

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“NIVELES DE PROTEÍNA Y RELACIÓN ENERGÍA
PROTEÍNA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y
COMPOSICIÓN CORPORAL DE JUVENILES DE PAICHE
(*Arapaima gigas*)”**

Presentada por:

LELIS MASULI GUEVARA GUTIERREZ

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

Lima - Perú

2022

Document Information

Analyzed document	TESIS E-P PAICHE CORREGIDO final _LELIS MASULI.docx (D154086724)
Submitted	2022-12-20 15:15:00
Submitted by	Víctor Jesús Vergara Rubín
Submitter email	vjvergara@lamolina.edu.pe
Similarity	16%
Analysis address	victor.jesus.vergara.rubin.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3642/salinas-montoya-adriano... Fetched: 2022-05-29 23:12:17		13
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS GAMITANA.docx Document TESIS GAMITANA.docx (D141771577) Submitted by: mvillanueva@lamolina.edu.pe Receiver: mvillanueva.unalm@analysis.arkund.com		4
W	URL: https://docplayer.es/61170715-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html Fetched: 2022-05-29 23:12:15		33
W	URL: https://1library.co/document/zlnv9grq-determinacion-digestibilidad-energia-disgestible-plukene... Fetched: 2022-05-29 23:12:08		3
W	URL: https://docplayer.es/109138239-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html Fetched: 2022-05-29 23:12:15		10
SA	1A_Sanchez_Mora_Laura_Milagros_Titulo_Profesional_2017.pdf Document 1A_Sanchez_Mora_Laura_Milagros_Titulo_Profesional_2017.pdf (D30234889)		2
W	URL: https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/ACUICULTURA_001-2017.pdf Fetched: 2022-04-14 05:53:31		1
W	URL: https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/79/1/T.%20AGROP.%20B.%20UEA.1072 Fetched: 2022-12-20 15:17:00		6
W	URL: https://docplayer.es/amp/215539049-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html Fetched: 2022-05-29 23:12:07		6
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA sil PAICHE.docx Document UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA sil PAICHE.docx (D14977132)		2
SA	OÑATE.docx Document OÑATE.docx (D110329377)		2
W	URL: https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/323 Fetched: 2022-12-20 15:16:00		4
W	URL: https://web.uchile.cl/vignette/tecnovet/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%25253D9163%252526ISI... Fetched: 2022-12-20 15:17:00		2

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN

**“NIVELES DE PROTEÍNA Y RELACIÓN ENERGÍA
PROTEÍNA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y
COMPOSICIÓN CORPORAL DE JUVENILES DE
PAICHE (*Arapaima gigas*)”**

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

Presentada por:

LELIS MASULI GUEVARA GUTIERREZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente Jurado:

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco

Presidente

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín

Asesor

Mg.Sc. Jessie Vargas Cárdenas

Miembro

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano

Miembro

A Dios por darme la oportunidad de seguir viva, las fuerzas que necesitaba para cumplir mis metas y por nunca abandonarme en el camino; porque sin él nada tengo y nada soy.

A mi querida madre, abuela, hermanos y seres queridos por todo su cariño, comprensión y apoyo incondicional brindado tanto en los buenos como los malos momentos.

A la memoria de mi abuelito Juan y abuelita María, a quienes perdí durante este proceso, pero sé que desde el cielo me siguen animando a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, ante todo, por darme la sabiduría para realizar esta maestría, la fortaleza para culminarla y por estar a mi lado guiándome y cuidándome siempre.

Al Ing. Víctor Vergara, mi sincero y profundo agradecimiento por la confianza, el apoyo y la comprensión brindados como asesor de la presente investigación.

A los docentes miembros del jurado, Ing. Jessie Vargas, Dr. Víctor Guevara e Ing. Víctor Hidalgo, por sus valiosos aportes brindados para el desarrollo y culminación de esta tesis.

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

A mis compañeros de investigación Gaby, Heymi, Julio y a la Ing. Brenda Yance por todo el apoyo y los gratos momentos compartidos en el LINAPC durante la parte experimental de esta tesis.

A mis amigos Liz, Roxana y Jhon mi más profundo agradecimiento por el gran soporte que fueron durante los años de estudios de la maestría y que, a pesar de las circunstancias, me siguieron brindando sus valiosos consejos y ayuda incondicional para la realización de la tesis.

De igual manera, a mis amigos Nataly y Jeferson, quienes me apoyaron incondicionalmente; gracias a su ayuda, cuidados y palabras de aliento fue que pude culminar esta parte de mi vida.

A mi familia, amigos y todas aquellas personas que de algún modo me apoyaron durante este proceso, siempre les estaré infinitamente agradecida.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 El paiche (<i>Arapaima gigas</i>).....	2
2.1.1 Aspectos generales.	2
2.1.2 Etapas de crecimiento.....	4
a. Larvas.....	4
b. Alevines.	4
c. Juveniles.	5
d. Reproductores.	5
2.1.3 Morfología y anatomía de la especie.....	6
2.1.4 Hábitos alimenticios.	9
2.1.5 Requerimientos nutricionales.	11
a. Proteína.	12
b. Energía.....	13
c. Relación energía – proteína.	14
2.1.6 Calidad de agua	16
a. Temperatura.	16
b. Transparencia.....	17
c. Conductividad eléctrica.	17
d. pH.	18
e. Oxígeno disuelto.	18
f. Dióxido de carbono (CO ₂).....	19
g. Dureza y alcalinidad.	19
h. Compuestos nitrogenados (Amonio, Amoniaco, Nitritos y Nitratos).	20

2.2 COMPOSICIÓN CORPORAL Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES EN PECES	21
2.2.1. Índice hepatosomático	24
2.2.2. Determinación de la composición corporal	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1 Lugar y duración de la evaluación:.....	28
3.2 Instalaciones, equipos y materiales	28
3.3 Calidad de agua	29
3.4 Animales experimentales.....	29
3.5 Tratamientos experimentales.....	31
3.6 Etapa experimental	31
3.6.1 Dietas experimentales.....	31
3.6.2 Análisis de laboratorio.....	33
3.6.3 Manejo experimental.....	33
3.7 Parámetros de desempeño productivo	35
3.7.1 Ganancia de peso total (GP) y biomasa (GB).....	35
3.7.2 Consumo de alimento promedio (C).	35
3.7.3 Tasa de crecimiento (TC) y tasa de crecimiento específico (TCE).....	35
3.7.4 Tasa de conversión alimenticia.....	36
3.7.5 Factor de condición.	36
3.7.6 Sobrevivencia.	37
3.8 Parámetros de composición corporal y utilización de nutrientes	37
3.8.1 Relación de eficiencia proteica (PER).....	37
3.8.2 Índice hepatosomático (IHS).	37
3.8.3 Composición corporal.....	38
3.9 Evaluación económica.....	38
3.9.1 Tasa de eficiencia económica (TEE).....	38
3.10 Diseño estadístico	38

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 Calidad del agua	40
4.2 Parámetros productivos	42
4.2.1 Ganancia de peso (GP) y biomasa (GB).....	42
4.2.2 Consumo de alimento (C).....	45
4.2.3 Tasa de crecimiento (TC) y tasa de crecimiento específico (TCE).....	45
4.2.4 Conversión alimenticia (CA).....	47
4.2.5 Factor de condición (K).....	48
4.2.6 Supervivencia (S)	49
4.3 Parámetros de retención de nutrientes y composición corporal	49
4.3.1 Relación de eficiencia proteica (PER).....	49
4.3.2 Índice hepatosomático (IHS)	52
4.3.3 Composición corporal (CC).....	52
4.4 Evaluación económica.....	54
4.4.1 Tasa de eficiencia económica (TEE)	54
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
VIII. ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del paiche (<i>Arapaima gigas</i>) por estado fisiológico.....	6
Tabla 2. Requerimientos de proteína y energía del paiche descrito por diversos autores ...	11
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua recomendados para paiche (<i>Arapaima gigas</i>).....	21
Tabla 4. Composición química proximal de filete sin piel de paiche.....	27
Tabla 5. Metodología para la medición de la calidad del agua	30
Tabla 6. Fórmula y contenido nutricional de las dietas experimentales.....	32
Tabla 7. Parámetros de calidad de agua registrados durante el experimento	41
Tabla 8. Efecto de los niveles de proteína y las relaciones energía a proteína sobre los parámetros productivos del paiche	43
Tabla 9. Efecto de los niveles de proteína y las relaciones energía a proteína sobre los parámetros de retención de nutrientes y composición corporal del paiche.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de un paiche adulto.	7
Figura 2. Sistema digestivo de un alevino de paiche (BF, buco faringe; H, hígado; E, esófago; ES, estómago; CP, ciego pilórico; IA, intestino anterior; IM, intestino medio; IP, intestino posterior;R, recto).....	8
Figura 3. Presentación esquemática del destino de la energía dietaria en peces categorizando las pérdidas de energía que ocurren cuando el alimento es digerido y metabolizado, dejando una fracción de la energía dietaria para su retención como tejido nuevo.....	23
Figura 4. Distribución de las unidades experimentales (UE) en la evaluación	29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico proximal de las dietas para los diferentes tratamientos	69
Anexo 2. Distribución de las unidades experimentales durante la evaluación.....	69
Anexo 3. Tabla registro de parámetros de calidad de agua	70
Anexo 4. Ganancia de peso por bloque	71
Anexo 5. Ganancia de biomasa por bloque	72
Anexo 6. Ganancia de talla por bloque	73
Anexo 7. Consumo de alimento acumulado por bloque.....	74
Anexo 8. Tasa de crecimiento y tasa de crecimiento específico (tce) por bloque.....	75
Anexo 9. Conversión alimenticia por bloque	76
Anexo 10. Factor de condición k por bloque.....	77
Anexo 11. Relación de eficiencia proteica por bloque	78
Anexo 12. Índice hepatosomático por bloque	79
Anexo 13. Composición corporal por bloque.....	80
Anexo 14. Tasa de eficiencia económica por bloque	81
Anexo 15. Análisis de variancia del peso final	82
Anexo 16. Análisis de variancia de la ganancia de peso	82
Anexo 17. Análisis de variancia de la ganancia de biomasa	83
Anexo 18. Análisis de variancia del consumo de alimento	83
Anexo 19. Análisis de variancia de la tasa de crecimiento	84
Anexo 20. Análisis de variancia de la tasa de crecimiento específico	84
Anexo 21. Análisis de variancia de la conversión alimenticia	85
Anexo 22. Análisis de variancia del factor de condición	85
Anexo 23. Análisis de variancia de la relación de eficiencia proteica	86
Anexo 24. Análisis de variancia del índice hepatosomático	86
Anexo 25. Análisis de variancia de la composición corporal.....	87
Anexo 26. Análisis de variancia de la tasa de eficiencia económica	88
Anexo 27. Instalaciones y equipos del linapc	89
Anexo 28. Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos (linapc).....	90

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar el efecto de dos niveles de proteína y dos relaciones energía a proteína en dietas de juveniles de paiche (*Arapaima gigas*) sobre su desempeño productivo y composición corporal. El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC), Departamento Académico de Nutrición de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se utilizaron 32 juveniles de paiche de peso inicial promedio de 345.7 g, agrupados en cuatro bloques (grandes, medianos, pequeños y muy pequeños) distribuidos al azar en acuarios para pruebas de crecimiento. Se evaluaron cuatro dietas experimentales, resultado de la interacción de dos niveles de proteína (50 y 45 por ciento) y dos relaciones energía a proteína (10 y 8,5 kcal ED/g PB); siendo para T1: 50% PB y relación 10 kcal ED/g PB, T2: 50% PB y relación 8.5 kcal ED/g PB, T3: 45% PB y relación 10 kcal ED/g PB y T4: 45% PB y relación 8.5 kcal ED/g PB. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) y utilizando la prueba de Tukey para evaluar diferencias estadísticas entre los tratamientos. Los resultados encontrados en cuanto al desempeño productivo no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ganancia de peso (GP) y biomasa (GB), consumo de alimento (C), tasa de crecimiento específico (TCE) y factor de condición (K), sin embargo, numéricamente se observaron mayores valores con el T1. La conversión alimenticia (CA) presentó diferencia estadística siendo mejor para el T2. La composición corporal presentó estadísticamente mayores valores con el T1 para la energía bruta (EBC) y extracto etéreo corporal (EEc); asimismo, el índice hepatosomático (IHS) presentó diferencia estadística produciéndose mayor efecto con el T4. Para la relación eficiencia proteica (PER), proteína corporal (PTc) y tasa de eficiencia económica (TEE) no se encontró diferencias estadísticas por efecto de los factores evaluados, no obstante, el T2 fue el más eficiente económicamente. Por lo tanto, se concluye que utilizando dietas con un nivel de proteína de 50 por ciento y relación 8.5 kcal ED/g PB, se obtuvo mejor conversión alimenticia, mientras que, con el mismo nivel de proteína, pero con relación de 10 kcal ED/g PB se mejoró los valores en cuanto a retención de energía bruta corporal y grasa corporal en juveniles de paiche.

Palabras clave: paiche, proteína, energía, relación energía/proteína, requerimiento proteico.

ABSTRACT

The main objective of this investigation is to determine the effect of two protein levels and two energy-to-protein ratios in diets of juvenile paiche (*Arapaima gigas*) on their productive performance and body composition. It was carried out at the Fish and Crustacean Nutrition and Feeding Research Laboratory (LINAPC), Academic Department of Nutrition of the National Agrarian University of La Molina. Thirty-two paiche juveniles of an average initial weight of 345.7 g were used, grouped in four blocks (large, medium, small and very small) randomly distributed in aquariums for growth tests. Four experimental diets were evaluated, resulting from the interaction of two protein levels (50 and 45 percent) and two energy to protein ratios (10 and 8.5 kcal ED/g PB); being for T1: 50%PB and a ratio of 10 kcal DE/g PB, T2: 50% PB and a ratio of 8.5 kcal DE/g PB, T3: 45%PB and a ratio of 10 kcal DE/g PB and T4: 45 %PB and 8.5 kcal DE/g PB ratio. The data obtained were analyzed using a completely randomized block design (DBCA) and using Tukey's test to evaluate statistical differences between treatments. The results found in terms of productive performance did not show significant statistical differences between treatments for weight gain (GP) and biomass (GB), feed intake (C), specific growth rate (TCE) and condition factor (K), however, numerically higher values were observed in T1. The feed conversion (CA) presented a statistical difference, being better for T2. Body composition presented statistically higher values with T1 for gross energy (EBC) and body ether extract (EEc); likewise, the hepatosomatic index (IHS) showed a statistical difference, producing a greater effect with T4. No statistical differences were found for the protein efficiency ratio (PER), body protein (PTc) and economic efficiency ratio (TEE) due to the effect of the factors evaluated, however, T2 was the most economically efficient. Therefore, it is concluded that using diets with a protein level of 50 percent and a ratio of 8.5 kcal DE/g PB, better feed conversion was obtained, while, with the same level of protein, but with a ratio of 10 kcal DE/g PB improved the values in terms of retention of gross body energy and body fat in juvenile paiche.

Key words: paiche, protein, energy, energy/protein ratio, protein requirement.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es actualmente el sector de producción de alimentos de mayor crecimiento y representa el 50 por ciento del pescado destinado a la alimentación a nivel mundial (FAO 2022a). El Perú posee altas posibilidades para su desarrollo debido a la gran variedad de especies con potencial acuícola y las condiciones ambientales de su territorio, siendo así que solo en la Amazonía peruana se consume unas 80 mil TM/año de pescado, lo que es parte de la seguridad alimentaria y una gran fuente de trabajo para la región (FAO 2022b).

El cultivo del paiche se presenta como una buena opción para sustentar, en los próximos años, el desarrollo de la acuicultura de exportación en la Amazonía peruana, lográndose actualmente su comercialización en 26 países a nivel mundial, principalmente EE. UU, debido a la alta calidad y rendimiento de su carne. Además, que cuenta con producciones de hasta 8000 kg/ha/año, una tasa de crecimiento de 8 a 12 kg por año, adaptabilidad a dietas balanceadas, rusticidad al manipuleo, respiración aérea, filete sin presencia de espinas, y una piel y escamas de amplio uso (Chu-Koo *et al.* 2017). A nivel nacional, es la cuarta especie amazónica más importante en términos de pesquería continental llegando a 5.1 por ciento respecto a la procedencia de especies amazónicas en 2017, no obstante, tiene una participación de apenas el 0.2 por ciento en la producción acuícola nacional. Es decir, que a pesar de su potencial para convertirse en un producto bandera nacional, la actual producción de paiche aún no es significativa (PNIPA 2020).

Sin embargo, todavía se cuenta con ciertas limitaciones para lograr su adecuado cultivo, una de las más importantes es la calidad del alimento, ya que la formulación actual de este no considera los niveles de digestibilidad ni el requerimiento proteico y energético definido para el paiche, sino que se usa como referencia los de otras especies (PNIPA 2020).

Por lo expuesto el objetivo de la presente investigación es determinar el nivel de proteína y la relación energía a proteína, sobre el comportamiento productivo y composición corporal en juveniles de paiche.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL PAICHE (*Arapaima gigas*)

2.1.1 Aspectos generales.

Arapaima gigas (Schinz 1822) ha sido considerado hasta hace diez años como el único representante conocido de la familia Arapaimatidae del orden Osteoglossiformes en América del Sur. Sin embargo, según investigaciones publicadas por Stewart (2013), hoy la comunidad científica reconoce la existencia de hasta cuatro especies del género *Arapaima* en la Amazonía, quedando por confirmar la validez de una quinta; siendo *A. gigas* aún considerada la más abundante y ampliamente distribuida del género (Chu-Koo *et al.* 2017).

El *Arapaima gigas*, conocido como “paiche” en Perú, “pirarucú” en Brasil, “warapaima” en Colombia y “arapaima” o “de-chi” en Guyana, es considerado el segundo pez más grande de todo el mundo dentro de las especies dulceacuícolas, este puede alcanzar a medir más de tres metros de longitud y pesar bastante más de 200 kilogramos (Carvajal-Vallejos *et al.* 2011). Habita en ambientes con poca corriente de agua (cochas), aunque también han sido vistos en zonas poco profundas y con abundante vegetación flotante de ríos de la cuenca del Amazonas en Perú, Brasil, Colombia y Guyana (Bezerra *et al.* 2013). En el Perú se encuentra en las cuencas bajas de los ríos Ucayali, Marañón, Putumayo, Napo, Pastaza y Yavarí; con mayor concentración de su población en la Reserva Nacional Pacaya-Samiria (Chu-Koo *et al.* 2017). Es considerado el pez más emblemático de la cuenca amazónica peruana, por su gran importancia ancestral, potencial de cultivo y especialmente, por las particularidades evolutivas que le han conferido una serie de adaptaciones anatómicas, fisiológicas y biológicas que lo tornan un organismo único dentro de la ictiofauna mundial (PNIPA 2020).

El paiche posee una gran rusticidad y capacidad de adaptación en condiciones de cautiverio cultivándose mayormente en estanques de tierra, aunque también se han reportado exitosas experiencias de cultivo en jaulas flotantes en Brasil y Perú (Cavero *et al.* 2003). Presenta respiración acuática y aérea, obligándolo a subir a la superficie del agua en intervalos regulares para captar el aire atmosférico (Chu-Koo *et al.* 2017), esta condición fisiológica lo hacen especial para el cultivo a altas densidades de siembra, lo que permitiría su adaptación a aguas pobres en oxígeno o de gran concentración de CO₂, amonio, nitritos y nitratos (Ortiz *et al.* 2007). A esto se suma que se reproduce naturalmente en condiciones de cultivo, llegando a producir en promedio cerca de 1500 crías por desove; alcanza pesos de entre 8 y 12 kg/año; tiene un rendimiento en filete de casi 52 por ciento, buen sabor, color y textura, con condiciones óptimas para la preparación de productos con valor agregado, lo que además se evidencia por una demanda incipiente, pero en aumento en el mercado externo, principalmente europeo (Chu-Koo *et al.* 2017).

