

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN NUTRICIÓN



**“REQUERIMIENTO DE PROTEÍNA Y ENERGÍA DIGESTIBLES Y
DIGESTIBILIDAD DE ENERGÍA Y NUTRIENTES DE
INGREDIENTES PARA ALEVINES DE PAICHE (*Arapaima gigas*)”**

Presentada por:

VÍCTOR JESÚS VERGARA RUBÍN

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN NUTRICIÓN**

Lima – Perú

2024

TESISP

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	pdfcoffee.com Fuente de Internet	1%
2	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	idoc.pub Fuente de Internet	1%
4	orcid.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	1%
7	www.iiap.org.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	1%
9	repositorio.ufsc.br Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN NUTRICIÓN**

**“REQUERIMIENTO DE PROTEÍNA Y ENERGÍA
DIGESTIBLES Y DIGESTIBILIDAD DE ENERGÍA Y
NUTRIENTES DE INGREDIENTES PARA
ALEVINES DE PAICHE (*Arapaima gigas*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

Presentada por:

VÍCTOR JESÚS VERGARA RUBÍN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Maria Elena Villanueva Espinoza
PRESIDENTE

Ph.D. Víctor Guevara Carrasco
ASESOR

Ph.D. Carlos Gómez Bravo
MIEMBRO

Ph.D. Mariano Echevarría Rojas
MIEMBRO

Dra. Doris Chirinos Peirano
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A la memoria de mis Padres Luz Victoria y César Octavio, por inculcar seguir estudios en la prestigiosa Universidad Nacional Agraria La Molina.

A mi esposa Soledad por su comprensión y apoyo permanente.

A mis hijas Luz Carolina, Virginia Soledad, Patricia Soledad y Milagros Beatriz, con cariño y gratitud.

A mis nietos Valentina Mikella, Joaquin Jesús, Miguel Angel, Jesús Arnaldo, Fuentes de motivación permanente.

Al Equipo Técnico en Nutrición, alimentación y manejo de peces: Andrea Marchán Timorán, Brenda Yance Flores, Janny Saavedra Ramirez, Percy Bustamante Gonzalez, Manuel Flores Ancajima.

A mis amigos y colegas de la Promoción “ Zootecnia 73. ”

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Víctor Guevara Carrasco, asesor de la tesis, por su apoyo desde la implementación y fundación del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) - Departamento Académico de Nutrición, inaugurado en junio de 2009.

A los miembros del Jurado: Doctores María Elena Villanueva Espinoza (Presidente), Doris Chirinos Peinado (Miembro Externo), Mariano Echevarría Rojas (Miembro), Carlos Gómez Bravo (Miembro), Víctor Guevara Carrasco (Asesor), por su apoyo en la revisión de la tesis.

A los Ingenieros MgSc, Roberto Camacho Cuya y Silvana Ferre Ipinze, por su constante apoyo en el manejo del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC, Departamento Académico de Nutrición), desde su fundación.

A la Ingeniero MgSc, Andrea Marchán Timorán por el apoyo en el análisis estadístico de los datos de resultados.

Al Personal del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos y Planta de Alimentos Balanceados de la Facultad de Zootecnia.

Al Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología (FINCYT) y al Programa Nacional de innovación para la competitividad y Productividad (INNOVATE PERÚ), por el apoyo económico.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El Paiche	3
2.2 Métodos para determinar el requerimiento de nutrientes en peces	4
2.2.1 Método empírico (Dosis – Respuesta)	4
a. El Modelo de la Línea Quebrada	5
b. Modelos no Lineales	5
2.2.2 Método factorial	7
2.3 Necesidades de nutrientes del Paiche	8
2.3.1 Necesidades de Proteína y Aminoácidos	8
2.3.2 Necesidades de energía digestible	10
2.3.3 Relación de proteína digestible a energía digestible	10
2.4 Digestibilidad de Nutrientes y Energía	11
2.4.1 Métodos para determinar la Digestibilidad	12
a. Método directo	12
b. Método indirecto	12
2.4.2 Factores que afectan la digestibilidad	14
2.4.3 Digestibilidad de la Proteína, energía, carbohidratos y fibra	14
2.4.4 Fuentes de proteína en las dietas experimentales	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Lugar de Ejecución	16
3.2 Instalaciones y equipos	16
3.3. Parámetros de calidad del agua	17
3.4 Etapas de la Investigación	17
3.5 Estudio I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes	18
3.5.1 Animales Experimentales	18
3.5.2 Tratamientos	18
3.5.3 Dietas Experimentales	19
3.5.4 Análisis de Datos	19
a. Recolección de Heces	19

b.	Análisis de Laboratorio	19
c.	Calculo del Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Energía, Proteína, Lípidos y ELN	21
d.	Calculo de la Digestibilidad de los Nutrientes y Energía Digestible de los ingredientes.....	21
3.6	Estudio II: Nivel adecuado de reemplazo de la harina de pescado por torta de soya.....	22
3.6.1	Animales Experimentales	22
3.6.2	Tratamientos	22
3.6.3	Dietas Experimentales	23
3.6.4	Biometría de los peces	23
3.6.5	Parámetros de medición.....	25
a.	Ganancia de Peso e Incremento de Talla.....	25
b.	Ganancia de Biomasa	25
c.	Consumo de Alimento	25
d.	Conversión Alimentaria.....	25
e.	Tasa de alimentación	26
3.6.6	Análisis de Datos	26
3.7	Estudio III: Determinación del Requerimiento de Proteína	26
3.7.1.	Metodología: Método empírico (Dosis-Respuesta).....	26
a.	Animales Experimentales	27
b.	Tratamientos	27
c.	Dietas Experimentales	27
d.	Parámetros de evaluación	27
e.	Análisis de Laboratorio	30
f.	Diseño Experimental	30
3.7.2.	Metodología : Método Factorial	31
3.8.	Estudio IV: Determinación del Requerimiento de Energía.....	32
3.8.1.	Metodología: Método Empírico (Dosis –respuesta)	32
a.	Animales Experimentales	32
b.	Tratamientos	33
c.	Dietas Experimentales	33
d.	Parámetros de Evaluación	33
e.	Análisis de Laboratorio	35
f.	Diseño Experimental	35
3.8.2	Metodología : Método Factorial	37
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1	Estudio I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes.....	38
4.1.1	Coeficientes de digestibilidad aparente de ingredientes.....	38
4.1.2	Contenido de Energía digestible de ingredientes	41
4.2	Estudio II: Nivel adecuado de reemplazo de la harina de pescado por torta de soya)	41
4.2.1	Parámetros de crecimiento y conversión alimenticia	41
4.3	Estudio III: Determinación del Requerimiento de Proteína Digestible.....	44

