4.35	4.36	2.50
Triptófano	0.88	0.79	0.90	0.88	0.86	0.77
Valina	4.71	4.47	5.04	4.86	4.77	3.96
Alanina	5.77	6.33	5.46	5.77	5.83	3.36
Acido aspártico	10.22	10.42	9.86	10.04	10.14	10.23
Glicina	4.41	5.03	4.84	4.85	4.78	4.88
Acido glutámico	16.09	16.82	15.17	15.59	15.92	15.83
Tirosina	3.20	3.27	3.00	2.98	3.11	3.05
Prolina	3.21	3.67	3.46	3.59	3.48	2.78
Serina	2.72	4.40	2.80	4.18	3.53	4.34
Coefficiente de correlación						
r ⁺	0.88	0.89	0.88	0.88	0.88	-

S (paiches obtenidos de río); C (paiches obtenidos de piscigranjas alimentados con dieta comercial; * Valor promedio de AA proveniente de peces con 1.7 kg de peso vivo; ** Valor promedio de AA proveniente de peces con de 10.5 kg de peso vivo; L (paiches criados en laboratorio); r⁺ (coeficiente de correlación entre los valores obtenido del estudio y valores reportados por Rodríguez *et al.* (2021)).

ANEXO 7. Coeficiente de correlación de la proporción de AAE/ Lisina contenido en el músculo de *Arapaima gigas*

Aminoácidos	Rodríguez <i>et al.</i> (2021)				Promedio	Estudio L
	S*	C*	S**	C**		
Arginina/Lisina	0.601	0.653	0.624	0.621	0.625	1.357
Histidina/Lisina	0.188	0.208	0.184	0.186	0.192	0.204
Isoleucina/Lisina	0.449	0.411	0.507	0.491	0.465	0.494
Leucina/Lisina	0.862	0.830	0.892	0.897	0.870	0.621
Lisina/Lisina	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Metionina/Lisina	0.295	0.299	0.304	0.301	0.300	0.298
Fenilalanina/Lisina	0.448	0.457	0.443	0.441	0.447	0.494
Treonina/Lisina	0.439	0.452	0.445	0.435	0.443	0.278
Triptófano/Lisina	0.089	0.082	0.092	0.088	0.088	0.086
Valina/Lisina	0.476	0.463	0.514	0.486	0.485	0.440
Alanina/Lisina	0.583	0.656	0.557	0.578	0.593	0.373
Acido aspártico/Lisina	1.032	1.080	1.006	1.005	1.031	1.137
Glicina/Lisina	0.445	0.521	0.494	0.485	0.487	0.542
Acido glutámico/Lisina	1.625	1.743	1.548	1.561	1.619	1.759
Tirosina/Lisina	0.323	0.339	0.306	0.298	0.317	0.339
Prolina/Lisina	0.324	0.380	0.353	0.359	0.354	0.309
Serina/Lisina	0.275	0.456	0.286	0.418	0.359	0.482
Coefficiente de correlación						
r ⁺	0.88	0.89	0.88	0.88	0.88	-

S (paiches obtenidos de río); C (paiches obtenidos de piscigranjas alimentados con dieta comercial conteniendo 40 por ciento Proteína cruda); * Proveniente de muestra de 1.7 kg de peso vivo; ** Proveniente de muestra de 10.5 kg de peso vivo; L (paiches criados en laboratorio); r⁺⁺(coeficiente de correlación entre los valores obtenido del estudio y valores reportados por Rodríguez *et al.* (2021).