Actualmente, se vienen logrando experiencias de cultivo del paiche en áreas naturales y se ha visto una mayor conciencia de la población por la protección de los cuerpos de agua de pescadores ilegales (ONU 2007). Para proteger a la especie se establecen vedas que abarcan desde el mes de octubre hasta febrero, también está prohibida su captura por debajo de 1.7m. Además del hombre, los paiches juveniles tienen como predadores a algunas aves y peces, principalmente la piraña (IIAP 2007). Por tanto, una de las mayores ventajas que trae el desarrollo del cultivo del paiche es la de contribuir a la conservación de la especie, atenuando la presión de pesca sobre los adultos y los alevinos de las cada vez más escasas y vulnerables poblaciones naturales (Chu-Koo *et al.* 2017).

Estadísticas recientes han mostrado un notable crecimiento en la producción de paiche en las regiones norte y centro-oeste del Brasil y región nor-este de Perú. Pedroza-Filho *et al.* (2016) reporta que Brasil pasó de producir 1,000 TM en el 2011 a cosechar 11,763 TM en el 2014. De modo similar, pero en una escala menor; el Perú creció de 48 TM en el 2010 a un pico de 637 TM en el 2012, estando la producción principal de paiche en Loreto y Ucayali (Alvan-Aguilar *et al.* 2016). Asimismo, se indicó que las estadísticas

presentadas de producción por extracción natural se basan en estadísticas oficiales, pero se sabe que detrás de eso hay una extracción mayor dado que hay un aumento de consumidores y que de alguna manera esta demanda se está satisfaciendo (ONU 2007).

2.1.2 Etapas de crecimiento.

a. Larvas.

Según Saavedra y Collado (2016) el número de larvas recién eclosionadas puede alcanzar los 10 mil ejemplares, con una longitud cerca de 9 a 10 mm. A partir de la eclosión se les denomina larvas y éstas se alimentan mediante su saco vitelino permaneciendo aún en el nido por un periodo de cuatro días post- eclosión (SEBRAE 2013). En esta etapa tienen respiración eminentemente acuática y no se separan nunca del padre moviéndose siempre adheridas a su dorso y emergen a la superficie a los 5 a 6 días post eclosión (9 a 11 días post fertilización) (Darias *et al.* 2015). A partir de los 7 días o 17 mm comienzan a alimentarse de plancton, siendo este compuesto básicamente por cladóceros, rotíferos y copépodos (Guerra 2002). La frecuencia de alimentación recomendada es de 6 -8 veces/día. Generalmente, a partir de los 10 días son considerados post larvas y se pueden alimentar con crustáceos planctónicos, vermes de *tubifex* o *Chironomus* (Chu-koo *et al.* 2017). Durante la fase larvaria, el saco vitelino se reabsorbe por completo y el sistema digestivo se desarrolla progresivamente, adquiriendo una mayor eficiencia de digestión y asimilación de los alimentos (Darias *et al.* 2007).

b. Alevines.

Esta etapa se considera a partir de los quince días de nacido hasta los tres o cuatro meses aproximadamente, momento en el que se independizan de sus progenitores (destete) (IIAP 2007), aunque el cuidado parental se puede prolongar por varios meses si no existe presión de pesca (Franco y Peláez 2007). Desde el momento que las larvas han completado la formación del sistema digestivo y desarrollado la capacidad de respirar aire atmosférico, son consideradas como alevines. En el caso del paiche, se ha observado esta condición cuando los alevines emergen a la superficie por primera vez (1.7-2 cm de longitud) y, por lo tanto, están preparados para reemplazar el alimento vivo por alimento balanceado

(Darias *et al.* 2015). Se inicia mezclando el balanceado con el zooplancton de modo gradual, hasta que los alevinos lo acepten completamente, durante el transcurso de las semanas se va incrementando el diámetro de la dieta a medida que los peces crecen. El alimento balanceado utilizado en esta etapa debe incluir aproximadamente 50 a 60 por ciento de proteína (Chu-koo *et al.* 2017). Investigaciones realizadas en el Brasil indican una tasa alimenticia del 8 - 10 por ciento del peso vivo de los peces y de preferencia, los primeros días de esta fase es cuando se debe entrenar a los alevinos a comer dietas balanceadas (Sandoval 2009). La fase entre alevino y juvenil constituye una de las etapas críticas en la producción de alevinos de Pirarucú, siendo la supervivencia en esta etapa igual o inferior al 10 por ciento. La elevada mortalidad se debe primordialmente a deficiencias en la disponibilidad y/o calidad de alimento natural y a la depredación por aves y otros peces (Franco y Peláez 2007).

c. Juveniles.

Esta etapa comprende desde los 3 meses aproximados hasta los 3 años, con una longitud cercana a 1.5 m. Diversos experimentos realizados en esta fase, incluyeron niveles de proteína entre 35-55 por ciento, de los cuales, se obtuvieron las mejores ganancias de peso con raciones entre 40-50 por ciento de proteína cruda. Para el cultivo del paiche bajo un sistema intensivo de alimentación, se recomienda llevar la crianza comercial hasta un máximo de 16 meses de edad (Sandoval 2009). Este tiempo puede variar en función a los requerimientos del mercado del peso de carcasa y los costos de producción, siendo actualmente la edad promedio de sacrificio de 12 meses (PNIPA 2020).

d. Reproductores.

Los paiches a partir de los tres años son considerados como adultos, aunque la edad óptima de reproducción es aún incierta. Según, Arantes *et al.* (2010), reportaron que paiches confinados en poblaciones con alta densidad se reproducen a partir de los tres años y en baja densidad, a partir de los cuatro o cinco años. En el Perú, las hembras pueden alcanzar la primera madurez sexual con una longitud de 185 cm, en tanto que, en la Amazonía de Brasil, estos animales parecen ser capaces de reproducirse a tallas menores, como 168 cm de longitud total aproximada, siendo las hembras más grandes

que los machos. En ambientes controlados se reproducen a la edad de cinco años (Alcántara *et al.* 2006). La tasa de alimentación empleada en esta etapa varía entre 1 a 3 por ciento de la biomasa presente en cada estanque y la frecuencia de alimentación puede ser diaria o interdiaria; también es común incluir pescados enteros o en trozos en la dieta o complementar con pez forraje (Chu-koo *et al.* 2017).

Tabla 1: Clasificación del paiche (*Arapaima gigas*) por estado fisiológico

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

Fuente: IIAP (2007)

2.1.3 Morfología y anatomía de la especie.

La cabeza del Pirarucú es pequeña con relación al cuerpo (aproximadamente el 10 por ciento de su peso total) y achatada dorso-centralmente; posee 58 placas de diferentes tamaños, cada una de estas placas tiene de 6 a 8 poros en su borde posterior, por donde sale por presión, una mucosidad blanquecina que es considerada como la leche con la que se alimentan las pequeñas crías (Rebaza *et al.* 1999). La cabeza es parda y el dorso negruzco que sirve para el camuflaje de las crías, presenta cuerpo alargado con sección circular y elipsoidal, revestido de grandes y gruesas escamas cicloideas. Sus aletas son pequeñas y están orientadas hacia atrás, las pectorales están separadas de las ventrales, mientras que la dorsal y anal se encuentran cerca de la aleta caudal (Guerra 2002). Se caracteriza por tener la aleta anal restringida al último tercio del cuerpo y las escamas abdominales en la mitad posterior del cuerpo son ribeteadas de color rojo oscuro, las aletas ventrales en los adultos con manchas negras y amarillas, dispuestas en forma de ondas irregulares; la aleta dorsal, anal y caudal con manchas claras (Franco y Peláez 2007).



Figura 1: Morfología de un paiche adulto

Fuente: Franco y Peláez (2007)

Una de las características resaltantes del orden Osteoglossiformes (lengua ósea) es que este grupo de peces primitivos se caracteriza por la osificación de la lengua, la cual actúa como un órgano accesorio en la trituración del alimento (Franco 2005). La lengua está bien estructurada y tiene la especial característica de tener un hueso interno achatado y sutilmente arqueado denominado hioides, con una longitud que oscila entre 10 y 20 centímetros; recubierta por una infinidad de unos muy resistentes pequeños conos esmaltados. La boca es preeminente, grande y oblicua, con dientes filiformes (relativamente pequeños y similares), posee dos placas óseas laterales que funcionan como verdaderos dientes, los cuales ayudan a detener la presa, matándola antes de la deglución. El aparato digestivo es grueso, corto y con forma de “v”, como en todos los peces carnívoros (Rebaza *et al.* 1999). El esófago no presenta diferencias en cuanto, a su estructura, formado por 4 capas: mucosa, submucosa, muscular y serosa; pero si, en cuanto a las profundidades de los pliegues longitudinales. El estómago presenta tres regiones distintas: cárdica, pilórica y fúndica; diferenciándose la región cárdica por tener mayor cantidad de glándulas y fositas gástricas y la región pilórica presenta una mucosa de menor tamaño y una capa muscular más desarrollada (Hurtado *et al.* 2014). El estómago, tiene una baja capacidad de almacenamiento, pero con gran capacidad de contracción, algunos pueden usar arena y piedras con el fin de triturar los alimentos y facilitar su absorción (Alcántara *et al.* 2006). El intestino delgado y el grueso son distinguibles por su contenido: el primero está en fase líquida y el segundo en fase sólida (Del Risco *et al.* 2008). Posee un intestino relativamente corto; ya que la cantidad de alimento ingerido es menor, pero de alta calidad, su paso por el tracto intestinal es más

lento, lo cual favorece la difusión de nutrientes en la mucosa intestinal, la cual se ve complementada por la presencia de dos ciegos pilóricos relativamente grandes en la porción inicial del intestino (Rotta 2003).

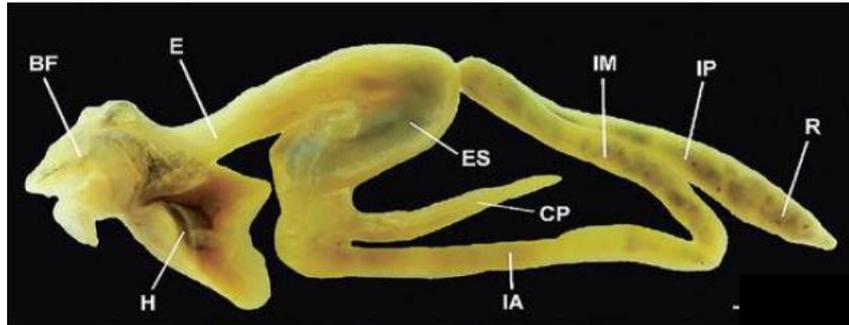


Figura 2: Sistema digestivo de un alevino de paiche (BF, buco faringe; H, hígado; E, esófago; ES, estómago; CP, ciego pilórico; IA, intestino anterior; IM, intestino medio; IP, intestino posterior; R, recto)

Fuente: Chu-koo *et al.* (2017)

Otra notable adaptación de este pez que ha llamado la atención de los científicos es que las hembras tienen solo un ovario, de similar modo, los machos tienen solo un testículo funcional, ambos ubicados únicamente en el lado izquierdo de la región dorsal del abdomen (Godinho *et al.* 2005). Aun así, en ambientes naturales la reproducción ocurre a lo largo de todo el año, y se intensifica con el período de lluvias, cuando las aguas comienzan a subir su nivel; tiene un comportamiento reproductivo muy sofisticado que incluye cortejo, acoplamiento, construcción de nidos y cuidado parental de la prole por más de un mes. La hembra puede desovar varias veces durante la temporada reproductiva ya que el crecimiento de los ovocitos es sincrónico y grupal, siendo cada evento reproductivo la oviposición de 10,000 a 20,000 ovocitos (Núñez 2014). En acuicultura se han reportado hasta cinco eventos reproductivos por cada hembra por año. Las crías son atendidas exclusivamente por el macho, mientras que la hembra circula en las proximidades a la expectativa de posibles depredadores (PNIPA 2020).

Sin embargo, la característica más sorprendente del paiche es su probada rusticidad. Este legendario pez ha evolucionado adquiriendo una serie de adaptaciones anatómicas

y fisiológicas en su sistema respiratorio que permiten que sea independiente del oxígeno disuelto en el agua, siendo capaz de sobrevivir en medios con bajísimas concentraciones de oxígeno y alta carga de desechos nitrogenados (PNIPA 2020). Esta especie presenta un sistema branquial con cierto grado de atrofia, impidiendo una oxigenación adecuada. Sin embargo, consta de una vejiga natatoria modificada que además de ayudar a la flotabilidad, cumple una función similar a la de un pulmón, suministrando mayor cantidad de oxígeno al cuerpo. Esta se ubica en toda la parte dorsal de la cavidad abdominal, con una conexión directa con la parte posterior de su garganta (Silva 2016). Por lo tanto, se dice que posee dos aparatos respiratorios: branquias para la respiración acuática y vejiga natatoria. Su respiración aérea es un proceso vital, muriendo si se ve impedida de salir a la superficie (Del Risco *et al.* 2008). De este modo, el paiche es uno de los pocos peces del mundo que respiran aire atmosférico obligatoriamente, captando hasta el 95 por ciento de su requerimiento de oxígeno de la atmósfera (PNIPA 2020). La frecuencia con la que captan el aire atmosférico va disminuyendo según aumenta la edad, siendo que alevines entre ocho y diez centímetros de longitud salen a respirar casi a cada minuto mientras que un adulto lo hace cada 15 minutos (Guerra 2002).

2.1.4 Hábitos alimenticios.

El paiche es un pez carnívoro por naturaleza, su alimentación en el ambiente natural se basa principalmente en diversas especies de carachamas, además de otras como boquichico, yahuarachi, yulillas, mojarras, lisas y sardinas (Rebaza *et al.* 1999; Alcántara *et al.* 2006). En sus estadios tempranos se alimenta de zooplankton y pequeños invertebrados. A medida que crece, se alimenta principalmente de peces y antes de ingerir su presa, la presiona hasta matarla. Para ello, posee dentículos afilados en la lengua que sirven para atrapar y triturar. Esta característica anatómica fue determinante para que los ictiólogos lo incluyan dentro del Super Orden Osteoglossomorpha (peces de lengua ósea), que lo distingue de otros peces del planeta (Rebaza *et al.* 1999).

Cuando es alevino se alimenta de plancton, posteriormente aprovecha los insectos y finalmente, ellos mismos van seleccionando según el tamaño de su boca; en estadio adulto su principal fuente alimenticio son los peces en un 75.4 por ciento, restos

vegetales en un 2.4 por ciento, quimo en 3.5 por ciento y otros un 18.7 por ciento (Salinas 2017). El paiche, siendo un pez carnívoro, se alimenta fundamentalmente de peces más pequeño en equilibrio de 8 a 10 por ciento de su peso cuando es joven, disminuyendo al 6 por ciento cuando ya es adulto. Durante el primer año de su vida puede alcanzar hasta 10 kg (Rebaza *et al.* 1999).

Como la mayor parte de peces de dulceacuícolas, en su hábitat natural procura alimentarse en el atardecer o amanecer; a lo largo del día, una vez que el calor es intenso, se mete debajo de la vegetación acuática en busca de cualquier sombra huyendo de los fuertes rayos solares, manteniéndose inmóvil en el fondo del agua y constantemente para respirar aire (Chu-Koo *et al.* 2017). En cautiverio, se pueden alimentar de peces vivos, muertos, enteros o en trozos; también pueden aceptar vísceras, embriones muertos de pollos y en ocasiones hasta ensilaje biológico de pescado (Carazo 1999).

El reemplazo del alimento vivo por alimento balanceado permite reducir costos y formular dietas adecuadas a las necesidades nutricionales de cada especie, con la consiguiente mejora de la producción. El éxito de la adaptación al alimento balanceado depende, entre otros factores, de la calidad y composición del alimento, del tamaño de la partícula (adaptado al diámetro del esófago del pez), de la textura, de la palatabilidad, de la disponibilidad y de que la dinámica en la columna de agua esté adaptada a la estrategia de alimentación del pez (Darias 2007).

Los peces de naturaleza carnívora utilizan mejor los alimentos de origen animal, debido a esto, cuando se crían en cautiverio, requiere alto contenido de proteína dietaria. Su óptima producción se puede ver obstaculizada al no aceptar voluntariamente raciones balanceadas, aunque el paiche acepta con facilidad el alimento concentrado (Franco y Peláez 2007). Un aspecto limitante para la producción intensiva en cautiverio del paiche era la característica de ser un pez carnívoro; es decir, su alimentación depende de peces

forrajeros. Sin embargo, diversos autores han investigado la utilización de alimentos balanceados con alto contenido proteico, y se ha obtenido resultados alentadores (Tabla 2) (López 2017).

2.1.5 Requerimientos nutricionales.

A pesar del gran potencial que tiene el paiche para su explotación comercial, aún no se tiene conocimiento científico de los hábitos alimenticios y de sus requerimientos nutricionales (Franco y Peláez 2007). Varios aspectos limitan aún su óptima producción, una de los más importantes es la deficiente calidad del alimento, pues todavía no se cuenta con niveles idóneos del factor de conversión alimenticia, el que actualmente varía entre 1,7 a 2,3. Esto se debe a que la formulación de los alimentos actuales no considera los niveles de digestibilidad ni el requerimiento proteico y energético específico para el paiche, sino que se usa como referencia otras especies para su formulación (PNIPA 2020). Sin embargo, no se debe desconocer el hecho de que cada especie posee habilidades propias para aprovechar los diversos ingredientes incluidos en las dietas alimenticias.

Tabla 2: Requerimientos de proteína y energía del paiche descrito por diversos autores

Peso inicial (g)	Proteína (%)	Energía	Dieta experimental	Autores
133	40%	3400 kcal/ kg	Extruido	Pereira-Filho, 2003
120.7	48.6%	5645 kcal/ kg	Peletizado	Ituassú <i>et al.</i> 2005
96.8	44%	3965 kcal/kg	Extruido	Ono <i>et al.</i> 2008
54	50%	-	Peletizado	Aldea <i>et al.</i> 2002
87	40%	3.2 Mcal/kg	Extruido	Del Risco <i>et al.</i> 2008
15-100	40-45%	-	-	SEBRAE, 2013
88.5	40%	-	-	Sandoval <i>et al.</i> 2009
169.8±19.26	-	4.8 Mcal/kg	Peletizado	Vergara <i>et al.</i> 2016
40.72±0.72	58%	-	Peletizado	Vergara <i>et al.</i> 2016

Fuente: López (2017)

No obstante, los resultados que se han obtenido hasta ahora son alentadores, pues el paiche ha demostrado una excelente respuesta al manejo alimenticio bajo condiciones de cautiverio con mejores tasas de conversión alimenticia y un óptimo rendimiento, logrando altas tasas de crecimiento, buen nivel de respuesta reproductiva y adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo (Rojas *et al.* 2005).

a. Proteína.

Las necesidades de proteínas y aminoácidos esenciales se han estudiado principalmente en peces jóvenes, utilizando la ganancia de peso como criterio. Estas necesidades expresadas como porcentaje de la dieta reducen de acuerdo el pez va madurando (Church *et al.* 2002). Las proteínas son el primordial constituyente del tejido de los peces, siendo aproximadamente un 65 a 75 por ciento del peso total en base seca. Una ingesta deficiente de la proteína, reduce o cesa el crecimiento provocando una disminución del peso. Sin embargo, un exceso de proteína en la dieta, resultará en que solo una parte sea destinada para la formación de otras proteínas y lo demás se convertirá en energía (Halver y Hardy 2002). Los peces no tienen requerimientos específicos para proteína bruta, más bien el requerimiento es de los aminoácidos y el nitrógeno que aportan ya que sí requieren una combinación de aminoácidos esenciales, por lo que la composición de proteínas en la dieta es importante cuando se formula su alimento. Esta proteína es empleada por el organismo con tres objetivos principales: mantenimiento de los peces, reproducción y crecimiento o formación de nuevas estructuras (Rodea 2019).

La harina de pescado es la materia prima estándar para la elaboración de alimento balanceado para paiche, debido a su alto aporte proteico (60 por ciento), además, otras materias primas aportan proteína, aunque en menor concentración, lo que implica la presencia de sustratos para estimular las proteinasas que permitan la liberación de dipéptidos en la luz intestinal (Santigosa 2006).