4.3.1 Método empírico de dosis-respuesta	44
a. Prueba estadística de rango múltiple	44
b. Modelo de la línea quebrada.....	46
c. Regresión polinomial de segundo orden	48
d. Comparación de los diferentes modelos	50
4.3.2 Estimación del requerimiento mediante el método factorial	51
4.4 Estudio IV: Determinación del requerimiento de Energía Digestible	53
4.4.1 Método empírico de dosis-respuesta	53
a. Prueba estadística de rango múltiple	53
b. Modelo de la línea quebrada.....	55
c. Regresión polinomial de segundo orden	57
d. Comparación de los diferentes modelos	59
e. Relación de proteína digestible a energía digestible (PD: ED)	60
4.4.2 Estimación del requerimiento mediante el método factorial	60
V. CONCLUSIONES	62
VI. RECOMENDACIONES	63
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
VIII. ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Composición De La Dieta De Referencia Y Valor Nutricional Calculado	20
TABLA 2: Composición De Las Dietas Experimentales Y Valor Nutricional Calculado	24
TABLA 3: Fórmulas De Las Dietas Experimentales (Base Fresca) Y Valor Nutritivo Calculado.	28
TABLA 4: Fórmulas De Las Dietas Experimentales (Base Fresca) Y Valor Nutritivo Calculado.	34
TABLA 5: Coeficientes De Digestibilidad Aparente (DCA) De La Materia Seca, Proteína Cruda, Extracto Etéreo, Energía Bruta (EB) Y Energía Digestible (ED) De Ingredientes En El “Paiche” (<i>Arapaima Gigas</i>) En Base Seca.	39
TABLA 6: Evaluación De Tres Dietas Con Diferentes Niveles De Harina De Pescado	43
TABLA 7: Efecto Del Nivel De Proteína Sobre El Comportamiento Productivo Del Paiche	45
TABLA 8. Comparativo Del Requerimiento De Proteína Determinado Mediante Diferentes Modelos	51
TABLA 9: Efecto Del Nivel De Energía Sobre El Comportamiento Productivo Del Paiche	54
TABLA 10. Comparativo De Requerimientos Obtenidos Mediante Diferentes Métodos.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

FIGURA 1. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento de proteico del paiche utilizando la variable ganancia de peso.....	47
FIGURA 2. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento proteico del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia eficiencia de utilización del alimento	47
FIGURA 3: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento proteico del paiche utilizando la variable ganancia de peso ...	49
FIGURA 4: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento proteico del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia	49
FIGURA 5: Relación ganancia de peso y consumo en función del peso metabólico	52
FIGURA 6. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable ganancia de peso.	56
FIGURA 7. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia	56
FIGURA 8: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable ganancia de peso	58
FIGURA 9: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia	58
FIGURA 10: Relación ganancia de peso y consumo en función del peso metabólico	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Experimento i. Contenido nutricional de los ingredientes evaluados, promedios finales del cda y digestibilidad aparente de los ingredientes evaluados	72
Anexo 2. Experimento II: Resultados obtenidos por tratamiento y repetición	73
Anexo 3. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para biomasa inicial.....	74
Anexo 4. Experimento II: Análisis de variancia del DCA a para biomasa final ...	74
Anexo 5. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para ganancia de biomasa	74
Anexo 6. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para peso inicial	75
Anexo 7. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para peso final	75
Anexo 8. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para ganancia de peso .	75
Anexo 9. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para consumo	76
Anexo 10. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para conversión alimenticia	76
Anexo 11. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para talla inicial	76
Anexo 12. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para talla final	77
Anexo 13. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para ganancia de talla	77
Anexo 14. Experimento II: Análisis de variancia del DCA para tasa de alimentación	77
Anexo 15. Experimento III: Pesos iniciales, pesos finales y consumo de alimento.	78
Anexo 16. Experimento III: análisis de variancia del DCA para biomasa inicial..	79
Anexo 17. Experimento III: análisis de variancia del DCA para biomasa final.....	79
Anexo 18. Experimento III: análisis de variancia del DCA para ganancia de biomasa	79
Anexo 19. Experimento III: análisis de variancia del DCA para peso inicial.....	80
Anexo 20 Experimento III: análisis de variancia del DCA para peso final	80
Anexo 21. Experimento III: análisis de variancia del DCA para ganancia peso....	80
Anexo 22. Experimento III: análisis de variancia del DCA para consumo	81
Anexo 23. Experimento III: análisis de variancia del DCA para conversión alimenticia	81
Anexo 24. Experimento III: análisis de variancia del DCA para talla inicial.....	81
Anexo 25. Experimento III: análisis de variancia del DCA para talla final	82
Anexo 26. Experimento III: análisis de variancia del DCA para ganancia de talla	82
Anexo 27. Experimento III: análisis de variancia del DCA para tasa de crecimiento	82
Anexo 28. Experimento IV: Pesos iniciales, pesos finales y consumo de alimento .	83
Anexo 29 Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para biomasa inicial ..	84
Anexo 30. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para biomasa final....	84
Anexo 31. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para ganancia de biomasa	84
Anexo 32. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para peso inicial	85

Anexo 33. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para peso final.....	85
Anexo 34. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para ganancia de peso	85
Anexo 35. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para consumo.....	86
Anexo 36. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para conversión alimenticia	86
Anexo 37. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para talla inicial.....	86
Anexo 38. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para talla final.....	87
Anexo 39. Experimento IV: Análisis de variancia del DCA para ganancia de talla	87
Anexo 40. Diagrama del laboratorio de investigación en nutrición y alimentación de peces y crustáceos.	88
Anexo 41. Matriz de composición de ingredientes.....	89