ANEXO 8. Resultados del perfil de aminoácidos del tejido muscular del *Arapaima gigas*

	g de aminoácidos / 100g de muestra original						Promedio	Estadística		g AA / 100g de	g AA / 100 g
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3			Desviación Estándar	Coeficiente de variación (%)	de muestra original	de proteína **
	R 1	R2	R 1	R2	R 1	R2				Base seca	Base seca
AA ESENCIALES											
Lisina	7.67	7.44	7.98	7.83	7.23	7.34	7.58	0.293	3.87	8.04	9.00
Arginina	11.09	9.47	11.09	11.09	9.47	9.47	10.28	0.887	8.63	10.91	12.21
Histidina	1.45	1.65	1.45	1.45	1.65	1.65	1.55	0.11	7.07	1.64	1.84
Isoleucina	3.87	3.77	3.89	3.88	3.45	3.61	3.75	0.179	4.79	3.97	4.44
Leucina	5.03	4.82	4.39	4.71	4.59	4.71	4.71	0.215	4.57	5	5.59
Metionina	2.03	2.47	2.05	2.04	2.47	2.47	2.26	0.236	10.45	2.39	2.68
Fenilalanina	3.77	3.94	3.78	3.78	3.49	3.72	3.75	0.146	3.9	3.97	4.44
Treonina	2.27	1.93	2.29	2.28	1.93	1.93	2.11	0.192	9.11	2.23	2.50
Triptófano	0.71	0.583	0.71	0.71	0.582	0.58	0.65	0.07	10.81	0.69	0.77
Valina	3.06	3.59	3.09	3.08	3.59	3.59	3.33	0.282	8.47	3.54	3.96
AA NO ESENCIALES											
Ácido aspártico	9.28	7.94	9.28	9.28	7.94	7.94	8.61	0.734	8.52	9.14	10.23
Ácido glutámico	14.46	12.2	14.46	14.46	12.2	12.2	13.33	1.238	9.29	14.15	15.84
Serina	3.94	3.38	3.92	3.93	3.38	3.38	3.66	0.301	8.24	3.88	4.34
Glicina	4.41	3.82	4.4	4.41	3.82	3.82	4.11	0.32	7.79	4.36	4.88
Alanina	3.01	2.65	3.01	3.01	2.65	2.65	2.83	0.197	6.97	3	3.36
Prolina	1.87	2.82	1.85	1.86	2.82	2.82	2.34	0.526	22.47	2.48	2.78
Tirosina	2.38	2.75	2.38	2.38	2.75	2.75	2.57	0.203	7.9	2.72	3.04
Cisteina*	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Humedad (%)	5.79	5.73	5.81	5.8	5.72	5.73	5.76	0.042	0.72	-	-
Proteína Cruda (%)	83.1	85.3	83.08	83.09	85.28	85.29	84.19	1.205	1.43	89.34	-

*ND (no determinado); **gAA/100g Pt en base seca o su equivalente g/16g N , siendo este último como se expresaran todos los resultados en la presente investigación.

ANEXO 9. Estimación del contenido de cisteína (g/16g N)

Aminoácidos	(g/16g N)				
	S*	C*	S**	C**	Promedio
Metionina (Met)	2.92	2.89	2.98	3.01	2.95
Cisteína (Cys)	1.13	1.35	0.91	1.04	1.11
Fenilalanina (Phe)	4.44	4.41	4.34	4.41	4.4
Tirosina (Tyr)	3.2	3.27	3.00	2.98	3.11
AAE	47.99	46.86	49.05	49.43	48.33
Valor de proporcionalidad o Proporción (K)					
(Met+Cys) /TAAE	0.0844	0.0905	0.0793	0.0819	0.084
(Phe+Tyr) /TAAE	0.1592	0.1639	0.1496	0.1495	0.156
Proporción (K)	0.2436	0.2544	0.229	0.2314	0.240 ⁺⁺
Estimación de Cisteína					
Aminoácidos	(g/16g N)				
Metionina (Met)	2.68 ⁺				
Fenilalanina (Phe)	4.45 ⁺				
Tirosina (Tyr)	3.05 ⁺				
Total de AAE	47.45 ⁺				
Proporción (K)	0.240 ⁺⁺				
Cisteína (Cys)	1.22 ⁺⁺⁺				

S (paiches obtenidos de río); C (paiches obtenidos de piscigranjas alimentados con dieta comercial conteniendo 40 por ciento Proteína cruda); * Valor promedio de muestra proveniente de pez con 1.7 kg de peso vivo; ** Valor promedio de muestra proveniente de pez con 10.5 kg de peso vivo reportados por Rodríguez *et al.* (2021); ⁺Valores promedio encontrados en las 3 muestras de músculo de Paiche expresados en g/16g N, de la presente investigación; ⁺⁺Valor de proporción (K) encontrado utilizando los datos reportados por Rodríguez *et al.* (2021); ⁺⁺⁺ Valor estimado de cisteína.