En el estadio de alevines, López (2017) encontró que los paiches alimentados con dietas de 44 por ciento de proteína obtuvieron superiores resultados en ganancia de peso, además Vergara *et al.* (2016) señalaron que el requerimiento de proteína para alevines de paiche,

con un peso aproximado de 40 g fue de 58 por ciento. Ituassú *et al.* (2005) encontraron que un 48.6 por ciento de proteína bruta en la dieta para paiches de 120 g de peso promedio generó mejores parámetros productivos. Asimismo, Del Risco *et al.* (2008), encontraron que el requerimiento proteico para paiches juveniles de 85 g promedio fue de 40 por ciento de proteína bruta. Dado que las proteínas son el nutriente más caro de las dietas en acuicultura, es importante determinar el nivel de requerimiento óptimo para el crecimiento y la sobrevivencia del pez. Según sea la especie para cultivar, la edad, la fuente proteica y las condiciones del medio ambiente, en general los requerimientos proteicos en peces piscívoros varían entre 30 a 55 por ciento (NRC 2011).

b. Energía.

La energía no es un nutriente, pero es esencial para la función fisiológica y el crecimiento. El cuerpo puede disponer de esta mediante la ingesta de alimentos, especialmente macronutrientes: proteínas, carbohidratos y lípidos, que contienen 23 kJ, 17 kJ y 38 kJ de energía por gramo ingerido, respectivamente (Lucas *et al.* 2019).

En la mayoría de investigaciones, el requerimiento de energía ha sido determinado por los niveles de energía digestible (ED), la cual no es más que la energía corregida por las pérdidas fecales y representa el porcentaje de nutrientes absorbidos en el tracto digestivo. Sin embargo, existen otras investigaciones donde se basan en la energía metabolizable (EM), la cual mayormente se calcula en base al valor metabólico bruto, lo que reduce la confiabilidad del requerimiento. (Rogério *et al.* 2011).

Según Cho y Bureau, (2019) debido a que los peces son poiquiloterms, no gastan energía para mantener la temperatura corporal. Por lo tanto, las dietas, deben cubrir las necesidades diarias de energía y nutrientes para sostener solo el mantenimiento, crecimiento y reproducción del animal cuando se alimenta ad libitum o a punto de saciedad. Sin embargo, el consumo de alimento o la distribución del alimento estará determinado primeramente por la concentración de nutrientes biodisponibles productores de energía (principalmente proteína y lípidos en dietas para peces carnívoros).

Del Risco *et al.* (2008), determinaron para alevines de paiche con peso promedio de 87 g un requerimiento de energía digestible de 3.2 Mcal/kg de alimento. Para Ono *et al.* (2008), la energía digestible en peces de peso promedio de 97 g es de 3965 kcal/kg. Por otro lado, Vergara *et al.* (2016) evaluaron cinco niveles de energía digestible de 4.4; 4.6; 4.8; 5.0 y 5.2 Mcal/kg, obteniendo el nivel de 4.8 Mcal/kg como requerimiento para esta especie en etapa juvenil. Es importante señalar que los animales estén acostumbrados para consumir alimento artificial a una temprana edad, de esta manera se les podrá ofrecer una ración óptimamente formulada para satisfacer sus necesidades de proteína, energía, minerales, vitaminas, ácidos grasos y aminoácidos esenciales (IIAP 2007).

c. Relación energía – proteína.

Los peces en general poseen menores necesidades energéticas debido a que gastan menos energía al mantener su posición y moverse en un medio acuático, que los animales de tierra. Además, como excretan gran parte de sus residuos nitrogenados como amoníaco y no como ácido úrico (aves) o urea (mamíferos), pierden menor energía al catabolizar las proteínas y excretar sus residuos. De este modo, los peces no requieren de gran contenido energético de manutención ni incremento calórico, al contrario que los animales terrestres. Ciertos investigadores han encontrado pérdidas de energía por incremento calórico en peces cercano a 5 por ciento de la energía metabolizable, cifra que puede elevarse hasta a 30 por ciento en mamíferos. Los peces utilizan los aminoácidos y ácidos grasos como buenas fuentes de energía (Pokniak 1997).

Debido a que los requerimientos de nutrientes de los peces varían según el ambiente, especie, hábitos alimenticios y la actividad, la energía en relación con la proteína se usa ampliamente para describir el balance y la concentración de nutrientes de la dieta. De esta manera, una dieta deficiente en energía en relación con la proteína significará que la proteína de la dieta se empleará como energía para satisfacer el mantenimiento y la actividad voluntaria antes que utilizarse para el crecimiento. Por el contrario, una dieta que contenga un exceso de energía puede reducir el consumo de alimentos y, por lo tanto, disminuir la ingesta de la cantidad necesaria de proteínas y otros nutrientes esenciales para un desarrollo y crecimiento óptimos (Marín 2020). Así también, un exceso de las proteínas como fuente de energía provocarán el aumento de la excreción de nitrógeno en el agua produciendo

mayor contaminación en el ambiente del pez, tornándose nocivo para este. La utilización de la proteína en la dieta diaria va a depender del tipo de la dieta manufacturada, de la digestibilidad de la proteína, el contenido de aminoácidos, de la proporción energía-proteína y, finalmente, de la cantidad de proteína ofertada (López 2017). Por lo tanto, es importante conocer los requerimientos de cada especie en sus nutrientes esenciales necesarios como la proteína, cuyas concentraciones óptimas dependen del balance de energía y proteína (Patel y Yakupituyage 2003).

Según Gatlin (2010) menciona que las relaciones de energía a proteína que varían de 8 a 10 kcal ED/g de proteína cruda son óptimas para varias especies de peces. La NRC (2011) indica que la energía puede reducir o aumentar las tasas de crecimiento debido al consumo de los alimentos. Asimismo, las dietas con adecuado balance entre la energía y la proteína permiten una mayor ganancia de peso y conversión alimenticia eficiente, características deseables para el productor, y baja acumulación de grasa en la carcasa, característica deseable para el consumidor (Chu-koo *et al.*, 2017). En la dieta de los peces, las concentraciones de energía y proteína deben ser equilibradas con el fin de obtener un crecimiento óptimo con altas tasas de eficiencia en la alimentación y la retención de la proteína en la carcasa (López 2017).

Según Rojas *et al.* (2005) indican que, en el paiche, los lípidos deben tener alrededor de 20 por ciento de inclusión en la dieta (4 000 kcal de ED en poslarvas y alevinos) para garantizar una adecuada relación energía/proteína (promedio de 10 a 11 kcal ED/g PB) que permita una buena utilización de la proteína, además de poseer un buen perfil de ácidos grasos insaturados. Asimismo, López (2017) evaluó el efecto de relaciones energía: proteína de 9, 10 y 11 kcal ED/g PB sobre el crecimiento de alevinos de paiche (*Arapaima gigas*), encontrando con la menor relación de 9 (44 por ciento y 3966 kcal/kg), una conversión alimenticia de 1.24. Resultados similares encontraron Ono *et al.* (2008), para quienes una relación de energía a proteína de 9 kcal ED/g PB (44 por ciento de PB) fue la mejor para el desarrollo óptimo de alevinos de paiche.

2.1.6 Calidad de agua.

El paiche es una especie oriunda de las cuencas Amazónicas, con clima tropical lluvioso y temperatura ambiental media anual próxima a 28° C. En su medio natural esta especie vive en ambientes acuáticos laterales a los grandes ríos (lagos, lagunas, remansos o pantanos) caracterizados por ser de color negro o ligeramente verde, ácidos, con abundante vegetación macrofítica flotante y emergente, que en ocasiones llega a cubrir prácticamente todo el espejo de agua (IIAP 2007). Según Ríos (2021), de acuerdo con las investigaciones realizadas, el paiche tiene un rango moderado de tolerancia a la temperatura entre 24,2 y 29,0 °C; igual con el pH, entre 6,0 y 8,5. Además, tiene gran tolerancia en cuanto al oxígeno, pues puede soportar bajos y altos tenores; es una especie que no requiere mucho dicho elemento porque lo toma del aire atmosférico. Los demás parámetros no tienen mucha significancia. Sin embargo, para Chu-koo *et al.* (2017) la buena calidad del agua es fundamental para los alevinos, ya que son más sensibles a esta que los juveniles y adultos debido a que están más expuestos a factores de estrés por la propia naturaleza del manejo en esta fase y por la adaptación al consumo de alimento balanceado. Por lo tanto, parámetros tales como los niveles de compuestos nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos), pH, conductividad eléctrica, transparencia, temperatura y oxígeno disuelto deben mantenerse en rangos que permitan un adecuado ecosistema acuático para los peces, garanticen un ambiente propicio para la reproducción y sean ideales para la búsqueda de alimento por parte de las crías.

a. Temperatura.

La temperatura del agua es una variable importante en el cultivo de organismos acuáticos, regula la estabilidad y actividad de las enzimas, la reproducción, el crecimiento y el estado fisiológico de todas las entidades vivas; además, regula o afecta los niveles de pH, el potencial redox, la solubilidad de gases, la densidad, el estado físico y la viscosidad del sustrato (Ríos 2021). Asimismo, tiene gran influencia en el desarrollo de los peces por ser organismos poiquiloterms, además que gracias a esta se condiciona la maduración gonadal, el tiempo de incubación de las ovas, el desarrollo larval, la actividad metabólica y el ritmo de crecimiento de larvas, alevinos y adultos de los peces. Es considerado un factor muy importante para analizar en los estanques de cultivo de

peces, ya que influye indirectamente en la respiración, al condicionar la concentración de oxígeno disuelto en el agua y el ritmo respiratorio (Franco y Peláez 2007). Según SEBRAE (2013), el rango de temperatura ideal para el crecimiento del paiche está entre 28°C y 30°C, y cuando la temperatura del agua está por debajo de 26°C y por encima de 32°C, se produce una reducción significativa del consumo de alimentos por los peces. La temperatura rige el consumo de alimento y la eficacia de los procesos digestivos, regulando de esta manera el crecimiento de los peces; sin embargo, la temperatura óptima para el correcto crecimiento y desarrollo de los peces va a depender de la especie, la región geográfica y la etapa de vida de estos (Jobling 1994).

b. Transparencia.

Mide la interacción entre la cantidad de luz que penetra en la columna de agua y los elementos que se encuentran en ella (plancton, material flotante y partículas pequeñas) (Ríos 2021). La transparencia se registra mediante el "Disco de Secchi", el cual es un disco de metal de aproximadamente 20 cm de diámetro, pintado de negro y blanco alternadamente en cuatro secciones, lleva una cuerda calibrada sujeta al centro de una cara, este se usa para medir hasta qué profundidad se puede ver el disco al ser introducido en el agua, siendo la medida de la transparencia. Se puede hablar de una buena producción cuando esta medida varía entre los 30 y 60 cm (Franco y Peláez 2007).

c. Conductividad eléctrica.

Este parámetro se refiere a la concentración de los iones disueltos en el agua y va a depender de la composición química del terreno adyacente al estanque. Los Osteoglosidos se deben mantener en estanques con aguas que oscilen entre 26,0 a 64,0 μScm^{-1} de conductividad, mientras que para el paiche se recomiendan conductividades de 35,0 a 45,0 μScm^{-1} (Franco y Peláez 2007). Los niveles de conductividad en los estanques de cultivo son relativamente bajos, pero muy significativos. Las sustancias de los alimentos que se brindan a los organismos en cultivo y que se descomponen se combinan con otros que están en el agua y permiten la formación de otros que son alimento para otros organismos. Esta cadena de interrelación, en algunos casos, se presenta en valores de conductividad bajos o relativamente altos en los estanques, lo

que permite elevar su productividad y contribuir con la presencia de organismos planctónicos que servirán de alimento a los peces en cultivo (Ríos 2021).

d. pH.

Los cambios bruscos de pH en las aguas de los estanques de cultivo son poco probables, generalmente se observa un equilibrio ácido-base; muchas veces, la fuente de agua es estable en su pH, lo cual proporciona un soporte excelente de calidad biológica al cultivo, es decir, por esa condición del agua. Sin embargo, en cultivos intensivos, donde el alimento no suele ser aprovechado en su totalidad por los peces, generando un incremento considerable de materia biodegradable, las posibilidades de aumento de CO₂ y variaciones de pH son mayores y pueden romper el equilibrio ácido-base, ocasionando un ambiente desfavorable para los peces (Ríos 2021). En el caso del paiche, es una especie bastante rústica y puede tolerar un amplio rango de pH (5,0 a 11,5), siendo óptimos para un mejor desarrollo y crecimiento de peces en cautiverio rangos entre 6,5 a 8,0 siendo importante en todas las etapas de crecimiento (SEBRAE 2013).

e. Oxígeno disuelto.

De los gases disueltos en el agua, el oxígeno es el más importante, debido a que es necesario para la respiración de los peces y demás organismos aerobios. Este se forma principalmente del intercambio gaseoso con la atmósfera y por el aporte de la fotosíntesis (Franco y Peláez 2007). En los sistemas de cultivo, la concentración de oxígeno disuelto en el agua es un factor crítico para el óptimo desarrollo de los peces. Éste sufre variaciones diarias debido a la demanda biológica de oxígeno ocasionada por la alta densidad de peces y el plancton del estanque, la temperatura ambiental y del agua, la profundidad, así como por la descomposición del alimento no aprovechado, que constituye la principal fuente de compuestos nitrogenados y que aumenta en el caso de peces carnívoros por los altos niveles de proteína que incluye la dieta en comparación con otros peces. Sin embargo, si bien es cierto el paiche tiene una ventaja respecto a los peces de respiración acuática, y es que puede tolerar aguas con bajos niveles de oxígeno disuelto debido su respiración aérea obligatoria por la cual obtiene la mayor parte del oxígeno a través de la vejiga natatoria, permitiendo cultivos exitosos con elevadas

densidades de peces. No obstante, sí tiene gran dependencia del oxígeno disuelto en su etapa inicial, siendo un factor crítico cuando aún no han desarrollado la capacidad de respiración aérea. Por lo que se recomienda un nivel de oxígeno disuelto en los estanques de reproductores en niveles por encima de 4 mg/L para garantizar un óptimo desarrollo embrionario y larvario (Chu-koo *et al.* 2017).

f. Dióxido de carbono (CO₂).

Probablemente el segundo gas en importancia en la acuicultura. Tiene mucha influencia en las variaciones del pH ya que actúa como sustancia ácida. El fitoplancton y las plantas acuáticas fijan el dióxido de carbono durante el proceso de la fotosíntesis en el día, disminuyendo así su concentración en el agua, y lo liberan durante el proceso de respiración por la noche, llegando muchas veces a niveles tan altos que puede ser letales para los peces al producirles anoxia (Ríos 2021). En aguas con altas concentraciones de dióxido de carbono, se dificulta su eliminación de la sangre en los peces, acumulándose y afectando el proceso respiratorio ya que, dificulta el transporte de oxígeno y causa la acidificación de la sangre, provocando un estrés excesivo en los animales. Por lo tanto, en cultivos como el del paiche, donde se suele tener bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, es importante el control de los niveles del dióxido de carbono para garantizar un ambiente de calidad. Los niveles de CO₂ recomendables a mantener son por debajo de 20 mg/L para el óptimo crecimiento y desarrollo de alevines de paiche (FAO 1999).

g. Dureza y alcalinidad.

Estos parámetros, le proporcionan al agua la capacidad tampón para permitir su relativa estabilidad e impedir que el pH varíe bruscamente. Estos se expresan como mg/L de carbonato de calcio equivalente y se representa por iones de carbonato y bicarbonato. Para el cultivo de peces, la mejor calidad de agua respecto a los parámetros de alcalinidad y dureza son aquellos que tienen valores similares, dado que, si se presentan valores diferenciales como una alcalinidad más alta que el nivel de dureza, el pH puede incrementarse en periodos de alta fotosíntesis (Ríos 2021). Los animales en aguas con valores mayores a 20 mg/L de alcalinidad y dureza, muestran un mejor desarrollo y

menos dificultades durante el manejo, saneamiento, entre otros. Por el contrario, en aguas con la alcalinidad y dureza por debajo de 20 mg/L CaCO₃, se tiene que corregir mediante la adición de carbonato de calcio (2 000 a 3 000 kg/Ha) lo cual es crítico para los peces disminuyendo consumo de alimento, reducción del crecimiento y/o una peor conversión alimenticia (SEBRAE 2013).

h. Compuestos nitrogenados (Amonio, Amoniac, Nitritos y Nitratos).

En cuanto a los compuestos nitrogenados, tienen una importancia vital en la evaluación de la calidad del agua, ya que influyen en la productividad acuática y además son los más tóxicos en concentraciones elevadas. De estos, el de mayor toxicidad es el amoniac y lo encontramos en los acuarios, así como también, en los estanques acuícolas (Ríos 2021). El amonio, un producto del catabolismo proteico, se encuentra presente en los estanques como resultado del metabolismo de los peces y la descomposición de la materia orgánica por las bacterias. En la forma no ionizada (amoniac) es tóxico y los peces sólo pueden tolerar rangos según el tiempo de exposición (0,6 a 2,0 mg/l). No obstante, cuando está en su forma ionizada no es tóxico, a menos que se presente en altas cantidades (IIAP 2007). Ambas formas se encuentran en equilibrio químico debido a que su concentración va a depender del pH y la temperatura de su medio. De esta forma, a mayor pH y temperatura, mayor porcentaje de amoniac y su efecto nocivo sobre los peces, influyendo en el proceso de fosforilación oxidativa de las células y disminuyendo el crecimiento de estos (Camacho 2012). En cuanto al nitrito, su presencia en los estanques se debe a la nitrificación del amonio, por consiguiente, cuando las concentraciones de amoniac o nitrato sean altas, también aumentarán las concentraciones de nitritos. En el caso de la Amazonia peruana, en los estanques de cultivo se prefieren aguas con concentraciones de nitrito menores a 1 ppm y nitratos menores de 5 ppm (Ríos 2021). Cuando los peces absorben el nitrito, este reacciona con la hemoglobina y forma metahemoglobina, la cual provoca que la sangre pierda la capacidad para transportar el oxígeno necesario para los procesos biológicos (IIAP 2007). Asimismo, una inadecuada labor de limpieza origina la acumulación de restos en descomposición en las unidades de manejo, causando un incremento desmedido de compuestos nitrogenados (amonio y nitritos) que son tóxicos y podrían ocasionar altas tasas de mortalidad (PNIPA 2020). La concentración letal de

estos varían con las especies y la temperatura, la adición de calcio y cloruro al agua de cultivo reducen la toxicidad del nitrito en los peces (SEBRAE 2013).

Tabla 3: Parámetros de calidad de agua recomendados para paiche (*Arapaima gigas*)

VARIABLE	RANGO
Temperatura (°C)	24,2 - 29,0
Transparencia (cm)	45,0 - 70,0
Conductividad eléctrica (µS)	5,8 - 7,47
pH (UI)	5,3 - 7,5
Oxígeno disuelto (ppm)	3,5 - 8,67
CO2 (ppm)	2,8 - 15,0
Alcalinidad (ppm)	2,0 - 33,3
Dureza tota (ppm)	8,0 - 56,0
Amoniacó (ppm)	0,2 - 0,3
Amonio (ppm)	0,13 - 1,16
Nitritos (ppm)	0,3 - 0,5
Nitratos (ppm)	0,4 - 0,69

Fuente: Ríos (2021)

2.2 COMPOSICIÓN CORPORAL Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES EN PECES

La composición química corporal de los peces varía considerablemente según las diferentes especies y también entre individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, sexo, tejido muscular, medio ambiente y estación del año. Estas variaciones están estrechamente relacionadas con la alimentación, nado migratorio y cambios sexuales relacionados con el desove (Huss 1998). Los peces criados en acuicultura también pueden mostrar variaciones en la composición química, pero en este caso pueden ser controladas y por lo tanto se puede predecir la composición química del filete de los peces (Vela 2013).

La carne del pescado está compuesta principalmente por: agua, proteína y lípidos. En cuanto al contenido de carbohidratos en el músculo del pescado, es muy bajo, generalmente inferior al 0,5 por ciento. El contenido en agua varía entre 60 a 80 por ciento y es inversamente proporcional al contenido de ácidos grasos (Hernández 2010). El contenido en proteínas es bastante constante. El contenido graso es muy fluctuante, siendo que, en los pescados azules o grasos, la grasa se deposita en el tejido muscular; mientras que, en los pescados magros, la grasa en su mayoría se acumula en el hígado (Anchía y Hernández 2003). Según el contenido graso del músculo, los pescados se clasifican en: grasos o azules, semigrasos y blancos o magros. Los peces, a diferencia de los mamíferos, contienen una menor proporción de ácidos grasos saturados y mayor de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI) en su mayoría del tipo omega 3. El principal esteroide del músculo de peces es el colesterol, cuya proporción varía entre especies (Hernández 2010).