RESUMEN

Se realizaron cuatro estudios en el paiche (*Arapaima gigas*) con el objetivo de conocer la digestibilidad de la materia seca, grasa, proteína y energía bruta de ingredientes proteicos y energéticos, (Estudio I); la respuesta productiva de dietas con reemplazo de la harina de pescado prime por torta de soya, (Estudio II); el requerimiento de proteína digestible (Estudio III) y el requerimiento de energía digestible, (Estudio IV). En el estudio de digestibilidad se utilizó el método indirecto con marcador inerte de óxido crómico (0.5%) y el reemplazo de 30% de la dieta de referencia por cada uno de los ingredientes de prueba proteicos, 40% en el caso de los ingredientes energéticos, y 8% de reemplazo en el aceite de soya. Para determinar el requerimiento de proteína digestible y energía digestible, se utilizaron dos métodos, el empírico de dosis-respuesta, considerando los parámetros de medición ganancia de peso y eficiencia de utilización del alimento, cuyos resultados se evaluaron estadísticamente utilizando el análisis de varianza (ANOVA), de la línea quebrada y de regresión polinomial de segundo orden. El segundo método utilizando el enfoque factorial para conocer el requerimiento de proteína y energía digestible para el mantenimiento y el crecimiento. Los resultados obtenidos corresponden a valores mayores en los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para la harina de pescado, comparados con torta de soya siendo inferior para la harinilla de trigo. El aporte de energía digestible encontrado para la harina de pescado fue de 4.34 Mcal /kg, torta de soya de 3.67, harinilla de trigo de 2.24 y aceite de soya de 9.19 Mcal/kg, en base seca. El requerimiento de proteína digestible y total, obtenido por regresión polinomial de segundo orden fue 47% y 52%, respectivamente. El requerimiento de energía digestible determinado fue de 4.94 Mcal/kg de alimento, con $R^2 = 0.98$. La relación óptima de PT: ED y de PD: ED para promover el crecimiento y uso eficiente del alimento fue de 105 y 95 g/Mcal respectivamente. Las ecuaciones obtenidas por el enfoque factorial para estimar el requerimiento de proteína y energía digestible para el mantenimiento y el crecimiento fueron: $P = 1.0409W^{0.80} + 0.3404 G$ y $ED = 12.9272 W^{0.80} + 3.4604 G$.

Palabras Claves: Digestibilidad, requerimiento, dosis-respuesta, análisis de variancia, línea quebrada, regresión polinomial de segundo orden, paiche.

ABSTRACT

Four studies with paiche (*Arapaima gigas*) were conducted to determine the digestibility of dry matter, fat, protein, and gross energy of protein and energy ingredients, (Study I); the productive response of diets with replacement of prime fish meal by soybean meal (Study II); the digestible protein requirement (Study III); and the digestible energy requirement (Study IV). The digestibility study used the indirect method with chromic oxide as the inert marker (0.5%) and the replacement of 30% of the reference diet by each of the protein test ingredients, 40% in the case of the energy ingredients, and 8% replacement of the soybean oil. To determine the digestible protein and digestible energy requirements, two methods were used, the empirical dose-response method, considering weight gain and feed efficiency as measurement parameters, whose results were statistically evaluated using analysis of variance (ANOVA), broken line and second order polynomial regression. The second method used was the factorial approach to know the protein and digestible energy requirement for maintenance and growth. The results obtained showed higher apparent digestibility coefficients (ADC) for fish meal, compared to soybean meal and lower for wheat meal. The digestible energy intake found for fish meal was 4.34 Mcal/kg, soybean meal 3.67, wheat middlings 2.24 and soybean oil 9.19 Mcal/kg, on a dry basis. The digestible and total protein requirement, obtained by second order polynomial regression, was 47% and 52%, respectively. The digestible energy requirement determined was 4.94 Mcal/kg of feed, with $R^2 = 0.98$. The optimal PT: ED and PD: ED ratios to promote growth and efficient feed use were 105 and 95 g/Mcal, respectively. The equations obtained by the factorial approach to estimate protein and digestible energy requirement for maintenance and growth were: $P = 1.0409W^{0.80} + 0.3404 G$ and $ED = 12.9272 W^{0.80} + 3.4604 G$.

Key words: Digestibility, requirement, dose-response, analysis of variance, broken line, second order polynomial regression, paiche.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura a nivel global tiene un crecimiento exponencial, alcanzando en el año 2020, un récord de 122,6 millones de toneladas, correspondiendo el 77% a los animales acuáticos. Para 2030 la producción aumentará en un 15% (FAO, 2022), lo que demandará de alimento balanceado en mayor proporción. A nivel nacional la acuicultura de truchas ha crecido en forma sostenida, sin embargo el cultivo de peces amazónicos no ha seguido el mismo ritmo, destacando la producción en el año 2021 de paco, gamitana y sábalo frente al paiche, con cantidades producidas en toneladas por año de 2,694, 852, 420 y 81 toneladas, respectivamente (Ministerio de la Producción, 2022), siendo una de las limitaciones la disponibilidad de un alimento balanceado que aporte los nutrientes adecuados para lograr una actividad productiva eficiente, rentable y sostenible.

El paiche (*Arapaima gigas*) es considerado la especie carnívora de mayor potencial para el desarrollo de la piscicultura amazónica, debido a su rusticidad, su adaptación al manejo, rápido crecimiento logrando pesos de 10 a 12 kg en un año, alta densidad de cultivo, alta tolerancia al manipuleo y su adaptación al alimento balanceado (Alcántara et al, 2006).

Para optimizar la actividad productiva del paiche de acorde a su potencial genético, se requiere de un alimento balanceado con el aporte de nutrientes necesarios para generar máxima respuesta productiva, la reducción de los costos y la mejora de la rentabilidad de los piscicultores, siendo necesario conocer el valor nutritivo real de los ingredientes, las exigencias nutricionales, el manejo del medio acuático referido a la temperatura, nivel de oxígeno, entre otros. El mayor obstáculo para su desarrollo es el alto costo de alimentación debido al uso de alimentos genéricos.

La realización de esta investigación nos proveerá de información para conocer el valor nutritivo de los ingredientes, el contenido de energía digestible, la digestibilidad de los nutrientes y requerimientos, lo que permitirá determinar el nivel de uso en las fórmulas de los diferentes alimentos, y reducir el contenido de excretas, evitando la contaminación

del ecosistema acuático contribuyendo con información a las plantas de alimentos balanceados para la elaboración de alimentos eficientes para la especie estudiada y que garanticen mayores beneficios a los piscicultores.