ANEXO 10: Relación A/E de diferentes especies de peces de agua dulce y salada

Especie de peces	A/E músculo									
	Arginina	Histidina	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina + Cisteína	Fenilalanina + Tirosina	Treonina	Triptófano	Valina
Róbalo europeo ^{a,c,(as)}	146.60	49.80	84.00	138.80	153.60	72.50	83.40	86.30	19.40	91.20
Dorada ^{a,c,(as)}	162.40	49.90	78.90	134.30	149.60	73.10	86.40	84.80	18.50	88.50
Rodaballo ^{a,c,(as)}	144.60	46.40	80.60	140.80	152.10	82.30	160.30	86.60	18.70	87.50
Pámpano ^{a,d,(as)}	144.95	46.57	64.28	154.35	173.37	84.23	144.07	87.45	22.74	74.99
Pámpano ^{b,d,(as)}	125.73	48.00	66.48	166.90	198.23	70.69	141.10	85.16	23.10	74.51
Palometa plateada ^{a,e,(as)}	140.40	55.40	80.90	161.20	182.30	75.90	153.80	115.50	ND	113.20
Yamú ^{a,f,(ad)}	90.05	35.52	95.55	166.83	153.33	71.29	165.83	87.04	31.52	103.05
Sábalo jetón ^{a,f,(ad)}	122.97	46.94	90.72	152.84	180.18	50.58	141.77	85.98	20.86	107.16
Lambari de cola amarilla ^{b,g,(ad)}	114.00	52.00	87.50	153.40	173.10	67.70	148.20	81.50	28.30	94.40
Jundiá ^{b, h,(ad)}	115.50	40.80	78.80	156.10	180.20	96.40	148.30	93.20	8.40	82.40
Paco ^{b,i,(ad)}	224.12	49.46	67.68	112.35	168.71	53.11	138.42	80.14	16.49	89.53
Piracucú ^{b,j,(ad)+}	116.88	35.82	87.06	162.88	187.15	77.21	142.95	82.87	16.41	90.77

^acomposición corporal; ^bcomposición muscular; ^(as)peces de agua salada; ^(ad)peces de agua dulce; ^cKaushik (1998); ^dBorges *et al.* (2014); ^eHossain *et al.* (2011); ^fBicudo y Cyrino (2009); ^gAbimorad y Castellani (2011); ^hMeyer y Fracalossi (2005); ⁱOchoa (2018); ^jRodrigues *et al.* (2021); ⁺Valores promedio; ND: no determinado.

ANEXO 11: Aminoácidos esenciales en la dieta y requerimiento estimado en el estudio

	AAE en la dieta*	Requerimiento estimado de AAE**	Porcentaje***
AMINOACIDOS ESENCIALES (AAE)	g/16 g N	g/16g N	%
Lisina	3.93	5.00	127.23
Arginina	3.02	6.78	224.50
Histidina	1.23	1.02	82.93
Isoleucina	2.41	2.47	102.49
Leucina	3.86	3.11	80.57
Met + Cis	1.99	2.16	108.54
Fen + Tir	3.93	4.16	105.85
Treonina	2.17	1.39	64.06
Triptófano	0.6	0.43	71.67
Valina	2.67	2.20	82.40
Coefficiente de Correlación			
r	-----	0.75 ⁺	-----

* Dieta experimental con un nivel de 50 por ciento de PC y 5.0 Mcal /kg, tratamiento 1, dieta que generó mayor crecimiento en juveniles de Paiche; ** Requerimiento estimado utilizando el perfil del músculo de juveniles de Paiche; *** Porcentaje de la cantidad de AAE del requerimiento estimado con respecto a la cantidad de AAE en la dieta; ⁺Coefficiente de correlación obtenido entre el contenido de AAE en la dieta y el requerimiento estimado de AAE obtenido en la presente investigación.