Por lo tanto, se puede inferir el alto valor nutricional de los pescados siendo una excelente fuente de proteínas y ácidos grasos de alta calidad y digestibilidad. Las proteínas contienen todos los aminoácidos esenciales siendo altas en lisina y metionina (Anchía y Hernández 2003), los ácidos grasos que contienen también son esenciales, ya que los dobles enlaces ubicados en la posición 3 y 6 a partir del grupo metilo, no pueden sintetizarse en el cuerpo humano (Vela 2013). Debido a esta gran importancia en la dieta humana, es que se acostumbra a utilizar ciertos parámetros para medir una condición y composición corporal de calidad en el filete de los peces.

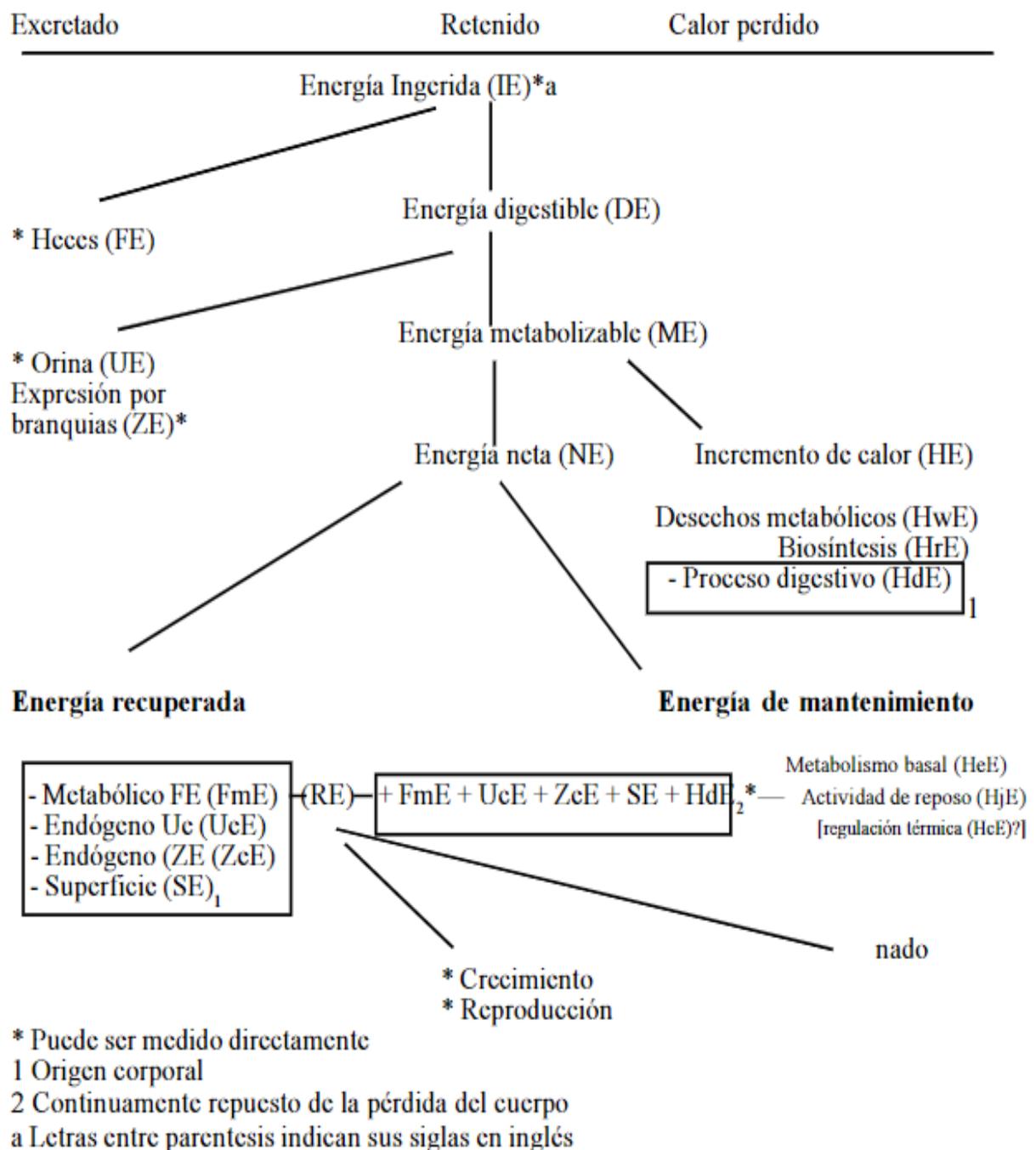


Figura 3: Presentación esquemática del destino de la energía dietaria en peces categorizando las pérdidas de energía que ocurren cuando el alimento es digerido y metabolizado, dejando una fracción de la energía dietaria para su retención como tejido nuevo

Fuente: Cho y Bureau (2019)

2.2.1. Índice hepatosomático

El índice hepatosomático se refiere a la proporción del peso del hígado con respecto al peso corporal total, la cual se utiliza para medir las reservas de energía de un animal, especialmente de los peces. Se dice que un índice hepatosomático mayor implica mayores reservas energéticas almacenadas en el hígado y, por consiguiente, una condición mejor (Mendoza 2021).

$$\text{Índice hepatosomático (HSI)} = (\text{peso del hígado} / \text{peso pez}) \times 100$$

Esta variable se usa con mayor frecuencia para medir la condición de peces bajo sistemas intensivos de cultivo, ya que puede indicar situaciones de estrés al encontrarse elevada. No obstante, el crecimiento del hígado también puede deberse a la hiperplasia o hipertrofia como respuesta adaptativa al desintoxicarse de compuestos extraños o debido a procesos patológicos. Por el contrario, algunas fuentes de contaminación, efectos de baja digestión y deficiencia alimentaria o baja calidad de nutrientes, pueden conllevar a la reducción del índice hepatosomático. Otro factor que puede influir sobre esta, son las altas infestaciones parasitarias, las cuales ocasionan que los peces disminuyan la ingesta de alimento, lo que conlleva a una reducción del índice hepatosomático, ya que el hígado funciona como fuente de almacenamiento y transferencia de proteínas y lípidos (Meza 2015). Así también, cualquier desequilibrio con respecto a los niveles de lípidos y carbohidratos en la dieta de los peces y sus proporciones, puede tener un efecto directo en las vías metabólicas de las grasas. Por ejemplo, un exceso de lípidos o carbohidratos en la dieta puede afectar la homeostasis de las grasas y conducir a una acumulación excesiva de lípidos en el hígado de los peces de cultivo, acompañada de un crecimiento deficiente, baja supervivencia y débil resistencia a los patógenos (Xie *et al.* 2017).

2.2.2. Determinación de la composición corporal

El análisis de la composición corporal (CC) se refiere a la evaluación, por distintos métodos, de las diferentes fracciones corporales consideradas respecto del peso total).

Se considera una práctica, que resulta imprescindible para comprender y valorar el efecto que la dieta, el ejercicio, los procesos ontogénicos, las enfermedades y otros factores ambientales ejercen sobre el organismo. Ciertos estudios han comprobado que los parámetros de composición corporal se correlacionan fuertemente con indicadores bioquímicos de malnutrición proteico-energética (Rodríguez 2016).

Se considera que el factor de mayor impacto en la composición química del pez es la composición de su alimento. Así, el potencial de crecimiento es mayor cuando el pez es alimentado con una dieta rica en lípidos, para propósitos energéticos, y alto contenido de proteínas con un adecuado balance de aminoácidos. No obstante, el contenido de carbohidratos en el músculo del pescado es muy bajo, generalmente inferior al 0,5 por ciento, encontrándose solo en el músculo estriado, en el cual los carbohidratos se encuentran en forma de glucógeno, y como parte de los constituyentes químicos de los nucleótidos (Vela 2013).

La energía no es un nutriente, más bien es un producto final de la absorción de nutrientes que producen energía cuando son oxidados y metabolizados. Todos los compuestos orgánicos de un alimento para peces liberan calor por combustión, y son fuentes potenciales de energía, siendo los valores promedios de calor por combustión de carbohidratos, proteínas y lípidos de: 17.2, 23.6 y 39.5 kJ/g respectivamente. Se han desarrollado varias aproximaciones y métodos para estudiar el balance entre el aporte, gasto y ganancia de energía en peces ya que, debido a su naturaleza acuática y poiquilotérmica, no todas las aproximaciones convencionales de energética nutricional usadas con homeotermos son aplicables (Cho y Bureau 2019).

Uno de los métodos más aplicados para la medición de la composición corporal es mediante el análisis químico proximal en laboratorio de la energía bruta, mediante bomba calorimétrica, y los nutrientes. Para esto, se utiliza muestras del músculo y/o cuerpo del pescado según a evaluar, y se liofiliza hasta alcanzar un peso constante para determinación de humedad. El contenido de proteína cruda se determina usando el método micro-Kjeldahl, el extracto etéreo se determina por el método Soxhlet, la ceniza

por combustión a 550°C por 18 h. y la fibra cruda por digestión ácido base (AOAC 2000).

Asimismo, de acuerdo con la NRC (2011) los valores de energía bruta también pueden ser estimados mediante el contenido de sus componentes, utilizando los valores estándar de calor de producción de proteína, lípidos y carbohidratos. No obstante, para efectos de composición corporal o retención de nutrientes en animales se puede utilizar el concepto de balance carbono y nitrógeno. Este se fundamenta en que la energía en el cuerpo se almacena mayormente como proteína y grasa (los carbohidratos no almacenan la energía más que como glucógeno y en muy poca cantidad). Se determina el contenido de C y N de los alimentos suministrados, a partir del N se calcula la proteína formada (6,25 g proteína/g N). Los contenidos de proteína y grasa pueden convertirse a energía multiplicando por los correspondientes calores de combustión (Martínez 2008).

$$EB \text{ corporal} = \text{Proteína corporal} * 5.637 + \text{Extracto etéreo} * 9.434$$

Además, según Cho y Bureau (2019) para salmónidos, los lípidos y las proteínas proveen las fuentes primarias de energía dietaria. Los carbohidratos dietarios parece ser que no juegan un papel muy importante en estas especies. Esto es corroborado por la NRC (2011) quien afirma que los peces carnívoros usan la energía derivada de los lípidos más eficientemente que la derivada de los carbohidratos, a diferencia de los omnívoros. Asimismo, varios autores han determinado la energía bruta utilizando este método para determinar la composición corporal en investigaciones de peces (Salinas 2018; Duarte *et al.* 2019). Actualmente, no se han encontrado valores de carbohidratos presentes en la composición de filetes de paiches cultivados en la amazonia peruana. Debido a su contenido de proteína, se encuentra dentro del rango indicado por la FAO para alimentos proteicos (16 a 21 por ciento) y es considerado como especie magra por su contenido de grasa (1,10 por ciento) para especies amazónicas (Roldán-Acero *et al.* 2020)

Tabla 4: Composición química proximal de filete sin piel de paiche

Ensayos	Porcentaje (%)
Humedad (g/100 g)	79,2
Proteína (g/100 g) F: 6.25	18,7
Grasa (g/100 g)	1,1
Cenizas (g/100 g)	1
Carbohidratos (g/100 g)	0
Energía total (kcal/100 g)	84,7

Fuente: Roldán-Acero *et al.* (2020)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR Y DURACIÓN DE LA EVALUACIÓN:

La investigación se realizó en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) perteneciente al departamento académico de Nutrición de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), La Molina, Lima, Perú (Anexo 27). La elaboración del alimento balanceado se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia. Los análisis químico-proximal de las dietas y la determinación de proteína y energía bruta del músculo de los peces, se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la misma universidad. La evaluación tuvo una duración de siete semanas (49 días).

3.2 INSTALACIONES, EQUIPOS Y MATERIALES

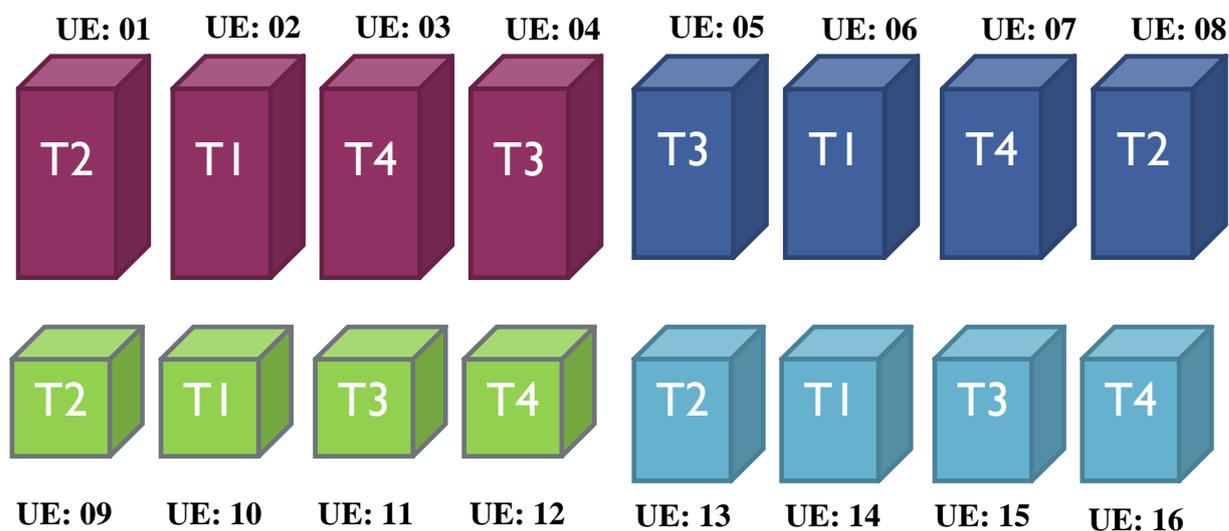
Las instalaciones del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) cuentan con un sistema de recirculación, el cual permite el control de los estándares de calidad de agua (Anexo 26). Cuenta con dos acuarios de adaptación, 18 para pruebas de crecimiento y 9 para pruebas de digestibilidad. Para el presente experimento se utilizaron 16 acuarios acondicionados para pruebas de crecimiento con capacidad de 55 litros y de medidas 50 cm de alto, 47 cm de ancho y 47 cm de profundidad; fabricados con fibra de vidrio, con frontis de vidrio de 6 mm de grosor, paredes lisas por dentro y fuera, y de color blanco. Los equipos y materiales utilizados para el manejo de los peces fueron una balanza electrónica marca SORES, modelo PS-R1, con capacidad para 5000 g y con precisión de 0.01g, empleada para pesar el alimento suministrado diario y obtener el peso de los peces durante las biometrías; un multiparámetro HANNA modelo HI 9829, para medir la calidad del agua; cinta métrica para obtener la talla de los animales en las biometrías; mallas de nylon para la captura de los peces en los acuarios y depósitos de plástico para el transporte de estos.

3.3 CALIDAD DE AGUA

El Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) presenta un sistema de recirculación de agua la cual era alimentada por dos cisternas de agua potable que se compraban semanalmente. Los parámetros de agua evaluados, así como la periodicidad, equipos y kits empleados para esto, se representan en la Tabla 5. Los valores determinados durante la evaluación se presentan en la Tabla 7 y Anexo 3.

3.4 ANIMALES EXPERIMENTALES

Se emplearon un total de 32 juveniles de paiche (*Arapaima gigas*) adquiridos de la Estación Piscícola Fundo Palmeiras de Silver Corporation SAC; ubicada en el Centro Poblado Villa Capiri, distrito de Río Negro, Provincia de Satipo, departamento de Junín. Al iniciar el experimento, los peces contaban con un peso vivo promedio de 345.7 g con una desviación estándar de ± 36.35 g y una talla entre 32 a 37 cm de longitud. Fueron separados en cuatro bloques según su tamaño (grandes, medianos, pequeños y muy pequeños) y distribuidos aleatoriamente en dieciséis acuarios como se muestra en la Figura 4 y Anexo 2, correspondiendo cada unidad experimental, un acuario con dos peces.



Donde cada color representa a cada bloque:

■ Grande ■ Mediano ■ Pequeño ■ Muy pequeño

Figura 4: Distribución de las unidades experimentales (UE) en la evaluación

Tabla 5: Metodología realizada para la medición de la calidad del agua

Parámetro	Equipo	Método	Rango de Medición	Periodicidad
Temperatura (°C)	Termómetro digital <i>Digital Termometer</i> , con 0.01C° de precisión.	Lectura digital en los acuarios	0 – 40C°	Diario (9:00 am y 4:00 pm)
Oxígeno disuelto (mg/L)	Oxímetro <i>PinPoint II</i> , con precisión de 0.01 mg/L.	Lectura digital en los acuarios	0.0 – 20 mg/L	3 veces por semana
Ph	pH metro <i>Oaklon</i> , con 0.1 de precisión.	Potenciométrico	1.0 - 14.0 pH	3 veces por semana
Dureza (ppm)	Kit colorimétrico de tres reactivos Hardness Liquid Vers marca LaMotte, con sensibilidad de 4ppm de CaCO3.	Colorimetría visual de muestras de agua de los acuarios.	0 - 200 ppm	2 a 3 veces por semana
Conductividad eléctrica (mS)	Conductímetro marca Hanna Instruments, con sensibilidad de 0.01 mS.	Lectura digital en los acuarios	-	2 a 3 veces por semana
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	Kit colorimétrico de la marca La Motte, el cual utiliza el valorador de lectura directa de la marca Hanna Instruments, con sensibilidad de 0.01 mg/L	Colorimetría visual de muestras de agua de los acuarios.	0 - 3 mg/Lt	2 a 3 veces por semana
Nitrito (mg/L)	Kit colorimétrico de 3 reactivos marca Sera el cual indica 5 valores de nitritos (NO2): 0.3, 0.9, 1.6, 3.3 y 16.5 mg/L	Colorimetría visual de muestras de agua de los acuarios.	0.3 – 16.5 mg/Lt	2 a 3 veces por semana

3.5 TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES.

Los tratamientos evaluados estuvieron conformados por cuatro dietas experimentales para juveniles de paiche, producto de la interacción de dos niveles de proteína total (50 y 45 por ciento) y dos relaciones de energía a proteína (8.5 y 10 kcal / g Pt) obteniéndose cuatro tratamientos.