En la literatura existen pocos trabajos de investigación publicados sobre el requerimiento de proteína y energía para las diferentes etapas de desarrollo del paiche y en los pocos trabajos que se han encontrado los resultados son inconsistentes. También poco se ha estudiado el valor nutritivo de los principales ingredientes que son fuentes de proteína, aminoácidos, energía digestible, vitaminas y minerales.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la digestibilidad de la energía y nutrientes de ingredientes en el paiche y el requerimiento de proteína y energía digestibles, utilizando el método empírico de dosis-respuesta y el método factorial.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El Paiche

El paiche (*Arapaima gigas*), pertenece a la familia arapaimidae, género arapaima y a la especie gigas. Pez nativo distribuido en la cuenca del Amazonas de Perú, Brasil y Colombia, habita en los ríos con poca corriente de agua en lagos y cochas (IIAP, 2017). Es uno de los peces de agua dulce de mayor tamaño, llegando a medir hasta 3 m de longitud total y con un peso de 200kg (Campos, 2001). Su rápido crecimiento en promedio de 10 kg/año (Imbiriba, 2001), alto rendimiento en filete de más de 57%, de buen sabor, color y textura, general gran demanda en el mercado nacional e internacional (IIAP, 2017). El paiche es un pez carnívoro, se alimenta, principalmente, de peces vivos pequeños como la carachama, en proporción de 3 a 5% de su peso vivo y en condiciones de cultivo acepta alimentos balanceados. Su carne, carece de huesos intermusculares, tiene buena textura, es de color blanco, de sabor agradable, por lo que tiene un gran potencial para obtener productos con valor agregado (Alcántara et al., 2006).

Presenta un color castaño claro en el dorso y ligeramente blanquecino en las regiones lateral y ventral. En época de reproducción, el macho cambia esta coloración blanquecina por un color rojo en la región inferior de la cabeza y lateral del cuerpo y cola, la hembra presenta una coloración de menor intensidad. La cabeza es relativamente pequeña en relación al tamaño del cuerpo, y representa el 10% del peso total. La boca es grande, de posición superior y oblicua, provista de dientes pequeños y numerosos, lengua grande y de naturaleza ósea. Las agallas son pequeñas, siéndole necesario salir a la superficie para captar aire atmosférico, a través de una vejiga especializada, adherida a la columna vertebral que comunica directamente al esófago por medio de una válvula de control voluntario. El tubo digestivo es corto, el estómago en forma de V, con dos ciegos pilóricos grandes, el intestino delgado y grueso se distinguen por el contenido líquido en el primero y sólido en el segundo (Alcántara et al., 2006).

2.2 Métodos para determinar el requerimiento de nutrientes en peces

El requerimiento de nutrientes en los peces se determina utilizando dos métodos: Empírico (Dosis-respuesta) y Factorial.

2.2.1 Método empírico (Dosis – Respuesta)

Se determina aumentando niveles graduales de un nutriente específico (dosis) a una dieta basal que contiene un nivel deficiente de este nutriente, posteriormente se mide el crecimiento, la eficiencia alimenticia u otras variables (respuesta) en un periodo de tiempo determinado, luego se examina la relación dosis-respuesta utilizando diferentes métodos, se estima el requerimiento de nutrientes a partir del nivel que produce la respuesta máxima (NRC, 2011).

Los parámetros de respuesta más utilizados son la ganancia de peso y la eficiencia alimentaria, que permiten un tamaño de muestra adecuado para la evaluación de un modelo (Hernández-llamas, 2009).

En una reevaluación de los resultados de varios estudios realizado por Shearer (2000), utilizando la regresión, encontró que muchos subestiman el requerimiento de nutrientes, posiblemente debido al uso de métodos estadísticos inapropiados para examinar la relación dosis-respuesta, así como la elección del diseño experimental, la selección de datos, la mala elección del modelo o el tiempo corto de evaluación.

La estimación cuantitativa de los requerimientos de nutrientes ha seguido procedimientos estadísticos que incluyen desde el análisis de varianza (ANOVA), modelos lineales discontinuos o de la línea quebrada, la regresión no lineal y modelos cinéticos lineales. El análisis de regresión se prefiere antes que al ANOVA, o análisis de línea discontinua, debido a que estos subestiman el requerimiento de nutrientes (NRC, 2011; Shearer, 2000; Briones, 2018; Miranda, 2018; Marchán, 2019).

a. El Modelo de la Línea Quebrada

El modelo de la línea quebrada ha sido el método más utilizado para evaluar los datos obtenidos mediante la técnica de dosis- respuesta en estudios de requerimientos en especies acuáticas. Modelo que supone la respuesta de crecimiento por el aumento en la ingestión de un nutriente limitante indispensable proveniente del alimento, aumentará linealmente hasta cubrir el requerimiento, después no habrá aumento en la respuesta o se observará una respuesta negativa, el punto de quiebre corresponde al requerimiento de nutriente o energía, o al nivel mínimo que produce la respuesta máxima (NRC, 2011).

La principal crítica a la línea quebrada o discontinua es que, si bien describe adecuadamente la respuesta del pez, por el incremento gradual de nutrientes, es inadecuado porque supone un cambio abrupto y realista en la meseta, cuando realmente ocurre una transición suave, subestimando generalmente las necesidades de nutrientes o energía (NRC, 2011). Este modelo se ha utilizado con frecuencia junto con ANOVA, para el lado izquierdo de la curva de respuesta, que dan resultados significativos. Sin embargo, en la sección de la meseta no se observan resultados significativos (Hernández-Llamas, 2009).

b. Modelos no Lineales

Los modelos no lineales se basan en el principio biológico de la “ley de los rendimientos decrecientes”, en donde la ganancia de peso alcanza el máximo, luego disminuye significativamente. Se recomiendan los modelos exponenciales y sigmoideas (NRC, 2011).

Es fundamental que se considere el diseño experimental, específicamente el rango de concentraciones de nutrientes bajo evaluación. Si hay un rango muy amplio en la concentración dietética, desde extremadamente deficiente hasta inhibición clara, entonces el modelo cinético de saturación (SKM) con inhibición parece ser el enfoque más apropiado. Sin embargo, la mayoría de los estudios de requerimientos de nutrientes que se han publicado raramente incluyen concentraciones extremadamente altas del nutriente investigado en el diseño experimental (NRC, 2011).