ANEXO 12. Comparación de contenido de AAE expresados en g/16g N de las muestras de músculo de paiche

	Rodrigues <i>et al.</i> (R)				Normalidad	Investigación (I)			Normalidad	Homogeneidad de varianzas	(R)	(I)	T-student***
	Repeticiones*					Repeticiones**							
	R1	R2	R3	R4		R1	R2	R3					
Aminoácidos esenciales (g/16g N)	w (1.7kg)	f (1.7kg)	w (10.5kg)	f (10.5kg)	P-valor	M1	M2	M3	P-valor	P-valor	Promedio	Promedio	P-valor
Arginina	5.95	6.30	6.12	6.20	0.759	12.21	13.35	11.10	0.630	0.080	6.14 ^b	12.22 ^a	0.011
Histidina	1.86	2.01	1.80	1.86	0.164	1.84	1.75	1.93	0.631	0.247	1.88 ^a	1.84 ^a	0.573
Isoleucina	4.45	3.97	4.97	4.91	0.373	4.54	4.68	4.14	0.350	0.550	4.58 ^a	4.45 ^a	0.702
Leucina	8.53	8.01	8.74	8.96	0.581	5.85	5.48	5.45	0.092	0.478	8.56 ^a	5.59 ^b	0.000
Lisina	9.9	9.65	9.8	9.99	0.799	8.97	9.51	8.54	0.680	0.081	9.84 ^a	9.01 ^a	0.239
Metionina + Cisteína	4.05	4.24	3.89	4.05	0.624	3.86	4.37	3.46	0.216	0.065	4.06 ^a	3.90 ^a	0.708
Fenilalanina + Tirosina	7.64	7.68	7.34	7.39	0.249	7.62	7.41	7.45	0.631	0.690	7.51 ^a	7.49 ^a	0.586
Treonina	4.35	4.36	4.36	4.35	0.047	2.49	2.75	2.26	0.224	0.053	4.36 ^a	2.50 ^b	0.006
Triptófano	0.88	0.79	0.9	0.88	0.061	0.77	0.85	0.68	0.631	0.373	0.86 ^a	0.77 ^a	0.123
Valina	4.71	4.47	5.04	4.86	0.849	3.95	3.71	4.21	0.626	0.897	4.77 ^a	3.96 ^a	0.070

*Las repeticiones de las muestras de músculo de paiche reportadas por Rodrigues *et al.* (2021) , siendo w (salvaje) y f (cultivado); ** Las repeticiones de las muestras de músculo de paiche obtenidas en la presente investigación han sido consideradas como el valor promedio de cada muestra obtenida (Anexo 8), los valores mostrados en la tabla ya incluyen el valor de cisteína estimada más metionina; *** Todos los valores de aminoácidos de las repeticiones de las muestras comparadas fueron analizadas con un $\alpha = 0.05$ siendo verificado previamente Normalidad (test Anderson - Darling) y Homogeneidad de varianzas (F-test). Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$) por la prueba T-Student.