Tratamiento 1: dieta con 50 por ciento de proteína y 10 kcal ED/g Pt. (5.0 Mcal/kg de ED)

Tratamiento 2: dieta con 50 por ciento de proteína y 8.5 kcal ED/g Pt. (4.25 Mcal/kg de ED)

Tratamiento 3: dieta con 45 por ciento de proteína y 10 kcal ED/g Pt. (4.5 Mcal/kg de ED)

Tratamiento 4: dieta con 45 por ciento de proteína y 8.5 kcal ED/g Pt. (3.83 Mcal/kg de ED)

3.6 ETAPA EXPERIMENTAL

3.6.1 Dietas experimentales.

Las dietas fueron formuladas de acuerdo con cada tratamiento, utilizando programación lineal al mínimo costo y según las recomendaciones nutricionales de Vergara *et al.* (2016) para juveniles de paiche (*Arapaima gigas*). La composición de las dietas y su valor nutricional calculado se muestran en la Tabla 6. Las dietas se elaboraron en la planta de alimentos balanceados de la Universidad Nacional Agraria la Molina, se prepararon 20 kg de alimento por tratamiento para toda la evaluación. Se consideró un tamaño de partícula de 300 micrones en la molienda de los ingredientes, la cual se realizó en un molino de martillos. El mezclado se realizó en una mezcladora horizontal de paletas por cinco minutos y luego, el alimento fue pelletizado con molde de 2 mm de diámetro y secado en una estufa eléctrica a 60 °C durante 30 minutos, posteriormente, fue envasado, debidamente rotulado y almacenado a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

Tabla 6: Fórmula y contenido nutricional de las dietas experimentales

	TRATAMIENTOS			
	T1	T2	T3	T4
INGREDIENTES, %				
Harinilla de trigo	5.07	17.67	18.67	30.57
Aceite de pescado	16.50	6.90	13.50	4.40
Hna. pescado prime, 66	69.30	66.30	58.70	55.90
Torta de soya, 47	8.00	8.00	8.00	8.00
Cloruro de colina, 60	0.10	0.10	0.10	0.10
Aquapremezcla (Vit. y min.)	0.20	0.20	0.20	0.20
Antioxidante	0.03	0.03	0.03	0.03
Aglutinante	0.80	0.80	0.80	0.80
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
CONTENIDO NUTRICIONAL, %				
Materia seca	92.21	91.19	91.70	90.74
Proteína total	50.00	50.00	45.00	45.00
ED*, Mcal/kg	5.00	4.25	4.50	3.83
Relación ED/PB, kcal ED/g	10	8.5	10	8.5
Fibra total	1.23	1.83	1.80	2.37
Grasa total	23.57	14.34	20.16	11.40
Lisina	3.95	3.88	3.48	3.41
Metionina	1.48	1.44	1.29	1.25
Cistina	0.51	0.51	0.47	0.47
Arginina	3.04	3.05	2.76	2.77
Histidina	1.24	1.24	1.12	1.13
Isoleucina	2.42	2.41	2.17	2.16
Leucina	3.88	3.85	3.47	3.45
Fenilalanina	2.20	2.19	1.98	1.98
Tirosina	1.74	1.72	1.55	1.53
Treonina	2.19	2.17	1.95	1.93
Triptófano	0.60	0.60	0.55	0.55
Valina	2.68	2.67	2.41	2.39
Met. +cist.	1.97	1.94	1.74	1.71
Fen. +tir.	3.89	3.86	3.49	3.47
AC.GS.n-3	5.74	3.89	4.78	3.03
AC.GS.n-6	5.40	2.32	4.42	1.50
Fosforo total	1.80	1.84	1.66	1.70
Calcio	2.62	2.52	2.24	2.15
Sodio	0.77	0.75	0.67	0.65

Formulación en base tal como ofrecido (TCO)

* ED basado en investigaciones del LINAPC (Vergara 2014)

3.6.2 Análisis de laboratorio.

Antes de iniciar la experimentación, se realizó el análisis químico proximal de las dietas, para esto, se entregó una muestra de 300 g de cada tratamiento al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) donde se determinó su composición química según los Métodos Oficiales de Análisis (AOAC 2000). Asimismo, al término de la evaluación, para el cálculo de la composición corporal en el filete de paiche, se determinó el contenido de proteína corporal por el método Kjeldahl y la energía bruta corporal se obtuvo por combustión en bomba calorimétrica adiabática en el mismo laboratorio (LENA), para esto se utilizó muestras de filetes de paiche deshuesado previamente secadas y molidas.

3.6.3 Manejo experimental.

El primer día del experimento los peces no fueron alimentados con las dietas a evaluar ya que se realizó la primera biometría para obtener el peso y talla inicial, a partir de la cual se agrupó a los peces en bloques según el peso corporal (grandes, medianos, pequeños y muy pequeños), se asignaron a los tratamientos y sus repeticiones y fueron distribuidos aleatoriamente en las 16 unidades experimentales, tal como se muestra en la Figura 4, quedando dos individuos por acuario. Para las biometrías, se capturó a los peces de su acuario con la ayuda de mallas de nylon, para colocarlos en depósitos de plástico conteniendo agua de los mismos acuarios en los que era transportados a la zona de pesaje. Para obtener el peso corporal, los peces fueron secados con papel toalla y envueltos con un paño ya tarado, de forma que se cubrieran los ojos para un mejor control al colocarlos en la balanza. Luego de registrar el peso, se colocaban sobre una cinta métrica fijada en una mesa y se medía la longitud desde la punta de la boca hasta el inicio de la aleta caudal. Al mismo tiempo, se aprovechaba en limpiar y vaciar el acuario para un recambio de agua completo antes de regresar a los peces. En total se realizaron 3 biometrías durante la investigación; primero la biometría inicial, la segunda se realizó a la cuarta semana para ver la tendencia de los tratamientos y la biometría final se realizó en la séptima semana al terminar la experimentación. En cuanto al suministro de alimento, este fue pesado en raciones diariamente, las cuales se ofrecían a los peces desde las 8:00 am hasta las 4:30 pm con una frecuencia de alimentación de 1 a 2 horas, cada acuario fue alimentado pellet a pellet, con el fin de asegurar que todo el alimento ofrecido sea ingerido por los peces a

punto de saciedad. Al final del día se pesaba el residuo de las raciones para llevar un control del consumo diario. La Tasa de Alimentación (TA) inicial fue de 3 a 4 por ciento de la biomasa y fue calculada y ajustada a medida que los peces iban creciendo, utilizando los datos obtenidos de las biometrías. La limpieza de los acuarios se realizó diariamente para mejores condiciones ambientales del paiche; para la limpieza se sifoneó el fondo de los acuarios con una manguera de plástico de media pulgada para extraer los residuos de alimento y heces de los peces. Esto se realizaba a primera hora, antes de la primera comida del día, y después de quince minutos cada vez que se los alimentaba. El mantenimiento de los acuarios se realizaba una o dos veces a la semana, según se requería al ver la turbidez del agua, para esto se disminuye una tercera parte del nivel de agua del acuario, luego se abría la llave de expulsión y llenado de agua a la vez a medida que se limpiaba con una esponja las paredes y fondo de este para eliminar desechos y sustancias adheridas. Todos estos manejos se realizaron siempre con el mayor cuidado para tratar de mitigar el impacto del estrés en los peces que ya de por sí se causaba. Al final de la evaluación, se procedió a sacrificar un pez de cada repetición para el pesado del hígado y determinación del índice hepatosomático. Para esto, se realizó el eviscerado completo del pescado y de este se extrajo el hígado entero al cual se le separó la bilis cuidadosamente, se limpiaron para retirar el exceso de humedad y se pesaron. Posteriormente, los pescados fueron fileteados retirándose toda piel y hueso incrustado y finalmente congelados para su almacenamiento hasta realizar el análisis de proteína cruda y energía bruta corporal para el cálculo de la composición corporal. No se registró mortalidad de peces durante la etapa experimental.

Los datos registrados durante la experimentación fueron los siguientes:

- Peso vivo de los peces al inicio, medio y término del experimento (g).
- Talla de los peces al inicio, medio y término del experimento (g).
- Consumo de alimento diario (g).
- Mortalidad.
- Parámetros de calidad de agua.
- Pesos de hígado (g)

3.7 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO PRODUCTIVO

Para determinar el mejor tratamiento sobre el desempeño productivo en juveniles de paiche, se midieron los siguientes parámetros según la metodología descrita por Hafedh (1999) y Vásquez (2004).

3.7.1 Ganancia de peso total (GP) y biomasa (GB).

La ganancia de peso total fue obtenida mediante la diferencia del peso promedio de la última biometría con el peso promedio de la biometría inicial. De manera similar se halló la ganancia de biomasa. Esta última fue estimada multiplicando el número de individuos por peso promedio de cada animal dentro de la unidad experimental (dos peces).

$$GP = P_{final} - P_{inicial}$$

$$GB = Biomasa_{final} - Biomasa_{inicial}$$

Donde: Biomasa (g) = N° de individuos \times peso promedio

3.7.2 Consumo de alimento promedio (C).

La ración correspondiente a cada unidad experimental fue pesada al iniciar el día y al finalizar se pesaba el alimento sobrante para obtener el alimento consumido por día. Para el cálculo, se sumó el alimento consumido por acuario durante toda la evaluación (49 días) y se dividió entre el número de peces para obtener el consumo acumulado por pez (g/pez).

$$C \text{ (g/pez)} = \frac{\text{Consumo de alimento acumulado por acuario (g)}}{N^{\circ} \text{ de peces}}$$

3.7.3 Tasa de crecimiento (TC) y tasa de crecimiento específico (TCE)

La tasa de crecimiento se refiere a la ganancia de peso diaria y se calculó mediante la división de la ganancia de peso entre el periodo de evaluación (49 días). Para la tasa de

crecimiento específico, se calcula agregando el *ln* a la ganancia de peso mediante la siguiente fórmula:

$$TC(g/d) = \frac{Wf - Wi}{t2 - t1}$$

Donde:

- Wi= peso inicial (g)
- Wf = peso final (g)
- t2 - t1= duración entre Wf y Wi

$$TCE(\%/días) = \left(\frac{\ln(Wf) - \ln(Wi)}{t2 - t1} \right) \times 100$$

3.7.4 Tasa de conversión alimenticia.

Se determinó dividiendo el alimento consumido acumulado durante la evaluación (49 días), entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$CA = \frac{\text{alimento consumido}}{\text{ganancia de peso}}$$

3.7.5 Factor de condición.

El factor de condición se utiliza para comparar el bienestar de un pez, se calculó dividiendo los datos de peso y longitud obtenidos en las biometrías inicial y final, y multiplicándose por 100.

$$K = \frac{\text{peso total}}{\text{Longitud total}^3} \times 100$$

3.7.6 Sobrevivencia.

La sobrevivencia se refiere al número de peces sobrevivientes al final del experimento, expresado en porcentaje.

$$S (\%) = (\text{N}^\circ \text{ de animales vivos} - \text{N}^\circ \text{ de animales muertos}) \times 100$$

3.8 PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN CORPORAL Y UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES

3.8.1 Relación de eficiencia proteica (PER).

Este indicador relaciona el peso ganado por el pez por cada unidad de proteína consumida en el alimento, reflejando por tanto la calidad de la proteína (Vásquez (2004).

$$\text{PER} = \text{Ganancia de peso (g)} / \text{Consumo de proteína (g)}$$

$$\text{Consumo de proteína} = \frac{\% \text{ proteina en dieta} \times \text{total dieta consumida}}{100}$$

3.8.2 Índice hepatosomático (IHS).

Este indicador es utilizado para medir las reservas energéticas del animal, según lo descrito por Mendoza (2021). Se determinó asociando el peso del hígado y el peso total del pescado.

$$\text{IHS} (\%) = 100 * (\text{Peso del hígado} / \text{Peso corporal})$$

3.8.3 Composición corporal.

Este parámetro, se calculó según la metodología de Martínez (2008). Según esta fórmula, se estimó el contenido de extracto etéreo corporal (EEc) a partir del contenido de proteína corporal (PTc) determinado por el método Kjeldahl y la energía bruta (EBc) corporal por combustión en bomba calorimétrica adiabática.

$$EB \text{ corporal} = \text{Proteína corporal} * 5.637 + \text{Extracto etéreo} * 9.434$$

Valor energético de proteínas: 5.637 kcal/g; valor energético de grasas: 9.434kcal/g

3.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.9.1 Tasa de eficiencia económica (TEE).

Expresa el costo de cada dieta experimental multiplicado por la conversión alimenticia (CA), el cual muestra la relación entre el alimento consumido y la ganancia de peso obtenida durante la investigación (Pesado 2019).

$$TEE (\$/\text{kg}) = \text{Costo de alimento} * C.A. (\text{Consumo de alimento}/\text{Ganancia de peso})$$

3.10 DISEÑO ESTADÍSTICO

Se utilizó el diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de 2 X 2, donde los bloques fueron diferentes tamaños de los peces (grande, mediano, pequeño y chico) y los factores fueron dos niveles de proteína (50 y 45 por ciento) y dos relaciones de energía a proteína (8.5 y 10 kcal/g PB). Para el análisis se empleó el software estadístico Minitab 17.2. Las medias de los parámetros evaluados se compararon mediante el análisis de variancia (ANVA) y las diferencias estadísticas significativas se analizaron con la prueba Tukey. El modelo aditivo lineal fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ij} = es la variable respuesta que se obtiene de la unidad experimental que recibió el i-ésimo nivel de energía y la j-ésima relación proteína: energía.
- μ = la media aritmética general de la población del experimento.
- T_i = el efecto del i-ésimo nivel de energía.
- T_j = el efecto de la j-ésima relación proteína: energía.
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel de energía y la j-ésima relación proteína: energía.
- γ_k = efecto del k-ésimo bloque
- ε_{ij} = error experimental de muestreo

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CALIDAD DEL AGUA

Los valores promedio de calidad de agua estimados durante la evaluación se encontraron dentro de los rangos recomendados para la especie y se presentan en la Tabla 7 y Anexo 3.

El valor promedio registrado para la temperatura del agua fue de 27,7 ° C, encontrándose dentro de los valores recomendados por Chu-Koo *et al.* (2017) para crianza de paiche; quienes refieren un rango adecuado entre 25 – 31 °C, pero un rango óptimo de 27 a 29 °C. Sin embargo, según SEBRAE (2013), el rango de temperatura ideal para el crecimiento del paiche está entre 28°C y 30°C, y cuando la temperatura del agua está por debajo de 26°C y por encima de 32°C, se produce una reducción significativa del consumo de alimentos por los peces. Esto es afirmado por Arévalo (2014), quien al evaluar diferentes tasas de alimentación: 6, 12 y 18 por ciento de la biomasa, en el crecimiento de juveniles de paiche cultivados en corrales, durante un periodo de su fase experimental se produjo un descenso en la temperatura, comúnmente llamado “friaje”, que perduró aproximadamente 3 semanas. Este llamado “friaje”, influyó directamente sobre el desarrollo y comportamiento de los ejemplares juveniles de paiche ya que, durante este tiempo, los juveniles de paiche dejaron de comer el alimento en su totalidad y el comportamiento se volvió lento y sin orientación; permanecían divididos y no en grupo como usualmente se podía apreciar. El consumo de alimento disminuyó considerablemente debido a que aceptaban el alimento una sola vez al día sin terminarlo. Como consecuencia de esto, el alimento sobrante, hizo que los parámetros de Oxígeno disuelto, Dióxido de Carbono, pH y Amonio tuvieran valores relevantes en la influencia del crecimiento de los ejemplares. No obstante, durante la presente evaluación no se observó ningún comportamiento atípico de los peces a consecuencia de la calidad del agua. Esto puede ser debido a que se realizó en un ambiente controlado, donde el control de ciertos parámetros relevantes, como la temperatura, es manejable a diferencia de los cultivos realizados en campo.

Tabla 7: Parámetros de calidad de agua registrados durante el experimento

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio
Temperatura del acuario (°C)	27,5	27,9	27,7
O2 disuelto (mg/L)	2,0	2,8	2,3
Ph	6,8	7,3	7,1
Dureza (ppm)	112	301	225
Conductividad (ms)	1090	2088	1699
Nitrogeno amoniacal (mg/L)	0,4	0,9	0,7
Nitritos (mg/L)	0,03	0,08	0,04

4.2 PARÁMETROS PRODUCTIVOS

4.2.1 Ganancia de peso (GP) y biomasa (GB).

Los pesos obtenidos al inicio y final del experimento, así como la ganancia de peso final se muestran en la Tabla 8 y Anexo 4. Los valores hallados para la ganancia de biomasa se muestran en el Anexo 5, los cuales concuerdan con la ganancia de peso final siendo datos correlativos. El ANVA para estos parámetros muestra que no existen diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos debido al efecto del nivel de proteína ni a la relación energía a proteína, así como tampoco por la interacción de ambos (Anexo 16 y 17).

Sin embargo, numéricamente se obtuvo el mayor incremento de peso (591.37 g) así como una mayor ganancia de biomasa (1182.74 g) utilizando la dieta del tratamiento 1, con un nivel de proteína de 50 por ciento y relación energía a proteína de 10 kcal ED/g PB (ED de 5.0 Mcal /kg). Esto refleja un aumento de la ganancia de peso y biomasa conforme aumenta la cantidad de proteína y energía en la dieta. Esta tendencia también fue reportada por la investigación de Vergara *et al.* (2016) donde la ganancia de peso aumentó a mayor proteína en la dieta y también se obtuvo un crecimiento ascendente con diferentes valores de energía hasta alcanzar 4,8 Mcal ED/kg.

Según Britz y Hecht (1997), sugieren que para que los peces alcancen tasas máximas de crecimiento, se debe aumentar la tasa de deposición de proteínas, y esto solo es posible si la dieta consumida contiene energía y proteínas altamente digestibles y en niveles y proporciones apropiados. Un desequilibrio en esta relación, causado por el exceso de la proteína en comparación con la energía de origen no proteico, conlleva a un proceso catabólico de desaminación, es decir, el uso de aminoácidos como fuente de energía en lugar de la deposición en el músculo para el crecimiento que sería lo más deseable (Elangovan y Shim 1997). Esto lo podemos contrastar con los resultados obtenidos por Casado *et al.* (2020) quienes al evaluar el crecimiento de paiches alimentados con dietas conteniendo 36, 40, 44, 48 y 52 por ciento de proteína y un nivel constante de energía (37,7 kJ/g) observaron mejor ganancia de peso para peces alimentados con 44 por ciento de PB.

Tabla 8: Efecto de los niveles de proteína y las relaciones energía a proteína sobre los parámetros productivos del paiche

Trat.	Proteína (%)	ED (Mcal/kg)	Relación ED: PB (kcal ED/g PB)	GP (g)	GB (g)	C (g/pez)	TC (g/día)	TCE (%)	CA	K
1	50	5.0	10	591,37 a	1182,74 a	502,22 a	12,07 a	2,03 a	0,85 ab	0,92 a
2		4.25	8.5	553,45 a	1106,89 a	456,68 a	11,29 a	1,94 a	0,83 a	0,90 a
3	45	4.5	10	465,79 a	931,57 a	400,53 a	9,51 a	1,77 a	0,86 ab	0,92 a
4		3.83	8.5	497,61 a	995,23 a	477,92 a	10,16 a	1,80 a	0,96 b	0,88 a
Efecto del nivel de Proteína										
		50 %		572,41 a	1144,81 a	479,45 a	11,68 a	1,99 a	0,84 b	0,91 a
		45 %		481,70 a	963,40 a	439,23 a	9,83 a	1,79 a	0,91 a	0,90 a
Efecto de la relación ED: PB										
			10 kcal ED/g Pt	528,58 a	1057,16 a	451,38 a	10,79 a	1,90 a	0,85 a	0,92 a
			8.5 kcal ED/g Pt	525,53 a	1051,06 a	467,30 a	10,73 a	1,87 a	0,90 a	0,89 a

Medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes (P<0.05)

GP, ganancia de peso; GB, ganancia de biomasa; C, consumo de alimento; TC, tasa de crecimiento; TCE, tasa de crecimiento específico; CA, conversión alimenticia; K, factor de condición

Por otro lado, Sandoval (2009) encontró valores de ganancia de peso de 1349 g y 710 g en juveniles de paiche alimentados con pez forraje y una dieta balanceada con 43 por ciento de PB respectivamente, al evaluar el efecto del tipo de alimentación en el crecimiento de juveniles de paiche criados en jaulas en Tingo María, obteniendo mejores parámetros en los peces alimentados con pez forraje. Como se observa, los valores de ganancia de peso hallados en este experimento son mucho más bajos a los reportados por peces alimentados incluso con una dieta estándar de 43 por ciento de PB, pero criados en ambiente natural. Debido a esto se puede inferir que los resultados hallados podrían ser mucho más alentadores si se traslada el experimento a un cultivo en ambiente natural.

Otros autores que realizaron experiencias en el paiche fueron Del Risco *et al.* (2008) quienes evaluaron dietas extruidas en el crecimiento de juveniles de paiche en tres niveles (35, 40 y 45 por ciento PB), obteniendo mejores rendimientos productivos con 40 y 45 por ciento de PB, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre estos dos tratamientos. En otra especie de peces amazónicos carnívoros; Sampaio *et al.* (2000) evaluaron el crecimiento en ejemplares de tucunaré (*Cichla sp*) presentando los mejores resultados para ganancia de peso el tratamiento con menor relación de energía digestible a proteína, de 8 kcal de ED/g de PB (41 por ciento de PB y 3.500 kcal de ED/kg). Mientras que, en especies omnívoras como el paco (*Piaractus brachypomus*), Salinas (2018), determinó valores de requerimiento de proteína de 30.6 por ciento y relación proteína a energía de 90 g Pt/Mcal ED (3.4 Mcal ED/kg) para un mayor incremento de peso y biomasa. Gutiérrez *et al.* (2009), evaluaron diferentes niveles de proteína y energía en alevines de gamitana obteniendo mayor ganancia de peso con la menor proteína (25 por ciento) y una mayor energía (2.7 kcal/g). En general, los peces tienen una mejor capacidad para utilizar la proteína como fuente de energía que los animales terrestres (NRC 1993), especialmente especies carnívoras. Este grupo de peces presenta una limitada capacidad de usar carbohidratos, por lo que requiere de lípidos y proteínas para satisfacer la demanda energética, a diferencia de los omnívoros que requieren bajos de proteínas ya que pueden usar lípidos y carbohidratos como fuente de energía (Lupatsch 2007).