Modelo exponencial

Se define como un incremento decreciente en la respuesta (ganancia de peso), a medida que se agregan incrementos iguales del nutriente dietético cerca del nivel donde se alcanza la ganancia máxima. En niveles deficientes, los primeros niveles de suplementación del nutriente limitante, dará como resultado un aumento significativo en el rendimiento (respuesta lineal), los efectos disminuirán progresivamente con mayores niveles de suplementación, disminuyendo progresivamente la pendiente de la curva, hasta que no se produzca un aumento en la respuesta de la curva. El requerimiento estimado a partir de curvas no lineales se calcula como el nivel de nutrientes requerido para alcanzar el 95% de la respuesta máxima (NRC, 2011). El modelo exponencial derivado de Rodehustscord et al. (1995) es:

$$Y = Y_{\max} (1 - e^{-b(x-c)})$$

Donde:

Y_{\max} : es la meseta de la curva (asíntota superior)

b: es el parámetro que describe la pendiente de la curva

c: es x a $y=0$

Modelo sigmoidal

El modelo de respuesta sigmoidal consta de cuatro parámetros para describir la forma sigmoidal de la curva de respuesta. Mercer et al. (1989), definieron las secciones de la curva de respuesta como umbral, deficiente, adecuada y óptima. Incluyendo posteriormente una constante de inhibición para el desarrollo del Modelo Cinético de Saturación (SKM). El modelo sigmoidal derivado de Gahl et al. (1991) es:

$$Y = \frac{Y_{\max} + (d(1+m) - Y_{\max})e^{-kx}}{1 + m e^{-kx}}$$

Donde:

Y_{\max} : es la meseta de la curva (asíntota superior)

d: es el intercepto de eje y

k: parámetro de escala para x

m: es el parámetro de modelado que ubica el punto de inflexión

Este enfoque es adecuado para las investigaciones en la que los ingredientes impiden la formulación de dietas que contienen niveles muy deficientes del nutriente en evaluación. El enfoque sigmoideal es favorable frente al enfoque exponencial, cuando la concentración dietética del nutriente varía de muy deficiente a muy por encima del nivel óptimo, porque se describe mejor la parte lineal o casi lineal de la sección ascendente de la curva de respuesta. Si el nutriente se evalúa dentro de un rango restringido, el uso del enfoque exponencial simple, de fácil interpretación sería el recomendado (NRC, 2011).

Modelo polinomial cuadrático

El modelo describe la relación conocida como producto marginal decreciente, el aumento de la concentración del nutriente en la dieta tiene una contribución en la variable respuesta, que va disminuyendo a medida que se va alcanzando el máximo biológico, y posteriormente una disminución en el rendimiento cuando se alcanza la toxicidad. La adición de unidades extra del nutriente por encima del requerimiento disminuye la respuesta (Pesti, 2009). Los niveles máximos de rendimiento, o mínimos como la conversión de alimento, son fáciles de determinar. El modelo es el siguiente:

$$Y = a + bX + c X^2$$

Donde Y, es la respuesta animal, X es la concentración del nutriente en el alimento y a, b, c son constantes de la ecuación.

El modelado matemático en nutrición animal proporciona una herramienta útil en el desarrollo de alimentación práctica para predecir los requerimientos de nutrientes, la composición corporal y el crecimiento.

2.2.2 Método factorial

El enfoque factorial o bioenergético para determinar las necesidades de energía, proteína y otros nutrientes de los peces, es la suma de las necesidades divididas para las funciones de mantenimiento y el crecimiento. Las necesidades de mantenimiento dependen en gran medida del tamaño y la temperatura del cuerpo, mientras que las necesidades de crecimiento están determinadas por la cantidad y composición del aumento de peso

(Lupatsch et al., 1998). Los beneficios del enfoque factorial son que los requerimientos no se expresan como un porcentaje del alimento, sino en términos de requerimientos absolutos diarios de alimento por unidad de peso y por aumento de peso.

Este enfoque propuesto se basó en el argumento de que los requisitos de nutrientes derivados de este modelo tendrían una aplicabilidad más amplia que los requisitos generados a partir de una variedad de otros enfoques empíricos. Un modelo factorial requiere la determinación de los exponentes del peso metabólico, la digestibilidad de los alimentos, los requisitos de mantenimiento y la estimación de la eficiencia de retención del nutriente y energía (NRC, 2011).

2.3 Necesidades de nutrientes del Paiche

2.3.1 Necesidades de Proteína y Aminoácidos

Las proteínas son compuestos orgánicos formado por unidades estructurales que son los aminoácidos, unidos por enlaces peptídicos covalentes formando cadenas lineales de dos o más péptidos. Cumplen funciones estructurales en los músculos, tendones, ligamentos, órganos, huesos, tales como la miosina y el colágeno. También participan en el metabolismo, catalizando reacciones bioquímicas como las enzimas, o como transportadores que facilitan el flujo de moléculas a través de las células, existen proteínas que participan en la respuesta inmunitaria, y en la señalización celular (NRC, 2011).

Los aminoácidos son moléculas que contienen grupos funcionales amina y carboxilo, los más abundantes son los L-a-aminoácidos, en los que los grupos amino y carboxilo están unidos al mismo átomo de carbono. Los aminoácidos que un organismo no puede sintetizar por sí mismo (o es incapaz de sintetizar cantidades suficientes) se denominan "aminoácidos esenciales" Por el contrario, los aminoácidos no esenciales (NEAA) se pueden sintetizar a partir de precursores, por ejemplo mediante la adición de un grupo amino a un intermedio del ciclo del ácido tricarboxílico (TCA), como el α -cetoglutarato o el oxaloacetato Los aminoácidos son importantes en muchas otras moléculas biológicas, como formar parte de coenzimas, precursores de la biosíntesis de moléculas estructurales, intermediarios metabólicos y neurotransmisores, hormonas, serotonina, melanina, óxido

nítrico e histamina importantes en la respuesta del organismo a diferentes estímulos (NRC, 2011).

El requerimiento de proteínas en los peces corresponde a los requerimientos cada vez más conocidos de aminoácidos esenciales específicos y a una necesidad no específica de grupos amino (nitrógeno no específico) para la síntesis de aminoácidos no esenciales, así como la contribución de los aminoácidos para satisfacer la energía y otras necesidades metabólicas (NRC, 2011).

En la literatura existen pocos trabajos de investigaciones y aún existen carencia de estudios sobre los requerimientos de proteína y aminoácidos para las diferentes etapas de desarrollo del paiche, de forma que se puedan desarrollar alimentos balanceados cumpliendo con todos los requerimientos. Del Risco et al. (2008), evaluando dietas con niveles de 35, 40 y 45 % de proteína bruta, concluyeron que el nivel de 40% de PB, es el nivel de proteína más adecuado para la alimentación de juveniles de paiche, por mostrar mayor crecimiento. Mientras que López (2017), reportó que el nivel de proteína de 44% en dietas peletizadas de alevines de paiche, permite mejor crecimiento y eficiencia de uso del alimento, comparado con el nivel de 40%.

Niveles mayores de proteína requerida en dietas peletizadas para paiche en la etapa de juvenil, fueron reportados por Ituassú et al. (2005), quienes evaluando niveles de proteína de 32.7%, 39.3%, 43.4% y 48.6%, después de 45 días, utilizando la regresión polinomial, encontraron que el nivel de 48.6% es la requerida para producir el máximo crecimiento. Por otro lado, Guevara (2022), comparando dietas extrusadas con niveles de 45 y 50% de proteína bruta, en juveniles de paiche, encontró mejor respuesta en crecimiento y eficiencia alimenticia en los peces alimentados con la dieta conteniendo 50% de proteína.