ANEXO 13. Comparación de la relación de A/E de las muestras de músculo de paiche

Relacion A/E	Rodrigues <i>et al.</i> (R)				Normalidad	Investigación (I)			Normalidad	Homogeneidad de varianzas	(R)	(I)	T-student***
	REPETICIONES*					REPETICIONES**							
	R1	R2	R3	R4	P-valor	R1	R2	R3	P-valor	P-valor	Promedio	Promedio	P-valor
	w (1.7kg)	f (1.7kg)	w (10.5kg)	f (10.5kg)		M1	M2	M3					
Arginina	113.72	122.38	115.56	116.00	0.146	234.30	247.83	225.54	0.557	0.110	116.91 ^b	235.89 ^a	0.000
Histidina	35.55	39.04	33.99	34.80	0.226	35.33	32.40	39.30	0.591	0.474	35.85 ^a	35.68 ^a	0.940
Isoleucina	85.05	77.12	93.84	91.86	0.506	87.07	86.82	84.07	0.441	0.093	86.97 ^a	85.98 ^a	0.837
Leucina	163.04	155.59	165.03	167.63	0.412	112.25	101.68	110.74	0.169	0.818	162.82 ^a	108.22 ^b	0.000
Lisina	189.22	187.45	185.05	186.90	0.745	172.19	176.65	173.50	0.412	0.619	187.16 ^a	174.12 ^b	0.000
Metionina + Cisteína	77.41	82.36	73.45	75.77	0.682	74.16	81.08	70.20	0.628	0.098	77.25 ^a	75.15 ^a	0.712
Fenilalanina + Tirosina	146.02	149.18	138.60	138.26	0.409	146.32	137.66	151.35	0.596	0.412	143.02 ^a	145.11 ^a	0.486
Treonina	83.14	84.69	82.33	81.38	0.786	47.86	51.06	45.96	0.533	0.341	82.89 ^a	48.30 ^b	0.000
Triptófano	16.82	15.35	16.99	16.46	0.222	14.74	15.87	13.84	0.608	0.589	16.41 ^a	14.81 ^a	0.060
Valina	90.02	86.83	95.17	90.93	0.642	75.78	68.94	85.50	0.580	0.184	90.74 ^a	76.74 ^b	0.027

*Valores de A/E obtenidos con la fórmula de Arai (1981) utilizando las repetición de AAE reportado de Rodrigues *et al.* (2021), mencionado en el Anexo 12 ** Valores de A/E obtenidos con la fórmula de Arai (1981) utilizando las repetición de AAE reportado en la presente investigación, mencionado en el Anexo 12 .***Todos valores obtenidos fueron comparados con un $\alpha = 0.05$ siendo verificado previamente Normalidad (Test Anderson - Darling) y Homogeneidad de varianzas (F-test). Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$) por la prueba T-Student.

ANEXO 14. Comparación del requerimiento estimado de AAE para paiche

Requerimiento AA (g/16g N)	Rodrigues <i>et al.</i> (R)				Normalidad P-valor	Investigación (I)			Normalidad P-valor	Homogeneidad de varianzas P-valor	(R) Promedio	(I) Promedio	T-student*** P-valor
	REPETICIONES*					REPETICIONES**							
	R1 w (1.7kg)	R2 f (1.7kg)	R3 w (10.5kg)	R4 f (10.5kg)		R1 M1	R2 M2	R3 M3					
Arginina	3.66	3.94	3.72	3.73	0.146	6.80	7.01	6.50	0.577	0.247	3.76 ^b	6.77 ^a	0.000
Histidina	1.14	1.26	1.09	1.12	0.226	1.03	0.92	1.13	0.631	0.504	1.15 ^a	1.03 ^a	0.114
Isoleucina	2.74	2.48	3.02	2.96	0.506	2.53	2.46	2.42	0.447	0.093	2.80 ^a	2.47 ^a	0.074
Leucina	5.25	5.01	5.31	5.40	0.412	3.26	2.88	3.19	0.216	0.709	5.24 ^a	3.11 ^b	0.000
Lisina	6.09	6.03	5.96	6.02	0.745	5.00 ⁺	5.00 ⁺	5.00 ⁺	++	++	6.02	5.00	++
Metionina + Cisteína	2.49	2.65	2.36	2.44	0.412	2.15	2.30	2.02	0.216	0.709	2.49 ^a	2.16 ^b	0.000
Fenilalanina + Tirosina	4.70	4.80	4.46	4.45	0.232	4.25	3.90	4.33	0.224	0.638	4.60 ^a	4.16 ^b	0.033
Treonina	2.68	2.73	2.65	2.62	0.786	1.39	1.45	1.32	0.619	0.616	2.67 ^a	1.39 ^b	0.000
Triptófano	0.54	0.49	0.55	0.53	0.222	0.43	0.45	0.40	0.589	0.684	0.53 ^a	0.43 ^a	0.003
Valina	2.90	2.79	3.06	2.93	0.642	2.20	1.95	2.46	0.629	0.204	2.92 ^a	2.21 ^b	0.004