Como observamos en lo citado anteriormente, los paiches tienden a ganar más peso con dietas ricas en proteína y energía, sin embargo, esto se puede ver afectado por una mala

relación entre estos nutrientes, así como por el medio en el que se desarrollan e incluso por la misma fisiología de su especie.

4.2.2 Consumo de alimento (C)

Los resultados obtenidos sobre el consumo de alimento total por pez se muestran en la Tabla 8 y Anexo 7. De acuerdo con el análisis de varianza, no hubo diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos debido al efecto de ninguno de los factores nivel de proteína y relación energía a proteína, así como tampoco debido a la interacción de ambos (Anexo 18).

No obstante, numéricamente se observó mayor consumo en los peces del tratamiento 1 (502.22 g/pez), el tratamiento con mayor nivel de proteína (50 por ciento de proteína) y mayor concentración de energía digestible (relación energía a proteína de 10 kcal ED/g Pt). Esta tendencia no coincide con la que señalan autores como Gutiérrez *et al.* (2009) quienes trabajando con Gamitana demostraron que altos niveles dietarios de energía y proteína disminuyen el consumo de alimento. Asimismo, Sampaio *et al.* (2000) indican que la ingesta de alimento disminuye conforme aumentan los niveles de energía en la dieta, ya que los animales en general solo consumen alimento hasta satisfacer sus necesidades energéticas principalmente.

Sin embargo, el alto consumo de alimento en este tratamiento se puede deber a que el mismo tratamiento obtuvo la mayor ganancia de peso, por lo que su requerimiento energético y proteico para lograr esto, también fue mayor; adicionalmente, también fue el tratamiento que registró mayor tasa de crecimiento específico numéricamente y con el que se obtuvo la mejor conversión alimenticia (debido al factor nivel de proteína) en la experimentación.

4.2.3 Tasa de crecimiento (TC) y tasa de crecimiento específico (TCE)

Los resultados de la tasa de crecimiento y, correlativamente, los de la tasa de crecimiento específico obtenidos al final del experimento se muestran en la Tabla 8 y Anexo 8. El ANVA para estos parámetros no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$) por

efecto del nivel de proteína, la relación energía a proteína ni por la interacción de ambos factores (Anexo 19 y 20).

No obstante, de forma numérica el tratamiento 1 (50 por ciento de PB y relación de 10 kcal ED/g PB) presentó los mayores valores de tasa de crecimiento y tasa de crecimiento específico siendo de 12.07 g/día y 2.03 por ciento al día respectivamente. Por el contrario, con el tratamiento 3 (45 por ciento de proteína y 10 kcal ED/g PB), se obtuvo la mínima TCE de 1.77 por ciento. Sin embargo, investigaciones conducidas tanto en Brasil como en Perú indican que raciones balanceadas con 40 - 45 por ciento de proteína propician una tasa de crecimiento óptima de juveniles de paiche para la producción de carne, con TCE que alcanzan entre 1.1 a 2.8 (IIAP 2007). Es decir, con un nivel más alto de proteína usado en esta experimentación (50 y 45 por ciento), se encontraron los mismos resultados hallados con niveles de inclusión de proteína más bajos.

No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación son superiores a los encontrados por Del Risco *et al.* (2008) quienes evaluaron dietas extruidas en el crecimiento de juveniles de paiche obteniendo la mayor TCE de 0.86 por ciento en tratamientos con 40 y 45 por ciento PB. Asimismo, Casado *et al.* (2020) al evaluar el crecimiento de juveniles de paiche alimentados con dietas conteniendo 36, 40, 44, 48 y 52 por ciento de PB y una constante relación energía a proteína (37,7 kJ/g) observaron diferencia estadística en los tratamientos siendo los que contenían 44 y 48 por ciento de PB con los que se obtuvo mejor TCE de 1.77 y 1.63 por ciento respectivamente. Sin embargo, similares resultados fueron reportados por Maravi (2017) quien encontró una TCE de 2.07 y 1.97 por ciento utilizando un sistema de recambio de agua y un sistema biofloc respectivamente, en juveniles de paiche alimentados con 46,35 por ciento de proteína. Valores superiores fueron hallados por Ituassú *et al.* (2005) al evaluar distintos niveles de proteína en la dieta de juveniles de paiche encontrando la mejor TCE de 2,4 por ciento, en dietas con 48.6 por ciento de PB.

Como se observa, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los más altos encontrados en la especie, sin embargo, es importante tener en cuenta que este parámetro se ve influenciado no solo por el alimento, sino también por el estado fisiológico del pez, la densidad de crianza y la temperatura del agua (Ribeyro 2013), el medio de cultivo (Maravi

2017), entre otros. En este caso, un aporte alto de proteína y energía en la dieta se reflejó en una mayor ganancia diaria de peso de los peces, respecto a lo hallado por otros autores.

4.2.4 Conversión alimenticia (CA)

Los valores de conversión alimenticia obtenidos en la experimentación se muestran en la Tabla 8 y Anexo 9. El ANVA muestra que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos debido al efecto del nivel de proteína (Anexo 21), obteniéndose mayor eficiencia de CA con el mayor nivel de proteína de 50 por ciento en la dieta (0.84). Por otro lado, no se muestran diferencias significativas entre tratamientos debido al factor de relación energía a proteína ni en la interacción de ambos factores ($P > 0.05$). Asimismo, Schuchardt *et al.* (2008) evaluando la performance en alevines de pargo, estimaron que la conversión alimenticia mejoró a medida que incrementaron el nivel de proteína, llegándose incluso hasta una CA de 1.05 con la dieta más alta en PB de 65 por ciento.

El tratamiento 2 (50 por ciento de PB y 8.5 kcal ED/g PB) presentó significativamente el mejor índice de conversión alimenticia de 0.83 frente al tratamiento 4 (45 por ciento de proteína y 8.5 kcal ED/g PB), que obtuvo la tasa de CA más alta de 0.96. Como se puede observar el nivel de proteína fue el factor más influyente en la respuesta de la CA, mejorando a mayor porcentaje de PB, mientras que la relación energía a proteína se mantuvo constante tanto para la mejor y peor respuesta a este parámetro. Por el contrario, en peces no carnívoros como el Paco (*Piaractus brachypomus*) Salinas (2018) mostró mayor influencia debido al efecto del nivel de energía obteniendo mejores valores de CA con 3.4 Mcal ED/kg significativamente. Esto debido a que los peces omnívoros tienen mayor capacidad enzimática para utilizar carbohidratos como fuente de energía a diferencia de los carnívoros los cuales presentan mayor requerimiento proteico (NRC 1993). Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación son inferiores a los reportados por demás autores en la misma especie, por ejemplo, López (2017) encontró la mejor CA de 1.17 con el nivel de 44 por ciento de proteína (más alto) y una relación de 10 kcal ED/g PB. Asimismo, Casado *et al.* (2020) evaluaron cinco niveles de proteína en la dieta, hallando mejor tasa de conversión alimenticia (1.85 - 2.58) con 44, 48 y 52 por ciento de PB frente a 36 y 40 por ciento de PB significativamente. De igual manera, Marín (2020) reportó mejora de la CA a 1.31 utilizando un programa de alimentación de alimento inicio con 53 por ciento y

crecimiento con 48 por ciento de proteína. Por lo mencionado el paiche al igual que los demás peces carnívoros, requieren de un alto nivel de proteína para lograr una mejor expresión de la conversión alimenticia durante la etapa de crecimiento.

4.2.5 Factor de condición (K)

Los valores correspondientes al factor de condición de cada tratamiento se muestran en la Tabla 8 y Anexo 10. El análisis de variancia no muestra diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos por efecto del nivel de proteína ni por la relación de energía a proteína, así como tampoco por la interacción de ambos factores (Anexo 22). Esto demuestra que las condiciones del medio, densidad, manejo y alimentación durante la evaluación fueron las mismas para todos los tratamientos según lo descrito por Ramos (2009), el factor de condición K es estimado para conocer el grado de bienestar o robustez de los peces y evaluar de forma indirecta las relaciones ecológicas y los efectos de diferentes estrategias de manejo.

De forma numérica, las medias obtenidas fueron de 0.92, 0.90, 0.92 y 0.88 para los tratamientos T1, T2, T3 y T4 respectivamente. El mayor valor de factor de condición (0.92) se presentó igualmente para los tratamientos 1 y 3, con la relación energía a proteína de 10 kcal ED/g PB y el nivel de proteína de 50 y 45 por ciento respectivamente. Estos valores son similares a los reportados por Sandoval (2009) quien encontró un factor de condición K de 0.9 en juveniles de paiche alimentados con pez forraje reflejando un buen estado fisiológico de los individuos durante el periodo de estudio. Asimismo, Padilla *et al.* (2006) reportaron que el factor de condición fue de 0.97 en alevines de paiche de 25 cm y 117 g criados en jaulas flotantes con un nivel de proteína del 50 por ciento. Por otro lado, valores más bajos fueron obtenidos por Delgado *et al.* (2013) quienes evaluaron 3 densidades de crianza diferentes en alevines de paiche y encontró valores de K de 0.67 a 0.74, adjudicando este descenso no al producto de la densidad, sino al stress causado por el manejo del cultivo.

El valor de K más bajo obtenido en la evaluación (0.88) corresponde al tratamiento 4, con menor nivel de proteína y menor relación energía a proteína en la dieta, además fue el que presentó la mayor tasa de conversión alimenticia por lo que se puede atribuir este hecho a que el bajo aporte nutricional de esta dieta no logró satisfacer los requerimientos

nutricionales de los peces para su óptimo desarrollo y bienestar. Según García (2003), menciona que el valor de K puede variar ampliamente entre especies e incluso dentro de una misma especie debido a factores como la temperatura, calidad, cantidad de alimento y estado reproductivo, lo cual debe ser tomado en cuenta para su interpretación.

4.2.6 Sobrevivencia (S)

La sobrevivencia obtenida al final de la presente investigación fue de 100 por ciento para todos los tratamientos, lo cual se asocia a las buenas condiciones de manejo, calidad del agua y rusticidad de la especie además del período de adaptación que se realizó previamente.

4.3 PARÁMETROS DE RETENCIÓN DE NUTRIENTES Y COMPOSICIÓN CORPORAL

4.3.1 Relación de eficiencia proteica (PER)

Los valores de relación de eficiencia proteica determinados al final del experimento se muestran en la Tabla 9 y Anexo 11. El ANVA no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos debido al efecto del nivel de proteína, así como tampoco debido a las relaciones de energía a proteína ni a la interacción de ambos factores (Anexo 2).

No obstante, numéricamente las medias obtenidas en la evaluación fueron 2.38, 2.43, 2.59 y 2.31 g para los tratamientos T1, T2, T3 y T4 respectivamente. El tratamiento 3, con el menor nivel de proteína de 45 por ciento y relación energía a proteína de 10 kcal ED/g PB presentó ligeramente el mayor valor de PER (2.59 g), es decir, los peces ganaron 2.59 g de peso por cada gramo de proteína consumido. Este valor es superior al encontrado por Sampaio *et al.* (2000) en alevines de Tucunaré (2.21) al utilizar una relación energía a proteína de 9 y 10 kcal ED/g PB, mientras que para la relación de 11 kcal ED/g PB el valor de PER fue menor. Los autores atribuyen este hecho a que la dieta que contiene menor concentración de energía y proteína tuvo un mayor consumo debido que al no exceder en nutrientes no hubo limitantes para este, por lo tanto, la proteína consumida fue eficientemente transformada en proteína corporal, con menor acumulación de grasa en la canal. Asimismo, las especies omnívoras no

serían la excepción a este comportamiento ya que según Gutiérrez *et al.* (2009) al evaluar diferentes niveles de energía digestible y proteína en alevines de Gamitana encontraron que la PER se incrementó conforme aumentó el nivel de energía digestible con dietas de 25 por ciento de proteína, mas no así con 35 por ciento de proteína, comparando sus resultados con otros autores que presentaron una tendencia similar. Por lo descrito, se puede inferir que en algunas especies de peces la PER puede disminuir conforme se incrementa el nivel de proteína, pero esto no influye en la ganancia de peso final.

Tabla 9: Efecto de los niveles de proteína y las relaciones energía a proteína sobre los parámetros de retención de nutrientes y composición corporal del paiche

Trat.	Proteína (%)	Relación ED: PB (kcal ED/g Pt)	PER (g)	IHS (%)	PTc (%)	EBc (Mcal/kg)	EEc (%)	TEE (S/. /g)
1	50	10	2,38 a	1,33 a	80,03 a	5,49 a	5,34 a	5,51 a
2		8.5	2,43 a	1,72 a	81,07 a	5,38 ab	5,22 ab	4,83 a
3	45	10	2,59 a	1,88 ab	81,02 a	5,39 ab	5,23 ab	5,00 a
4		8.5	2,31 a	2,00 b	82,91 a	5,28 b	5,10 b	4,99 a
Efecto del nivel de Proteína								
	50%		2,41 a	1,53 b	80,55 a	5,44 a	5,28 a	5,17 a
	45%		2,45 a	1,94 a	81,97 a	5,34 b	5,17 b	4,99 a
Efecto de la relación ED: PB								
		10 kcal ED/g Pt	2,48 a	1,61 a	80,53 a	5,44 a	5,29 a	5,26 a
		8.5 kcal ED/g Pt	2,37 a	1,86 a	81,99 a	5,33 b	5,16 b	4,91 a

Medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes (P<0.05)

PER, relación de eficiencia proteica; IHS, índice hepatosomático; PTc, proteína corporal; EBc, energía bruta corporal; EEc, extracto etéreo corporal. TEE, tasa de eficiencia económica

4.3.2 Índice hepatosomático (IHS)

Los valores de índice hepatosomático obtenidos durante el experimento se muestran en la Tabla 9 y Anexo 12. El análisis de variancia muestra que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos debido al efecto del nivel de proteína, siendo este mayor para las dietas con 45 por ciento de proteína (Anexo 24). Sin embargo, para el factor relación de energía a proteína y la interacción de ambos factores no se encontró diferencia estadística significativa ($P > 0.05$). De entre los tratamientos con niveles de proteína de 45 por ciento, fue el tratamiento 4, con la relación energía a proteína más baja, (8.5 kcal ED/g PB) el que presentó significativamente el mayor índice hepatosomático (2.0) en comparación a los tratamientos 1 y 2 con valores de IHS de 1.33 y 1.72 respectivamente. No encontrándose diferencia significativa con el tratamiento 3 (1.88). Estos datos pueden reflejar una relación negativa entre el balance de proteína y energía en la dieta y el IHS. Valores similares fueron reportados por Salinas (2018) en el cultivo de juveniles de Paco, quien halló valores de IHS en el rango de 1.39 a 1.91, siendo los tratamientos con menor nivel de energía y relación PB: ED (3.2 Mcal ED/kg y relaciones de 90 y 100 g Pt/Mcal ED) los de mayor valor. No obstante, Porter y Janz (2003) observaron un incremento en el tamaño del hígado cuando el organismo afronta situaciones de estrés, el cual se puede haber causado por la baja calidad del alimento en la dieta, elevando así los valores de IHS.

Por el contrario, en la investigación realizada en juveniles de paiche por Casado *et al.* (2020), dietas ricas en proteínas (48 y 52 por ciento PB) causaron el IHS más alto de 2.4 y 2.5 respectivamente, presentando una correlación positiva con niveles crecientes de proteína. Sin embargo, estos tratamientos también obtuvieron una menor ganancia de peso por lo que atribuyeron la mayor acumulación de lípidos en el hígado de los peces como una condición metabólica que probablemente comprometió su crecimiento y óptimo desarrollo.

4.3.3 Composición corporal (CC)

El contenido de energía bruta (EBc), proteína total (PTc) y extracto etéreo corporal (EEc) se muestran en la Tabla 9 y Anexo 13. El ANVA para la EBc y EEc muestra que existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) producida por el efecto de los factores nivel de proteína y relación proteína a energía, siendo los valores más altos en dietas con 50 por

ciento de proteína y con relación de 10 kcal ED/g PB respectivamente, para ambos parámetros. No obstante, no se encontró diferencia estadística para la interacción de ambos factores ($P>0.05$). En cuanto a la proteína total corporal no se observó diferencia estadística significativa ($P>0.05$) para ninguna de las variables en estudio ni su interacción (Anexo 25).

Los valores de EBc y correlativamente EEc fueron significativamente mayores para el tratamiento 1, con el nivel de proteína y relación energía a proteína más alto en la dieta (50 por ciento y 10 kcal ED/g PT), frente al tratamiento 4, con nivel de proteína y relación energía a proteína más baja (45 por ciento y 8.5 kcal ED/g PT); siendo los valores de 5.49 Mcal/kg de EBc y 5.34 por ciento de EEc para el T1 y 5.28 Mcal/kg de EBc y 5.10 por ciento de EEc para el T4 respectivamente. No obstante, no se encontró diferencias significativas para los demás tratamientos. Estos resultados permiten asociar una mayor retención de energía bruta y lípidos (ácidos grasos) en el filete de paiches alimentados con dietas altas en proteína y energía produciendo una relación directa entre ambos factores. Valores más bajos de EEc se reportaron por Verástegui y Del Castillo (2013) en alevines de paiche alimentados con diferentes dietas comerciales encontrando valores de 4.85 a 2.33 por ciento de grasa en el músculo calificándolo como magro, considerando como carne magra valores inferiores a 5 por ciento de EE. No obstante, según Aguilar y Torres (2011) el contenido semigraso en el filete del sábalo cola roja hallado en su investigación, probablemente está relacionado al contenido de ácidos grasos de los ingredientes de las dietas.

Por otro lado, la PTc presentó diferencias numéricas siendo de 80.03 por ciento para el tratamiento 1, y 82.91 por ciento para el tratamiento 4. A diferencia de los valores de EBc y EEc, la PTc hallada en el filete de paiche muestra una relación negativa respecto al nivel de proteína en la dieta, con valores decrecientes conforme se aumenta la inclusión de proteína. Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas, revelando así el alto valor de contenido proteico que presenta el músculo del *A. gigas*. Además, Allan y Booth (2004), mencionan que no es necesario una inclusión alta de nutrientes para garantizar su óptima retención corporal, afirmación que explicaría los resultados encontrados.

4.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.4.1 Tasa de eficiencia económica (TEE)

Los valores determinados para tasa de eficiencia económica se muestran en la Tabla 6 y Anexo 13. El análisis de variancia muestra que no existe diferencia estadística significativa ($P>0.05$) entre tratamientos por efecto de ninguno de los factores estudiados, así como tampoco por la interacción de estos (Anexo 25).