En relación al requerimiento de aminoácidos esenciales (AAE) para el paiche, Orosco (2022), estimó el requerimiento de aminoácidos, utilizando el perfil de aminoácidos esenciales del músculo en juveniles de paiche, siendo los valores recomendados en g/16gN para Arginina de 6.77, Histidina 1.03, Isoleucina 2.47, Leucina 4.35, Lisina 5, Metionina + Cistina 2.16, Treonina 1.39, Triptófano 0.43, y Valina 2.11.

2.3.2 Necesidades de energía digestible

Algunos componentes del alimento resistentes a la digestión pasan a través del tracto digestivo y son eliminados como materia fecal, el contenido de energía bruta de las heces se conoce como energía fecal y representa alrededor de 15-30% de la energía ingerida. La energía digestible (ED) resulta de la diferencia entre la energía bruta y la energía fecal. En peces la energía digestible es un mejor estimador de los niveles de energía disponible que los valores de energía bruta. La variación en la digestibilidad de los componentes de la dieta constituye un factor principal que afecta la variación en su utilidad como fuente de energía. Los peces ajustan el consumo de alimento en relación a la energía digestible para ingerir cantidades suficientes de nutrientes digestibles que les permitan cumplir con el crecimiento y composición corporal (NRC, 2011).

2.3.3 Relación de proteína digestible a energía digestible

Los aminoácidos juegan un rol importante en el complemento de los requisitos energéticos, son combustibles metabólicos eficientes para la mayoría de las especies de peces y crustáceos. El uso recomendado de los lípidos y carbohidratos que producen energía presente en cantidades adecuadas evitan el catabolismo de los aminoácidos en la dieta, generando un ahorro de las proteínas. La proporción de proteína digestible (PD) a energía digestible (ED) es la forma más racional de expresar el requerimiento de proteína de la dieta (NRC, 2011).

Para maximizar el uso de la proteína, la relación de PD/ED debe ser adecuado para evitar el uso de los aminoácidos como fuente de energía, el exceso de ED reducirá la ingestión de alimento y nutrientes, afectando su crecimiento. La relación óptima de PD/ED, está influenciada por el potencial de crecimiento de los peces, el tamaño y el consumo de alimento (Lupatsch et al., 2001). El aumento del contenido de lípidos de la dieta, reduce el catabolismo de los aminoácidos. La disminución en la proporción de proteína digestible a energía digestible, mediante la reducción de los niveles de proteína digestible del alimento, mejora la eficiencia de utilización de la proteína, reduciendo la pérdida de proteína. La relación óptima de PD/ED en la mayoría de los peces, se encuentra en el rango de 84 y 105 g PD/Mcal ED (NRC, 2011).

Trabajos realizados por López (2017) en alevines de paiche, encontró la relación óptima de energía digestible por gramo de proteína de 9, utilizando dietas de 44% de proteína. Mientras que Guevara (2022) con dietas de mayor nivel de proteína, en alevines de paiche, reportó la relación óptima de 8.5, para dietas con 50% de proteína. La relación PD/ED, puede influir en los coeficientes de digestibilidad, Ono et al. (2008), evaluaron dietas con relaciones de 11 a 8 g. de proteína por kilocaloría de ED, observando una reducción de los coeficientes de digestibilidad de la materia seca de 68 a 64%.

2.4 Digestibilidad de Nutrientes y Energía

El término "digestibilidad" se refiere a la cantidad o proporción de nutrientes, como la proteína cruda de un alimento, que desaparece a medida que pasa por el sistema digestivo y no se excreta en las heces. En consecuencia, la digestibilidad es principalmente una medida de la absorción de nutrientes. Se supone que los nutrientes digeridos están disponibles para el organismo para su crecimiento y metabolismo. La digestibilidad es el término utilizado para los nutrientes que están sujetos al proceso digestivo, como las proteínas que se hidrolizan a aminoácidos antes de la absorción (NRC, 2011).

Evaluaciones realizadas en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos, Departamento Académico de Nutrición, con el propósito de conocer la digestibilidad de nutrientes y el aporte de energía digestible de algunos ingredientes en el paiche, como la harina de pescado (Rivadeneira, 2019) indican valores encontrados para materia seca de 84.81%, extracto etéreo de 91.14, proteína de 92.03, y energía bruta de 92.92, con el aporte de energía digestible de 4532 Kcal/ Kg., demostrando la alta eficiencia del paiche para digerir los nutrientes de la harina de pescado. Otros ingredientes subproductos vegetales fuentes de carbohidratos como la harinilla de trigo y polvillo de arroz, mostraron menor digestibilidad de la materia seca, de 43.25% para harinilla de trigo y 52.18 % para polvillo de arroz, mayor contenido de energía digestible para polvillo de arroz de 3270 Kcal/ Kg. y de 2110Kcal/Kg. para harinilla de trigo, debido al alto contenido de aceite en el polvillo de arroz (Benito, 2022). Dentro de los ingredientes energéticos locales como la grasa de palma, Sinsaya (2020), encontró el valor de digestibilidad de 70.67%, siendo el contenido de energía digestible de 7830 Kcal/Kg.

2.4.1 Métodos para determinar la Digestibilidad

Para determinar la digestibilidad de alimentos e ingredientes en peces se requiere la recolección del material fecal, después de la alimentación con alimentos que contienen ingredientes como un componente de la dieta, se utilizan métodos directos e indirectos.

a. Método directo

Consiste en alimentar con una cantidad medida de alimento y recolectar todas las heces resultantes de esa alimentación, la recolección total de las heces en animales acuáticos no es posible, ya que es difícil asegurar la recolección separada de la materia fecal expulsada de las partículas del alimento no consumidas y la excreción urinaria y branquial (NRC, 2011).

b. Método indirecto

Este método se basa en la recolección de una muestra representativa de heces en una columna de sedimentación que no contenga partículas de alimento no consumidas y el uso de un indicador inerte, indigerible no tóxico, que pasa a través del tracto digestivo al mismo ritmo que los alimentos, no se absorbe y aparece en las heces, como el óxido de cromo, agregado al alimento. La digestibilidad de los nutrientes se estima en base a la concentración relativa del indicador en las heces en comparación con el nivel presente en el alimento.