*El valor de requerimiento de AAE estimado de cada repetición han sido obtenidos de los datos reportados por Rodrigues *et al.* (2021). ** El valor de requerimiento estimado de cada repetición han sido obtenidas utilizando la fórmula de Kaushik (1998). El requerimiento de lisina utilizado fue el determinado para dorado (*Salminus brasiliensis*) cuyo valor es 5.0 g/16g N. *** Todos los valores de requerimiento estimado de AAE de las muestras comparadas fueron analizadas con un $\alpha = 0.05$ siendo verificado previamente Normalidad (Test Anderson - Darling) y Homogeneidad de varianzas (F-test). Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$) por la prueba T-Student; ⁺Valor del requerimiento en g/16g N para *Salminus brasiliensis*; ⁺⁺ El valor de requerimiento de lisina no se pudo comparar, debido a que el requerimiento de utilizado es fijo para cada repetición de las 3 muestras en estudio

ANEXO 15: Comparación del requerimiento estimado de AAE obtenido en la investigación con otro requerimiento estimado para paiche

	Requerimiento estimado para paiche*	Requerimiento estimado Investigación **
Aminoácidos esenciales	g/16g N	g/16g N
Arginina	3.76	6.77
Histidina	1.15	1.03
Isoleucina	2.8	2.47
Leucina	5.24	3.11
Lisina	6.02	5.00
Metionina + Cisteína	2.49	2.16
Fenilalanina + Tirosina	4.6	4.16
Treonina	2.67	1.39
Triptófano	0.53	0.43
Valina	2.92	2.21
Total	32.18	28.73
Coefficiente de correlación		
r	-	0.74
Coefficiente de correlación sin incluir el valor de arginina		
r	-	0.94

*Requerimiento estimado de AAE para *Arapaima gigas* reportado por Rodrigues *et al.* (2021);

**Requerimiento estimado de AAE obtenido en la presente investigación

ANEXO 16: Correlación entre requerimientos determinados y estimados de otras especies (g/16gN)

Tipo de alimentación	Carnívoros		Vegetarianos		Omnívoros			Carnívoros		
	Salmon Atlántico*	Trucha Arcoiris*	Carpa común*	Rohu*	Tilapia*	Bagre de canal*	Lubina negra**	Dorado**	Paiche**	Investigación ⁺
Aminoácidos	Determinados						Estimados			
Arginina	5.00	3.95	5.31	5.31	4.14	4.14	4.65	3.44	3.76	6.78
Histidina	2.22	2.11	1.56	2.81	3.45	2.07	1.16	1.44	1.15	1.02
Isoleucina	3.06	2.89	3.13	3.13	3.45	2.76	2.09	2.49	2.80	2.47
Leucina	4.17	3.95	4.38	4.69	6.55	4.48	4.65	4.44	5.24	3.11
Lisina	6.67	6.32	6.88	7.19	5.52	5.52	4.88	5.05	6.02	5.00
Metionina + Cisteína	3.06	2.89	3.13	3.13	3.45	3.10	2.33	2.09	2.49	2.16
Fenilalanina + Tirosina	5.00	4.74	6.25	5.00	5.52	5.52	3.95	3.98	4.60	4.16
Treonina	3.06	2.89	4.69	5.31	5.86	2.41	2.56	2.51	2.67	1.39
Triptófano	0.83	0.79	0.94	1.25	1.38	0.69	0.47	0.44	0.53	0.43
Valina	3.33	3.16	4.38	4.69	5.17	2.76	3.26	2.77	2.92	2.20
AAE	36.40	33.69	40.63	42.50	44.48	33.45	30.00	28.65	32.19	28.71
Coeficiente de correlación										
r ⁺⁺	0.86	0.78	0.78	0.71	0.40	0.80	0.85	0.76	0.74	-----

*Requerimientos determinados en g/16g N reportados por la NRC (2011); ** Requerimientos estimados por Rodrigues *et al.* (2021); +Valores estimados en el estudio.