No obstante, de forma numérica fue con la dieta de 50 por ciento de proteína y 8.5 kcal ED/g PB (T2) con la cual se redujo hasta en 12 por ciento el costo de alimento por kilogramo de ganancia de peso, precisamente el tratamiento que presentó la mejor tasa de conversión alimenticia. Si bien es cierto, la proteína es dada como prioridad en la formulación en dietas para peces por ser el componente más costoso (Escobar *et al.* 2006) asociando un mayor nivel de inclusión de proteína en la dieta a un mayor costo de producción. Sin embargo, si el cultivo presenta una mejor tasa de conversión alimenticia, esto se reflejará en una mayor eficiencia económica como se observa en la presente investigación.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en las condiciones del presente trabajo, se puede concluir que:

1. Un nivel de inclusión de 50 por ciento de PB en la dieta de juveniles de paiche, mejoró significativamente la conversión alimenticia frente a un nivel de 45 por ciento. Siendo el tratamiento con 50 por ciento de PB y relación de 8.5 kcal ED/g de PB (T2) el que presentó estadísticamente mayor eficiencia para este parámetro. De igual forma, fue el tratamiento con la tasa de eficiencia más económica numéricamente, reduciendo los costos de alimentación hasta en 12 por ciento frente a los demás.
2. Las dietas con 50 por ciento de proteína y relación de 10 kcal ED/g de PB, (T1) mostraron de forma numérica una mejora para ganancia de peso y biomasa, consumo de alimento, tasa de crecimiento y tasa de crecimiento específico; no obstante, ninguno de los parámetros mencionados mostró diferencia significativa.
3. Con relación a la composición corporal, dietas con nivel de 50 por ciento de proteína y relación de 10 kcal ED/g de PB (T1), incrementaron significativamente la energía bruta y la grasa corporal en el filete de juveniles de paiche.
4. Con un nivel de 45 por ciento de PB en la dieta se incrementó significativamente el índice hepatosomático, específicamente en el tratamiento con 8,5 kcal ED/g de PB (T4)

VI. RECOMENDACIONES

A partir de la presente investigación se recomienda:

1. Utilizar en la formulación de dietas para juveniles de paiche el valor de 50 por ciento de proteína y la relación de 8.5 kcal ED/g PB para obtener mayor eficiencia en la conversión alimenticia y mayor eficiencia económica.
2. Utilizar en la formulación de dietas para juveniles de paiche un nivel de inclusión de 50 por ciento de proteína y la relación de 10 kcal ED/g PB si se desea obtener una mejor composición corporal en cuanto a energía bruta y grasa en el filete.
3. Replicar la investigación en campo bajo un sistema intensivo de cultivo para validar los resultados obtenidos.
4. Determinar el efecto del nivel energético y proteico sobre el perfil de ácidos grasos y perfil de aminoácidos del paiche.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, J. C. y Torres, Y. 2011. Estudio comparativo de dos tipos de dietas comerciales en la alimentación de alevinos de sábalo cola roja, *Brycon erythropterus*, (*Characidae*), cultivados en corrales en el Centro de Desarrollo Pesquero Nuevo Horizonte – FONDEPES – Iquitos. Tesis para optar el Título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Iquitos – Perú. 66pp.

Alcántara B., Wust, W., Tello M., Rebaza A., Del Castillo D. 2006. paiche: el gigante del Amazonas. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 69 p. Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/1031.pdf>

Allan, G. y Booth, M. 2004. The effects of dietary digestible protein and digestible energy content on protein retention efficiency of juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). *Aquaculture research* 35. Pp 970-983

Alvan-Aguilar, M., Chu-Koo, F., Baluarte, M., Collado, P. y Velarde, R. 2016. Análisis de las estadísticas de producción de carne y semilla de paiche *Arapaima gigas* en Loreto y Ucayali (Perú). *Folia Amazónica*, 25(2):183 – 190.

Arantes, C., Castello, L., Stewart, D., Cetra, M., Queiroz, H.L. (2010). Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. *Ecology of freshwater fish*, 19: 455-465. Doi: 10.1111/j.1600-0633.2010.00431.x

Arévalo, J. 2014. Efecto de tres tasas de alimentación en el crecimiento de juveniles de paiche, *Arapaima gigas*, cultivados en corrales. *SUNEDU*. Tesis (Biólogo Acuicultor). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Facultad de Ciencias Biológicas. Iquitos, Perú. Pp 6.

Anchía, I., y Hernández, J. (EDS.). 2003. Alimentos: composición y propiedades. McGraw-Hill Interamericana. Disponible en: <https://fisiogenomica.com/assets/Blog/pdf/Alimentos-Composicion-yPropiedades.pdf>

AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition USA Disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf> consultado el 18 de enero del 2019

Bezerra, R., Soares, M., Carvalho, E., Coelho, L. 2013. Pirarucu, *Arapaima gigas*, the Amazonian Giant Fish is Briefly Reviewed, Nova Science Publishers, Inc. New York. ISBN: 978-1-62948-137-1.

Britz, P. y Hecht, T. 1997. “Effect of dietary protein and energy level on growth and body composition of South African abalone. *Haliotis midae*”. *Aquaculture* 156: 195-210.

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

Carazo, V. 1999. Manual de Piscicultura del Paiche. Tratado de cooperación Amazónica. Secretaria Pro Tempore. Caracas, Venezuela. [Versión Dx. Reader]. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ak492s.pdf>

Carvajal-Vallejos F., Salas R., Navia J., Carolsfeld J., Moreno F., Van Damme P. 2017. Bases técnicas para el manejo y aprovechamiento del paiche (*Arapaima gigas*) en la cuenca amazónica boliviana. INIAF-IDRC-Editorial INIA, Bolivia, 25 p.

Casado, P., Chu Koo, F., Akifumi, E., Gusmão E. 2020. Crecimiento y química sanguínea de juveniles de *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) en relación con la concentración de proteína dietaria. *Folia Amazónica*, revista del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Vol. 29 (2) 2020. 279-297. DOI: <https://doi.org/10.24841/fa.v29i1.506>. Consultado el 23.04.2022.

Cavero, B., Pereira-Filho, M., Roubach, R., Ituassú, D. 2003. Biomassa sustentável de juvenis de pirarucu em tanques-rede de pequeno volume. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 38(6):723-728.

Cho, J. y Bureau, D. 2019. Bioenergética en la formulación de dietas y estándares de alimentación para la acuicultura del salmón: principios, métodos y aplicaciones. Avances en nutrición acuícola. Recuperado a partir de: <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/323>

Chu-Koo, F., Fernández, M., Rebaza, A., Darias, M., García-Dávila, C., García, V., . . . Arbildo, H. 2017. El cultivo del paiche. Biología, procesos productivos. Iquitos. Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana. Pg 11. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12921/267>

Church, D., Pond, W., Pond, K. 2002. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 567 p.

Darias M., Ortiz-Delgado J., Sarasquete C., Martínez G., Yúfera M. 2007. Larval organogénesis of *Pagrus pagrus* L., with special attention to the digestive system development. Histology and Histopathology, 22 (7): 753-768.

Darias M. Castro-Ruiz D., Estivals G., Quazuguel P., Fernández-Méndez C., Núñez-Rodríguez J., Clota F., Gilles S., García-Dávila C., Gisbert E., Cahu C. 2015. Influence of dietary protein and lipid levels on growth performance and the incidence of cannibalism in *Pseudoplatystoma punctifer* (Castelnau, 1855) larvae and early juveniles. Journal of Applied Ichthyology, 31 (4): 74-82.

Delgado-Ramírez, J., Rebaza-Alfaro, C., Paredes-López, D., Robles-Huaynate, R., y Bazán-Albites, R. 2013. Efecto de tres densidades de cultivo en condiciones de laboratorio de alevinos de paiche *Arapaima gigas* sobre sus parámetros hematológicos, bioquímicos sanguíneos y biométricos. Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana. Revista Folia Amazónica, Vol. 22 (1-2), Pp. 15-24.

Del Risco, M., Velásquez, J., Sandoval, M., Padilla-Pérez, P., Mori, L., & Chu-Koo, F. 2008. Efecto de tres niveles de proteína dietaria en el crecimiento de juveniles de paiche, *Arapaima gigas* (Shinz, 1822). *Folia amazónica*, 17(1-2), 29-37.

Duarte, G., Lucena, J., Cavalcanti, O. & Bicudo, A. 2019. Growth and body composition of juvenile curimatã-pacu (*Prochilodus argenteus*) fed diets with different protein: lipid ratios. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(1): 114-121. DOI: 10.3856/vol47-issue1-fulltext-12

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). 2015. Alimentação e nutrição do pirarucu (*Arapaima gigas*). 1º Edición ISSN 2318-1400. Editorial Embrapa Pesca e Aquicultura. Brasil. 24 p. (versión electrónica). Consultado 30.08.2019. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1028551/alimentacao-e-nutricao-do-pirarucu-arapaima-gigas>

Elangovan, A. y Shim, K. 1997. "Growth response of juvenile *Barbodes altus* fed isocaloric diets with variable protein levels". *Aquaculture* 158: 321-329.

Escobar, J., Del Rosario, V. y Landinez, M. 2006. Efecto del nivel de energía y proteína en la dieta sobre el desempeño productivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*, variedad chitralada. *Revista de Medicina Veterinaria* N° 12: 89-97pp.

FAO (Food And Agriculture Organization) EEUU. 1999. Manual de piscicultura del paiche (*Arapaima gigas* Cuvier). Caracas, Venezuela. Pg. 84.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2022a. Acuicultura. Desarrollo de la acuicultura. División de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. [Citado 02 de Junio del 2022]. Disponible en:

<https://www.fao.org/aquaculture/es/>

FAO. 2022b. Pesca y acuicultura. Perú. Texto de Soto Cárdenas, G. I. División de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. [Citado 22 de Junio del 2022]. Disponible en:

<https://www.fao.org/fishery/es/countrysector/pe/es>

Franco, H. 2005. Contribución al conocimiento de la reproducción del Pirarucú *Arapaima gigas* (CUVIER, 1817) (Pisces: Arapaimidae) en Cautiverio. Universidad de la Amazonía. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Biología con énfasis en biorrecursos. Colombia. (En línea). Consultado el 15 de Junio del 2020. Disponible en <http://www.colcrea.com/CONTRIBUCI%20N%20AL%20CONOCIMIENTO%20DE%20LA%20REPRODUCCI%20N%20DEL.pdf>

Franco, H y Peláez, M. 2007. Cría y producción de pirarucú en cautiverio. Experiencias en el piedemonte caqueteño. Florencia, Universidad de la Amazonia. Colombia. Primera edición. 50 p.

García, B. 2003. Variación del índice de condición en función del tipo de tanque de estabulación en el dentón (*Dentex dentex*). IX Congreso Nacional de Acuicultura. España.

Gatlin, D. 2010. Principles of fish nutrition. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication, 5003, July.

Godinho, H., Santos, J., Formagio, P. y Guimarães-Cruz, R. 2005. Gonadal morphology and reproductive traits of the Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz 1822). Acta Zoológica, 86, 289- 294.

Guerra, H. 2002. Manual de producción y manejo de alevinos de paiche. Lima: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). p.101.

Gutiérrez, F., Zaldívar, J., y Contreras, G. 2009. Efecto de varios niveles de energía digestible y proteína en la dieta sobre el crecimiento de Gamitana (*Colossoma macropomum*) Cuvier 1818. Rev Inv Vet Perú 2009; 20(2):178-186.

Hafedh, Y. 1999. Effects of dietary protein on growth and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture Research, 30: 385 393.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00343.x>

Halver, J. y Hardy R. 2002. Fish nutrition. 3° Ed. California, USA: Academic Press.

Hernández, A. 2010. Tratado de nutrición. Nutrition Treatise: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Composition and nutritional quality of foods (Vol. 2). Ed. Médica Panamericana.

Hurtado J., Tafur L., Sandoval M. 2014. Descripción anatómica e histológica del sistema digestivo de juveniles de paiche (*Arapaima gigas*) Cuvier, 1829, criados en jaulas y sometidos a dos tipos de alimentación, en Tingo María. Carrera Profesional de Zootecnia, Universidad Agraria de la Selva, Tingo María – Perú.

Huss, H. 1998. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. FAO: Documento Técnico de Pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Vol. 348, p. 202.

IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PE). 2007. Aspectos de Manejo, Reproducción y Alimentación del paiche (*Arapaima gigas*) en la Amazonia Peruana. PE. (En línea). Consultado 28.08.2019. Disponible en: www.promamazonia.org.pe

Ituassú, D., Pereira-Filho, M., Roubach, R., Crescencio, R., Cavero, B., Gandra, A. 2005. Níveis de proteína bruta para juvenis de pirarucu. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 40(3):255-259.

Jobling, M. 1994. Fish Bioenergetics. Ed. Chapman & Hall. London, United Kingdom.

López, T. 2017. Evaluación de dos niveles de proteína y energía digestible en dietas peletizadas para alevines de paiche (*Arapaima gigas*). Tesis (Ingeniero Zootecnista). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Pp 2-17.

Lucas, J., Southgate, P., Tucker, C. 2019. Aquaculture: Farming aquatic animals and plants (3° ed.). USA, Wiley Blackwell.

Lupatsch, I. 2007. Carnivores versus herbivores: comparing feed efficiency between Species. Aqua Feeds: Formulation & Beyond, 4 (1):13-16.

Maravi, R. 2017. Influencia del sistema biofloc sobre la actividad enzimática digestiva y los parámetros productivos de juveniles de paiche (*Arapaima gigas*). Tesis (Magister Scientiae en acuicultura). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Pp 56-60.

Marín, E. 2020. Evaluación de tres programas de alimentación de paiches (*Arapaima gigas*) en crecimiento bajo condiciones de crianza en Selva Central. Tesis (Ingeniero Zootecnista) Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Pp 4-17.

Martínez, A. 2008. Nutrición y alimentación animal. Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba. Valoración energética de alimentos. Pp. 15.

Mendoza, P. 2021. Histología hepatosomático en juveniles de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus x Oreochromis niloticus*) con inclusión de quitosano en dieta. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Unidad de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Ecuador. Pg. 15.

Meza L. 2015. Carga parasitaria e índices biológicos y hematológicos en híbridos de tilapia (*Oreochromis niloticus x Oreochromis mossambicus*) cultivada en agua de mar. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

NRC (National Research Council, USA). 1993. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. National Academy Press, Washington D.C., 102pp.

NRC. 2011. Nutrient requirements of fish. Washington, D.C.: National Academy Press. 114 p.50

Núñez, J. 2014. Reproductive Biology and Aquaculture of Pirarucu, *Arapaima gigas*: a review. Resúmenes del 4º Coloquio Internacional RIIA (Darias, M y Rejas, D. eds.). Universidad Mayor de San Simón (UMSS). Cochabamba, Bolivia.

Ono, E., Nunes, E., Cedano, J., Pereira-Filho, M. y Roubach, R. 2008. Digestibilidade aparente de dietas práticas com diferentes relações energia: proteína em juvenis de pirarucu. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 43(2): 249-254. Doi: 10.1590/S0100-204X2008000200014

ONU (Organización de Naciones Unidas, EE. UU.). 2007. Comercio sostenible de *Arapaima gigas* en la región amazónica. Informe de taller. 21 p.

Ortiz, W., Lucero R., Ceballos, L., López, J. 2007. Potencial acuícola de Pirarucú (*Arapaima gigas*) en la cuenca amazónica. Profesor titular Facultad de Ciencias Pecuarias Universidad de Nariño. Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola año II, vol. 2. ISSN 1909-8138.

PNIPA (Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura). 2020. Cadena de valor del paiche. Texto de Del Carpio Rodríguez, O. Primera edición. Perú. [Citado 01 de Junio del 2022]. (En línea) Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12864/195>

Padilla, P., Ismiño, R., Alcántara, F. y Tello, S. 2006. Efecto de la tasa de alimentación en el crecimiento del paiche, *Arapaima gigas*. En Bodmer R, Puertas Memoria, VI Congreso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonia y Latinoamérica. Vol 5, p 59-62.

Patel A. y Yakupitiyake A. 2003. Mixed feeding schedules in semi-intensive pond cultura of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, L.; is it necessary to have two diets of differing protein contents. Aquaculture research, (34): 1343- 1352.

Pedroza-Filho, M., Pizarro, M., Rodrigues, A., Rezende, F., Lima, A. y Mataveli, M. 2016. Panorama da cadeia produtiva do pirarucu. Ativos Aquicultura, 2(8):1-4.

Pereira-Filho, M., Cavero, B., Roubach, R., Ituassú, D., Gandra, A. y Crescêncio, R. 2003. Pirarucu (*Arapaima gigas*) husbandry in ponds. Acta Amazon 33(4):715-718. Pesado, A., Castelan, D., Ortiz, E., & González, G. 2019. ¿Cómo determinar la eficiencia económica en el sistema de producción de pollo de engorda? Universidad Nacional Autónoma de México. CRESUR. RLEEI Vol. 3/ Número 3. México.

Pokniak, J. 1997. Nutrición de peces. Tecno Vet; Año 3 N°2. Disponible en: https://web.uchile.cl/vignette/tecnovet/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D9163%2526ISID%253D448,00.html

Porter, C. y Janz, D. 2003. Treated municipal sewage discharge affects multiple levels on biological organization in fish. *Ecotox. Env. Saf.* 54: 109-206 p.

Ramos, C. 2009. Relación longitud-peso y factor de condición en el barrilete negro (*Euthynnus lineatus*) (Kishinouye, 1920) (Perciformes: Scombridae), capturado en el litoral de Oaxaca, México. *Revista de Investigaciones Marinas*, 30(1), 45-53.

Rebaza, M., Alcántara, F., Valdivieso, M. 1999. Manual de piscicultura del paiche (*Arapaima gigas*) (CLUVIER). Secretaría pro tempore del Tratado de Cooperación Amazónica (TCA) – IIAP – FAO. 35 p.

Ribeyro, B. 2013. Efecto de la tasa y frecuencia de alimentación en el crecimiento de alevinos de *Osteoglossum bicirrhosum* (Cuvier, 1829) (Pisces: Osteoglossidae) “Arahuana” en ambientes controlados. Tesis para optar el grado de Mg. Sc. Acuicultura. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Pp.10.

Ríos, E. 2021. Calidad de agua en el cultivo de organismos acuáticos amazónicos. Editorial Barreto. Primera edición. Perú. Pg. 51. Consultado el 10.06.2022 en: https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7514/Enrique_Libro_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodea, F. 2019. Dieta enriquecida con *Nannochloropsis limnetica* para juveniles de tilapia. Tesis para optar el grado de Magister en Biosistemas. Universidad Autónoma de Querétaro. México. Pp. 17.

Rodríguez, P. 2016. Valores de referencia de composición corporal para población española adulta, obtenidos mediante antropometría, impedancia eléctrica (BIA) tetrapolar e interactancia de infrarrojos. Tesis doctoral. Universidad complutense de Madrid. Pg.19 -27.

Rogério, W., Signor, A., De Freitas, J., Bittencourt, F., Feiden, A. 2011. Nutrição de peixes nativos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Vol. 40. Pg.145-154.

Rojas S., Quintero, L., López, N., Pezzato, L. 2005. Nutrición y alimentación del pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz, 1882). Biología y cultivo del pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, p. 41-58. No. Doc. 21264 CO-BAC, Bogotá.

Roldán-Acero, D., Molleda-Ordóñez, A., Luján-Tantarico, D., & Omote-Sibina, J. 2020. Elaboración de filete sin piel de paiche (*Arapaima gigas*, Cuvier 1829) ahumado a baja temperatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Ing. industrial (039), 189-203. Perú. Pg. 194. Disponible en: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4921>

Rotta, M. 2003. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura. Corumbá: Embrapa Pantanal. Pg. 8.

Saavedra R. y Collado P. 2016. Manejo de reproductores y alevinos de paiche en sistemas de estanques. Gobierno Regional de Ucayali. Dirección Regional de la Producción de Ucayali. Pucallpa. 27pp.

Salinas, A. 2017. Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis linneo*) cruda en paiche (*Arapaima gigas*). Tesis Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Pp 3-8.

Salinas, A. 2018. Niveles de energía y relación proteína a energía sobre el desempeño productivo y composición corporal del paco (*Piaractus brachypomus*)” Tesis (Magister Scientiae en nutrición). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Pp 30-39.

Sampaio, A., Kubitza, F., & Cyrino, J. 2000. Relação energia: proteína na nutrição do tucunaré. Scientia Agricola, 57 (2), Pp 213-219.

Sandoval, B. 2009. Alimentación del paiche (*Arapaima gigas*) (Cuvier 1829) con dos tipos de dieta (dieta balanceada y pez forraje) en la etapa juvenil, criados en jaulas. Tesis Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria De La Selva. Tingo María. Pp 10.

Santigosa, E. 2006. Modulació dels processos digestius en resposta a la composició de la dieta en orada (*Sparus aurata*) i truita (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Barcelona, España. 207 p.

Schuchardt, D., Vergara, J., Fernández-Palacios, H., Kalinowski, C., Hernández-Cruz, C., Izquierdo, M, & Robaina, L. 2008. Effects of different dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of red porgy (*Pagrus pagrus*) fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 14(1), 1-9.