El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de los nutrientes en los alimentos se calcula usando la concentración del marcador indirecto (óxido crómico) en el alimento y las heces usando la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA): } 1 - \frac{\text{Cr2O3 en el alimento}}{\text{Cr2O3 en heces}}$$

El coeficiente de digestibilidad aparente de un nutriente específico, o energía en los alimentos se puede calcular de la siguiente manera:

Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA):

$$1 - \frac{\text{Cr2O3 en el alimento}}{\text{Cr2O3 en heces}} \times \frac{\text{Nutriente en heces}}{\text{Nutriente en el alimento}}$$

Las pérdidas fecales que no se originan directamente de los alimentos ingeridos sino provienen del propio animal, se denominan pérdidas intestinales endógenas. Los valores obtenidos mediante el método indirecto que no se corrigen para las pérdidas intestinales endógenas se conocen como “coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)”, cuantificando las pérdidas intestinales endógenas se obtiene la “digestibilidad verdadera”. El uso de dietas de referencia y de prueba con el aporte nutricional equilibrado, permite que los peces muestren un alto consumo de alimento y una tasa de crecimiento adecuado, contribuyendo a la medición de valores de digestibilidad aparente que son confiables y repetibles. Debido a que los ingredientes no se pueden administrar solos, se combinan con las dietas basales (dieta de referencia), generalmente en una proporción de 70:30%. Los peces se alimentan en los acuarios a una hora establecida al final del día, los tanques y las columnas de recolección se limpian para garantizar que no quede alimento, y las heces se acumulan durante la noche y se colectan por la mañana (NRC, 2011).

Para determinar los coeficientes de digestibilidad aparente, se requiere la concentración de nutrientes en los ingredientes, las concentraciones del indicador inerte en el alimento y las heces, y los valores de CDA de la dieta de referencia. Los cálculos se realizan en base al peso seco de las muestras de alimento como de las heces. La ecuación matemática para medir los CDA, fue revisada y modificada por Bureau y Hua (2006):

$$\text{ADC}_{\text{ingrediente prueba}} = \text{ADC}_{\text{dieta prueba}} + [(\text{ADC}_{\text{dieta prueba}} - \text{ADC}_{\text{dieta de referencia}}) \times (0.7 \times \text{D}_{\text{ref}} / 0.3 \times \text{D}_{\text{ingr}})]$$

Donde:

D_{ref} : % de nutriente o energía bruta de la dieta de referencia

D_{ingr} : % de nutriente o energía bruta del ingrediente prueba

2.4.2 Factores que afectan la digestibilidad

Los factores que afectan la digestibilidad son el consumo de alimento, el tamaño de los peces, la temperatura del agua, el procesamiento de los alimentos. El consumo de alimento por debajo del nivel para mantener un crecimiento adecuado, el mayor tamaño del pez disminuye las eficiencias digestivas y de absorción. El aumento de temperatura del agua, mejora el CDA de la proteína y energía; a medida que disminuye la temperatura del agua, también disminuye el nivel de alimentación, lo que aumenta la proporción de nitrógeno y energía en las heces de las pérdidas endógenas (NRC, 2011).

La tecnología de manufactura por extrusión aumenta el CDA de la energía, debido a los efectos positivos en la gelatinización del almidón, sin efecto sobre la digestibilidad de la proteína (Booth et al., 2010), y es dependiente de los ingredientes que componen el alimento.

2.4.3 Digestibilidad de la Proteína, energía, carbohidratos y fibra

Las proteínas se hidrolizan en aminoácidos libres para su absorción, la digestibilidad depende en gran medida del tipo de proteína, enlaces disulfuro, o entre aminoácidos y otros compuestos como azúcares. Las proteínas como el colágeno, las plumas y las escamas contienen más enlaces disulfuro que las proteínas solubles como la albúmina, siendo más difíciles de digerir. Las proteínas vegetales generalmente están recubiertas de almidón, lo que impide la acción de las enzimas digestivas, el tratamiento térmico mejora la digestibilidad al reducir la actividad de los inhibidores de tripsina, el sobrecalentamiento produce cambios químicos en presencia de azúcares reductores como la glucosa que reducen la digestibilidad (NRC, 2011). La digestibilidad de la energía es la suma fraccionada de los valores de los coeficientes de digestibilidad aparente para proteínas, lípidos y carbohidratos en un ingrediente o alimento.

El almidón crudo es menos digerible que el almidón gelatinizado y este a su vez presenta menor CDA que los azúcares. La digestibilidad del almidón depende de la capacidad de digerir por la especie, la temperatura del agua, el tipo de cereal, el mayor contenido de amilopectina que amilosa de los cereales. El proceso de extrusión en las proteínas vegetales mejora la digestibilidad del almidón (Gaylor et al., 2009)

En relación a la fibra que incluye polisacáridos no amiláceos como la celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas, es indigerible para casi todas las especies de peces, a excepción de la carpa herbívora que produce celulasa en la hepatopáncreas (NRC, 2011).

Los lípidos como los triacilgliceroles, fosfolípidos, esfingolípido, ésteres de cera, y esteroides, compuesto por dos o tres ácidos grasos unidos a una cadena corta de carbono, su absorción depende de la hidrólisis de los ácidos grasos. El CDA disminuye con el aumento de la proporción de ácidos grasos saturados tanto en especies de aguas cálidas como de aguas frías. Los aceites son ricos en ácidos grasos poliinsaturados y presentan efecto sinérgico en el aumento de la digestibilidad de las grasas saturadas (NRC, 2011.; Hua y Bureau, 2009b).

2.4.4 Fuentes de proteína en las dietas experimentales

El perfil de aminoácidos del músculo de los peces está relacionado con el perfil de aminoácidos más adecuado en las dietas experimentales para estudios de requerimiento de nutrientes y digestibilidad (Furuya et al., 2004) Las dietas de los primeros estudios contenían mezclas de caseína, gelatina y aminoácidos para proporcionar un perfil de aminoácidos de la dieta, similar a la del huevo entero. Sin embargo, produce una reducción en el apetito de los peces, el aumento en su absorción reduce la eficiencia en la síntesis de proteína (Guillaume et al., 2004).

La harina de pescado constituye la fuente principal de nutrientes en la dieta de los peces, especialmente para las especies carnívoras; debido al perfil de aminoácidos similar a la de la proteína ideal para diferentes especies de peces, alta digestión de los nutrientes, y es palatable (Oliva-Teles et al., 2015) .Por otro lado, las proteínas vegetales se caracterizan por un perfil de aminoácidos inadecuado, menor digestibilidad, presencia de factores anti nutricionales y menos palatable (Oliva-Teles et al., 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de Ejecución

Las pruebas de alimentación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC) del Departamento Académico de Nutrición, Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La manufactura de las dietas experimentales se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, Facultad de Zootecnia.