ANEXO 17: Calidad de agua de los acuarios

FECHA	PARAMETROS DEL AGUA*								
	Temperatura (°C)			O2 disuelto (ppm)	Amoniaco (NH3) (mg/l)	Nitritos (NO2) (mg/l)	pH	Conductividad (mS/cm2)	Dureza (ppm)
19/04/2019	28.1	27.7	28.0	2.80	0.40	0.01	7.50	2.054	274
23/04/2019	28.2	26.8	27.4	2.80	1.00	0.05	7.50	2.192	318
27/04/2019	27.8	28.0	27.6	2.80	0.40	0.05	7.20	1.108	126
30/04/2019	28.1	27.7	26.5	2.80	0.40	0.01	7.10	1.072	98
3/05/2019	28.0	28.1	27.6	2.00	0.60	0.05	6.80	2.25	326
6/05/2019	27.7	28.1	27.7	2.00	0.40	0.1	6.80	1.392	184
10/05/2019	28.0	27.5	28.1	2.00	0.80	0.05	7.10	1.892	258
13/05/2019	28.1	27.6	28.1	2.00	1.00	0.05	7.20	2.284	344
17/05/2019	26.7	28.1	27.7	2.00	0.60	0.01	7.20	1.256	146
20/05/2019	27.7	26.8	28.3	2.00	1.00	0.05	6.80	2.256	328
24/05/2019	28.3	27.8	26.5	2.00	0.60	0.05	6.90	1.284	162
27/05/2019	28.1	26.5	27.6	2.00	0.80	0.01	7.10	1.868	244
31/05/2019	27.8	27.4	28.2	2.00	0.80	0.05	7.20	1.812	206
3/06/2019	28.1	28.3	28.0	2.30	0.60	0.05	6.80	2.09	294
6/06/2019	27.7	26.9	26.5	2.30	1.00	0.01	7.10	1.384	180
Promedio	27.68			2.25	0.69	0.04	7.09	1.746	232.53

*La información mostrada en la presenta tabla, ha sido extraída de la investigación de Guevara (2021), la cual se encuentra en proceso de publicación

ANEXO 18: Peso vivo de paiches y rendimiento de los músculos

Peso (g)	Peces (n=8) ^a							
	T1R4*	T1R4*	T1R3**	T1R3**	T1R2 ⁺	T1R2 ⁺	T1R1 ⁺⁺	T1R1 ⁺⁺
Peso vivo de pez	1187.13	1050.75	1001.48	976.36	916.23	865.8	785.68	704.75
Peso de filete	406.38	394.96	334.25	315.14	277.64	274.33	247.64	164.93
Rendimiento de filete (%)	34.23	37.59	33.38	32.28	30.30	31.69	31.52	23.40
Humedad y materia seca								
Inicial (g)	406.38	394.96	334.25	315.14	277.64	274.33	247.64	164.93
Final (g)	88.29	88.9	69.36	77.12	58.84	61.97	51.63	38.27
Humedad (g)	318.09	306.06	264.89	238.02	218.8	212.36	196.01	126.66
Porcentaje (%)								
Humedad	78.27	77.49	79.25	75.53	78.81	77.41	79.15	76.80
Materia seca	21.73	22.51	20.75	24.47	21.19	22.59	20.85	23.20
Promedio								
Humedad (%)				77.84				
Materia seca (%)				22.16				

^aLos valores mostrados en la presente tabla, fueron calculados a partir de los datos extraídos de la investigación de Guevara (2021), de los peces que tuvieron mayor crecimiento. *Peso unitario de muestra de musculo de paiche del bloque “grande”; **Peso unitario de muestra de musculo de paiche del bloque “mediano”; + Peso unitario de muestra de musculo de paiche del bloque “pequeño”; ++ Peso unitario de muestra de musculo de paiche del bloque “chico”.