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). 2013. Manual de boas práticas de reprodução do pirarucu em cativeiro. Recuperado de <https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Manual%20de%20Reprodu%C3%A7%C3%A3o%20Pirarucu%2012%2013%20alta.pdf>

Silva, V. 2016. Efecto de la frecuencia de alimentación con balanceado en el crecimiento y ganancia de peso en la etapa de levante de alevinos de paiche (*Arapaima gigas*). Tesis Ingeniero Agropecuario. Universidad Estatal Amazónica. Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/79/1/T.%20AGROP.%20B.%20UEA.1072>

Stewart D. 2013. A new species of *Arapaima* (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the Solimoes River, Amazonas State, Brazil. *Copeia*, (3):470-476.

Vásquez W. 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Ed. Universidad de los Llanos. Instituto de Agricultura. 64 p.

Vela E. 2013. Memoria descriptiva. Química de Alimentos de Pescado. Requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú. Pg. 17-26.

Verástegui, M. y Del Castillo, J. 2013. Influencia de dietas comerciales en el crecimiento y en la composición corporal de alevinos de paiche, *Arapaima gigas* (Cuvier, 1829) criados

en ambientes controlados. Tesis para optar el título de Biólogo Acuicultor. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos, Perú. Pp 33,42.

Vergara, V.; Camacho, R.; Bustamante P. 2016. Determinación del requerimiento de energía digestible para el paiche (*Arapaima gigas*). LAQUA16 Inovative Aquaculture under Environmental Challenges. 317p. LAQUA16 Inovative Aquaculture Registro de parámetros de calidad de agua under Environmental Challenges. 318p.

Vergara, V.; Ferrer, S.; Camacho, R. 2014. Determinación de los estándares nutricionales para el paiche (*Arapaima gigas*). Reporte del laboratorio de investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos. Departamento Académico de Nutrición. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.

Xie, D., Yang, L., Yu, R., Chen, F., Lu, R., Qin, C., Y Nie, G. 2017. Effects of dietary carbohydrate and lipid levels on growth and hepatic lipid deposition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 479, 696-703. Disponible en <https://sci-hub.se/10.1016/j.aquaculture.2017.07.013>

Yamane, R., Ragonha, S., De Souza, E., Akifumi, E., Roubach, R. Gusmao, E. 2009. Evaluación de desempeño productivo de *Arapaima gigas* alimentado con dietas en diferentes sistemas de crianza intensiva. Asociación brasilera de zootecnistas.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico proximal de las dietas para los diferentes tratamientos

Análisis Químico P.	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Humedad %	7,26	8,82	7,96	8,94
Proteína total (Nx6,25), %	50,94	50,62	45,9	45,55
Grasa, %	19,72	14,87	17,23	10,82
Fibra cruda, %	0,89	0,18	0,31	0,15
Ceniza, %	11,3	10,85	10,82	9,68
ELN, %	9,89	14,66	17,78	24,86
Total	100	100	100	100

Anexo 2. Distribución de las unidades experimentales durante la evaluación

Acuario	1	2	3	4	5	6	7	8
Tratamiento	T2	T1	T4	T3	T3	T1	T4	T2
Repetición	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Bloque	G	G	G	G	M	M	M	M
Acuario	9	10	11	12	13	14	15	16
Tratamiento	T4	T3	T1	T2	T4	T2	T1	T3
Repetición	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Bloque	P	P	P	P	MP	MP	MP	MP

Donde los bloques son respecto al tamaño inicial de los peces, siendo:

G: grandes; M: medianos; P: pequeños; MP: muy pequeños

Anexo 3. Registro de parámetros de calidad de agua

Semana	Temperatura (C°)			O2 disuelto (mg/L)	pH	Dureza (ppm)	Conductividad (mS)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	Nitritos (mg/L)
	9:00 AM	4:00 PM	Promedio						
1	27,9	27,5	27,7	2,8	7,3	241	1797	0,7	0,04
2	27,8	27,4	27,6	2,8	7,2	112	1090	0,4	0,03
3	27,9	27,8	27,8	2,0	6,8	255	1821	0,7	0,08
4	27,9	27,9	27,9	2,0	7,2	301	2088	0,5	0,05
5	27,5	27,6	27,6	2,0	7,0	237	1756	0,9	0,03
6	27,5	27,4	27,5	2,0	7,0	203	1576	0,7	0,03
7	28,0	27,3	27,6	2,2	7,0	227	1762	0,8	0,04
Mínimo	27,5	27,3	27,5	2,0	6,8	112	1090	0,4	0,03
Máximo	28,0	27,9	27,9	2,8	7,3	301	2088	0,9	0,08
Promedio	27,8	27,6	27,7	2,3	7,1	225	1699	0,7	0,04

Anexo 4. Ganancia de peso por bloque

Tratamiento	Bloque	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Ganancia de Peso (g)	Ganancia Peso Prom. (g)
T-1	B1	394,22	1118,94	724,72	591,37
	B2	363,64	988,92	625,28	
	B3	326,69	891,02	564,33	
	B4	294,07	745,22	451,15	
T-2	B1	409,11	939,50	530,39	465,79
	B2	350,76	1030,77	680,02	
	B3	322,95	790,29	467,34	
	B4	308,85	844,88	536,04	
T-3	B1	377,49	796,80	419,31	465,79
	B2	370,22	834,49	464,27	
	B3	329,45	754,38	424,93	
	B4	282,87	837,52	554,65	
T-4	B1	387,71	973,34	585,63	497,61
	B2	357,76	797,91	440,15	
	B3	339,75	733,61	393,86	
	B4	315,41	886,22	570,82	

Anexo 5. Ganancia de biomasa por bloque

Tratamiento	Bloque	Biomasa Inicial (g)	Biomasa Final (g)	Ganancia de Biomasa (g)	Ganancia Biomasa Prom. (g)
T-1	B1	788,44	2237,88	1449,44	1182,74
	B2	727,28	1977,84	1250,56	
	B3	653,37	1782,03	1128,66	
	B4	588,14	1490,43	902,29	
T-2	B1	818,22	1879,00	1060,78	1106,89
	B2	701,51	2061,54	1360,03	
	B3	645,90	1580,58	934,68	
	B4	617,69	1689,76	1072,07	
T-3	B1	754,98	1593,59	838,61	931,57
	B2	740,44	1668,97	928,53	
	B3	658,90	1508,75	849,85	
	B4	565,73	1675,03	1109,30	
T-4	B1	775,42	1946,68	1171,26	995,23
	B2	715,52	1595,81	880,29	
	B3	679,50	1467,22	787,72	
	B4	630,81	1772,44	1141,63	

Anexo 6. Ganancia de talla por bloque

Tratamiento	Bloque	Talla Inicial (cm)	Talla Final (cm)	Ganancia de Talla (cm)	Ganancia Talla Promedio (cm)
T-1	B1	35,75	48,25	12,50	11,81
	B2	35,85	47,50	11,65	
	B3	34,25	46,00	11,75	
	B4	32,90	44,25	11,35	
T-2	B1	36,50	47,00	10,50	11,99
	B2	34,25	48,00	13,75	
	B3	33,65	44,75	11,10	
	B4	33,40	46,00	12,60	
T-3	B1	35,50	45,00	9,50	10,28
	B2	35,00	45,00	10,00	
	B3	33,75	43,00	9,25	
	B4	32,15	44,50	12,35	
T-4	B1	36,00	47,00	11,00	10,93
	B2	35,25	45,45	10,20	
	B3	34,60	44,25	9,65	
	B4	33,90	46,75	12,85	

Anexo 7. Consumo de alimento acumulado por bloque

Tratamiento	Bloque	Consumo de Alimento Ac. por acuario (g)	Consumo de Alimento Ac. por pez (g/pez)	Consumo de Alimento por pez: día (g/pez/día)	Consumo de Alimento Ac. promedio (g/pez)
T-1	B1	1307,70	653,85	13,34	502,22
	B2	1100,52	550,26	11,23	
	B3	822,92	411,46	8,40	
	B4	786,62	393,31	8,03	
T-2	B1	925,22	462,61	9,44	456,68
	B2	1035,52	517,76	10,57	
	B3	710,18	355,09	7,25	
	B4	982,53	491,27	10,03	
T-3	B1	705,82	352,91	7,20	400,53
	B2	788,62	394,31	8,05	
	B3	747,01	373,51	7,62	
	B4	962,80	481,40	9,82	
T-4	B1	1120,84	560,42	11,44	477,92
	B2	838,96	419,48	8,56	
	B3	785,56	392,78	8,02	
	B4	1078,01	539,01	11,00	

Anexo 8. Tasa de crecimiento y Tasa de crecimiento específico (TCE) por bloque

Tratamiento	Bloque	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Tasa de Crecimiento (g/día)	TCE (%)	TCE Promedio
T-1	B1	394,22	1118,94	14,8	2,13	2,03
	B2	363,64	988,92	12,8	2,04	
	B3	326,69	891,02	11,5	2,05	
	B4	294,07	745,22	9,2	1,90	
T-2	B1	409,11	939,50	10,8	1,70	1,94
	B2	350,76	1030,77	13,9	2,20	
	B3	322,95	790,29	9,5	1,83	
	B4	308,85	844,88	10,9	2,05	
T-3	B1	377,49	796,80	8,6	1,52	1,77
	B2	370,22	834,49	9,5	1,66	
	B3	329,45	754,38	8,7	1,69	
	B4	282,87	837,52	11,3	2,22	
T-4	B1	387,71	973,34	12,0	1,88	1,80
	B2	357,76	797,91	9,0	1,64	
	B3	339,75	733,61	8,0	1,57	
	B4	315,41	886,22	11,6	2,11	

TCE: Tasa de crecimiento específico

Anexo 9. Conversión alimenticia por bloque

Tratamiento	Bloque	Consumo de Alimento (g)	Ganancia de Peso (g)	Conversión Alimenticia	Conversión alimenticia promedio
T-1	B1	653,85	724,72	0,90	0,85
	B2	550,26	625,28	0,88	
	B3	411,46	564,33	0,73	
	B4	393,31	451,15	0,87	
T-2	B1	462,61	530,39	0,87	0,83
	B2	517,76	680,02	0,76	
	B3	355,09	467,34	0,76	
	B4	491,27	536,04	0,92	
T-3	B1	352,91	419,31	0,84	0,86
	B2	394,31	464,27	0,85	
	B3	373,51	424,93	0,88	
	B4	481,40	554,65	0,87	
T-4	B1	560,42	585,63	0,96	0,96
	B2	419,48	440,15	0,95	
	B3	392,78	393,86	1,00	
	B4	539,01	570,82	0,94	

Anexo 10. Factor de condición K por bloque

Tratamiento	Bloque	Peso Final (g)	Talla Final (cm)	Factor de condición K	K Promedio
T-1	B1	1118,94	13,34	1,00	0,92
	B2	988,92	11,23	0,92	
	B3	891,02	8,40	0,92	
	B4	745,22	8,03	0,86	
T-2	B1	939,50	9,44	0,90	0,90
	B2	1030,77	10,57	0,93	
	B3	790,29	7,25	0,88	
	B4	844,88	10,03	0,87	
T-3	B1	796,80	7,20	0,87	0,92
	B2	834,49	8,05	0,92	
	B3	754,38	7,62	0,95	
	B4	837,52	9,82	0,95	
T-4	B1	973,34	11,44	0,94	0,88
	B2	797,91	8,56	0,85	
	B3	733,61	8,02	0,85	
	B4	886,22	11,00	0,87	

Anexo 11. Relación de eficiencia proteica por bloque

Tratamiento	Bloque	Ganancia de	Consumo de	Relación	PER promedio
		Peso (g)	Proteína (g)	Eficiencia Proteica (PER)	
T-1	B1	724,72	326,93	2,22	2,38
	B2	625,28	275,13	2,27	
	B3	564,33	205,73	2,74	
	B4	451,15	196,66	2,29	
T-2	B1	530,39	231,31	2,29	2,43
	B2	680,02	258,88	2,63	
	B3	467,34	177,55	2,63	
	B4	536,04	245,63	2,18	
T-3	B1	419,31	158,81	2,64	2,59
	B2	464,27	177,44	2,62	
	B3	424,93	168,08	2,53	
	B4	554,65	216,63	2,56	
T-4	B1	585,63	252,19	2,32	2,31
	B2	440,15	188,77	2,33	
	B3	393,86	176,75	2,23	
	B4	570,82	242,55	2,35	

Anexo 12. Índice hepatosomático por bloque

Tratamiento	Bloque	Peso Final (g)	Peso del Hígado (g)	Índice Hepatosomático (IHS)	IHS Promedio
T-1	B1	1118,94	15,05	1,35	1,33
	B2	988,92	12,47	1,26	
	B3	891,02	12,43	1,40	
	B4	745,22	9,91	1,33	
T-2	B1	939,50	13,50	1,44	1,72
	B2	1030,77	15,12	1,47	
	B3	790,29	17,76	2,25	
	B4	844,88	14,53	1,72	
T-3	B1	796,80	17,49	2,20	1,88
	B2	834,49	15,01	1,80	
	B3	754,38	12,51	1,66	
	B4	837,52	15,75	1,88	
T-4	B1	973,34	16,90	1,74	2,00
	B2	797,91	18,89	2,37	
	B3	733,61	13,94	1,90	
	B4	886,22	17,72	2,00	

Anexo 13. Composición corporal por bloque

Tratamiento	Bloque	Proteína Total corporal (%)	Energía Bruta corporal (Mcal/kg)	Extracto Etéreo corporal (%)
T-1	B1	78,43	5,58	5,45
	B2	81,98	5,44	5,28
	B3	79,67	5,45	5,30
	B4	80,03	5,49	5,34
T-2	B1	81,77	5,35	5,19
	B2	81,22	5,43	5,28
	B3	80,22	5,35	5,19
	B4	81,07	5,38	5,22
T-3	B1	83,14	5,24	5,06
	B2	82,92	5,37	5,20
	B3	77,01	5,55	5,42
	B4	81,02	5,39	5,23
T-4	B1	85,02	5,26	5,07
	B2	82,94	5,20	5,02
	B3	80,77	5,39	5,23
	B4	82,91	5,28	5,10

Anexo 14. Tasa de eficiencia económica por bloque

Tratamiento	Bloque	Conversión Alimenticia	Costo de Alimento (S/. /kg)	Tasa de Eficiencia Económica (TEE)	TEE promedio
T-1	B1	0,90	6,52	5,88	5,51
	B2	0,88	6,52	5,74	
	B3	0,73	6,52	4,75	
	B4	0,87	6,52	5,68	
T-2	B1	0,87	5,84	5,09	4,83
	B2	0,76	5,84	4,45	
	B3	0,76	5,84	4,44	
	B4	0,92	5,84	5,35	
T-3	B1	0,84	5,82	4,90	5,00
	B2	0,85	5,82	4,94	
	B3	0,88	5,82	5,12	
	B4	0,87	5,82	5,05	
T-4	B1	0,96	5,18	4,96	4,99
	B2	0,95	5,18	4,94	
	B3	1,00	5,18	5,17	
	B4	0,94	5,18	4,89	

Anexo 15. Análisis de variancia del peso final

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	33790	33790.3	3.95	0.078	ns
RELACION EP	1	53	53.5	0.01	0.939	ns
BLOQUE	3	68698	22899.2	2.68	0.110	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	5873	5873.5	0.69	0.429	ns
Error	9	77040	8560.0			
Total	15	185455				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 16. Análisis de variancia de la ganancia de peso

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	32911	32911.4	3.82	0.082	ns
RELACION EP	1	37	37.2	0.00	0.949	ns
BLOQUE	3	24953	8317.7	0.97	0.450	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	4865	4865.1	0.56	0.472	ns
Error	9	77544	8616.0			
Total	15	140311				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 17. Análisis de variancia de la ganancia de biomasa

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	131646	131646	3.82	0.082	ns
RELACION EP	1	149	149	0.00	0.949	ns
BLOQUE	3	99812	33271	0.97	0.450	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	19460	19460	0.56	0.472	ns
Error	9	310176	34464			
Total	15	561243				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 18. Análisis de variancia del consumo de alimento

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	6472	6472	1.02	0.340	ns
RELACION EP	1	1015	1015	0.16	0.699	ns
BLOQUE	3	34078	11359	1.78	0.221	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	15111	15111	2.37	0.158	ns
Error	9	57381	6376			
Total	15	114057				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 19. Análisis de variancia de la tasa de crecimiento

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	13.7074	13.7074	3.82	0.082	ns
RELACION EP	1	0.0155	0.0155	0.00	0.949	ns
BLOQUE	3	10.3928	3.4643	0.97	0.450	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	2.0263	2.0263	0.56	0.472	ns
Error	9	32.2965	3.5885			
Total	15	58.4384				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 20. Análisis de variancia de la tasa de crecimiento específico

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0.161763	0.161763	3.33	0.101	ns
RELACION EP	1	0.003414	0.003414	0.07	0.797	ns
BLOQUE	3	0.200138	0.066713	1.37	0.313	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0.012379	0.012379	0.25	0.626	ns
Error	9	0.437638	0.048626			
Total	15	0.815333				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 21. Análisis de variancia de la conversión alimenticia

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0.022230	0.022230	6.48	0.031	*
RELACION EP	1	0.007241	0.007241	2.11	0.180	ns
BLOQUE	3	0.009173	0.003058	0.89	0.482	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0.014816	0.014816	4.32	0.067	ns
Error	9	0.030873	0.003430			
Total	15	0.084334				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 22. Análisis de variancia del factor de condición

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0.000511	0.000511	0.27	0.618	ns
RELACION EP	1	0.005458	0.005458	2.85	0.126	ns
BLOQUE	3	0.003714	0.001238	0.65	0.605	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0.000405	0.000405	0.21	0.657	ns
Error	9	0.017236	0.001915			
Total	15	0.027323				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 23. Análisis de variancia de la relación de eficiencia proteica

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0.006399	0.006399	0.22	0.652	ns
RELACION EP	1	0.050851	0.050851	1.73	0.221	ns
BLOQUE	3	0.088920	0.029640	1.01	0.434	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0.108468	0.108468	3.68	0.087	ns
Error	9	0.265163	0.029463			
Total	15	0.519802				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 24. Análisis de variancia del índice hepatosomático

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEÍNA	1	0.69398	0.69398	12.79	0.006	**
RELACION EP	1	0.25263	0.25263	4.66	0.059	ns
BLOQUE	3	0.14780	0.04927	0.91	0.475	ns
PROTEÍNA*RELACION EP	1	0.07005	0.07005	1.29	0.285	ns
Error	9	0.48826	0.05425			
Total	15	1.65270				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 25. Análisis de variancia de la composición corporal

a. Proteína total corporal

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	8,0467	8,0467	3,52	0,093	ns
RELACION EP	1	8,5849	8,5849	3,76	0,085	ns
BLOQUE	3	20,3748	6,7916	2,97	0,089	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0,7112	0,7112	0,31	0,591	ns
Error	9	20,5693	2,2855			
Total	15	58,2869				

ns: no significativo, *: significativo

b. Energía bruta corporal

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0,039707	0,039707	5,24	0,048	*
RELACION EP	1	0,047728	0,047728	6,30	0,033	*
BLOQUE	3	0,014430	0,004810	0,63	0,611	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0,000042	0,000042	0,01	0,942	ns
Error	9	0,068224	0,007580			
Total	15	0,170132				

ns: no significativo, *: significativo

c. Extracto etéreo corporal

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0,052062	0,052062	5,26	0,047	*
RELACION EP	1	0,062041	0,062041	6,27	0,034	*
BLOQUE	3	0,023781	0,007927	0,80	0,524	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0,000003	0,000003	0,00	0,986	ns
Error	9	0,089071	0,009897			
Total	15	0,226959				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 26. Análisis de variancia de la tasa de eficiencia económica

FV	GL	SC	MC	F- value	P- value	NS
PROTEINA	1	0,1275	0,1275	1,01	0,342	ns
RELACION EP	1	0,4851	0,4851	3,83	0,082	ns
BLOQUE	3	0,3696	0,1232	0,97	0,448	ns
PROTEINA*RELACION EP	1	0,4458	0,4458	3,52	0,093	ns
Error	9	1,1406	0,1267			
Total	15	2,5687				

ns: no significativo, *: significativo

Anexo 27. Instalaciones y equipos del LINAPC

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

Anexo 28. Laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos (LINAPC)