ANEXO 19: Análisis químico proximal del músculo de Paiche

Músculo de Paiche*		
Análisis**	Repetición 1	Repetición 2
Humedad (%)	3.89	4.14
Proteína (%)	81.63	82.76
Grasa (%)	6.40	6.59
Fibra (%)	0.00	0.00
Ceniza (%)	3.46	3.71
ELN (%)	4.62	2.80
Promedio		
Humedad (%)		4.02
Proteína (%)		82.19
Grasa (%)		6.50
Fibra (%)		0
Ceniza (%)		3.59
ELN (%)		3.71

*Valores nutricionales de la muestra general de harina de músculo de Paiche que fueron alimentados con el tratamiento 1 (50%PC – 5.0 Mcal/kg); **Ensayos elaborado por el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA).

ANEXO 20: Análisis químico proximal de Dieta

Análisis*	Dieta
Humedad, (%)	6.5
Proteína, (%)	50.05
Grasa, (%)	19.7
Fibra, (%)	0.13
Ceniza, (%)	4.32
ELN, (%)	19.3
EB, (Mcal/Kg) ^a	5.48
PT:ED (g/Mcal) ^b	91.3

*Informe de ensayos elaborado por La Molina Calidad Total Laboratorios a la muestra de la dieta (T1) que generó el mayor crecimiento en juveniles de Paiche.

^aBasado en 4.108 Mcal/Kg para carbohidratos, 5.637 Mcal/Kg para proteína y 9.434 Mcal/Kg para lípidos (Cho y Bureau, 1996); ^bbasado en ED de 5.0 Mcal/Kg.

ANEXO 21: Composición de la premezcla de vitaminas y minerales

Nutriente*	Cantidad	Unidad
Vitamina A	9'333,333	U.I.
Vitamina D3	1'866,667	U.I.
Vitamina E	93,333	U.I.
Vitamina K3	5.333	g
Tiamina (B1)	12	g
Riboflavina (B2)	13.333	g
Niacina	100	g
Ácido pantoténico	33.333	g
Piridoxina(B6)	10	g
Biotina	0.533	g
Ácido Fólico	2.667	g
Ácido Ascórbico	210	g
Vitamina B12	0.02	g
Manganeso	26.667	g
Hierro	13.333	g
Zinc	13.333	g
Cobre	1	g
Iodo	1	g
Selenio	0.2	g
Cobalto	0.1	g
Antioxidante	80	g
Carbonato de Calcio (excipiente)	2,000.00	g

Composición por 1Kg de Premezcla

FUENTE: DSM Nutricional Products Perú S.A.
(2018)

*La información mostrada en la presenta tabla, ha sido extraída de la investigación de Guevara (2021), la cual se encuentra en proceso de publicación.

ANEXO 22: Instalaciones y equipos del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)

EQUIPO	UNIDAD	FUNCIÓN
Ablandador de agua	1 m ³	Al poseer el agua de La Molina 1500 ppm (concentración de iones de Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺), el ablandador cumple la función de disminuir la dureza hasta 16 ppm.
Tanque sumidero	Capacidad 360 Lt	Recepción 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 todos los acuarios.
Filtro mecánico (Reemy)	1 unidad	Tiene la capacidad para retener partículas de hasta un mínimo de 20µm.
Filtros Housing	2 unidades	Apoyan al filtro mecánico con la retención de partículas de 20µm
Filtro Biológico	1 unidad	Permite controlar los niveles de amoníaco.
Enfriador/calentador de agua	2 HP de potencia	Enfriar o calienta el agua entre un rango de 13 – 32 °C.
Filtros Cuno	4 unidades	Compuesto por dos pares de filtros de 5µm y 1µm, permiten que el agua llegue con mayor pureza a los acuarios.
Esterilizador U.V.	25 watts	Esteriliza el agua disminuyendo de esta forma la presencia de algas, bacterias y virus no deseada en 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 crecimiento	18 unidades	Alberga a los peces durante la evaluación. Cada acuario de fibra de vidrio tiene capacidad de 55 litros, de color blanco, liso por dentro y fuera, con frontis de vidrio de 6mm y dimensiones de 0.47x0.47x0.50m.

ANEXO 23: Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC)