Los análisis químico proximales de ingredientes, dietas y excretas se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA), Departamento Académico de Nutrición. La determinación de óxido crómico en dietas y excretas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, de la UNALM. El contenido de energía bruta de ingredientes, dietas y excretas en el Instituto de Investigación Nutricional (IIN).

3.2 Instalaciones y equipos

El Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos (LINAPC), está equipado con acuarios ubicados bajo un sistema de recirculación de agua, 2 acuarios de aclimatación de 120 litros de capacidad cada uno; 18 acuarios de 75 litros, para los ensayos de crecimiento y 9 acuarios de 55 litros tipo Guelph para los ensayos de digestibilidad, con facilidad para la colección de heces. El sistema de recirculación de agua permite el control de los parámetros de calidad de agua óptimos para la especie en evaluación y el manejo de los mismos para la alimentación a precisión, lo que permitió durante todo el experimento mantener la calidad del agua.

Se utilizó una balanza precisión de la marca RADWAD de 0.01 g de precisión con capacidad de 4500 g para obtener el peso individual del alevín en cada biometría realizada y también para pesar diariamente el alimento suministrado. Para el pesado de las heces se utilizó una balanza analítica de la marca RADWAG 0.1mg de precisión con capacidad de 220 g.

3.3. Parámetros de calidad del agua

La medición de los parámetros de calidad del agua tales como la temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y conductividad, se realizaron con lectura directa del equipo multiparametro de la marca HANNA modelo HI9829 dos veces al día, en la mañana y la tarde. Para la determinación de la dureza se utilizó el kit de tres reactivos LaMotte, el cual utiliza el valorador de lectura directa, que proporciona una lectura dentro del rango de 0-200 ppm, con una sensibilidad de 4 ppm. El amoníaco se determinó utilizando el kit de reactivos LaMotte y el medidor de amoníaco de la marca Hanna Instruments, el rango de medición es de 0.00 – 3.00 mg/L, con una precisión de 0.01 mg/L. La determinación de nitritos mediante el kit colorimétrico de tres reactivos de la marca Sera, el rango de medición es de 0.0 – 400.0 mg/L. Los parámetros de calidad del agua en el laboratorio se estandarizaron a una temperatura promedio de 27°C, oxígeno disuelto de 5.8 mg/L, pH de 6.80, la dureza de 146 ppm y el nitrógeno amoniacal de 0.2mg/L.

3.4 Etapas de la Investigación

La investigación se realizó en cuatro etapas: Estudio I, se realizó durante 12 semanas y se determinó la digestibilidad de nutrientes y energía digestible (ED) de la harina de pescado, torta de soya, torta de sacha inchi cruda, maíz amarillo, harinilla de trigo, aceite de soya, subproducto de aves y subproducto de trigo en paiche, mediante la determinación del coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) utilizando el método indirecto. Estudio II consistió en determinar la dieta de mejor respuesta en el paiche, para utilizar como la dieta de referencia, mediante el reemplazo de la harina de pescado por torta de soya, el periodo de evaluación fue de 8 semanas. El Estudio III, realizado durante 8 semanas, siendo el propósito determinar el requerimiento de proteína total y digestible del paiche, utilizando los valores de ED de los ingredientes del Estudio I. En el Estudio IV, se

determinó el requerimiento de energía digestible del paiche, con una duración de 8 semanas, utilizando los valores de ED de los ingredientes del Estudio I. y el nivel de proteína de las dietas que corresponden al requerimiento determinado en el estudio III.

3.5 Estudio I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes

3.5.1 Animales Experimentales

Para la prueba de digestibilidad se utilizaron 54 paiches con peso promedio de 154.75 gramos, talla promedio de 25.09 cm, provenientes de la selección de peces concluida el ensayo de crecimiento. Los peces fueron distribuidos al azar en 9 acuarios de digestibilidad en grupos de 3 peces cada uno, en dos ciclos de evaluación de 6 semanas cada uno.

3.5.2 Tratamientos

La Tabla 1 muestra las fórmulas de las dietas experimentales utilizadas. Se evaluaron nueve dietas, con tres repeticiones cada una, las cuales fueron las siguientes:

Tratamiento 1: Dieta de referencia, 99.5% de dieta comercial y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 2: Dieta de prueba, con 30% de harina de pescado, 69.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 3: Dieta de prueba, con 30% de torta de soya, 69.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 4: Dieta de prueba, con 30% de torta de sachá inchi crudo, 69.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 5: Dieta de prueba, con 30% de subproducto de aves, 69.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 6: Dieta de prueba, con 40% de maíz amarillo, 59.5% de la dieta referencia y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 7: Dieta de prueba, con 40% de harinilla de trigo, 59.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 8: Dieta de prueba, con 40% de subproducto de trigo, 59.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

Tratamiento 9: Dieta de prueba, con 8% de aceite de soya, 91.5% de la dieta referencia, y 0.5% de óxido de cromo (Cr₂O₃)

3.5.3 Dietas Experimentales

La dieta de referencia se formuló considerando un pez carnívoro, El óxido de cromo (Cr₂O₃) usado como un indicador inerte a una concentración de 0.5 %. Las dietas fueron peletizadas utilizando un molde de 3 mm de diámetro.

3.5.4 Análisis de Datos

a. Recolección de Heces

Durante el Estudio I, el alimento se ofreció dos veces al día, en la mañana 8:00 am. y en la tarde a las 5:00 pm, pellet a pellet para asegurar la ingestión total del mismo. Las dietas experimentales fueron suministradas durante cinco días sin realizar la colección de las heces, en el sexto día, una hora después de la última alimentación se limpiaron los acuarios con el fin de eliminar del sistema los residuos de alimento y heces. El día siguiente, a las 8:00 am, las heces sedimentadas fueron extraídas cuidadosamente del sistema de colección de heces, se pasaron a través de una malla de 100um para poder colocarlas en placas petri, posteriormente secadas en la estufa a 65°C por 6 horas , luego se congelaron y almacenaron para su envío al laboratorio. Este procedimiento fue repetido por 42 días para recolectar 25 gramos de heces secas por acuario aproximadamente.

b. Análisis de Laboratorio

Se realizó el análisis químico proximal para determinar el contenido de humedad, proteína y extracto etéreo de los ingredientes, dietas y heces por unidad experimental. Así mismo la energía bruta se cuantificó utilizando la bomba calorimétrica. Se determinó las concentraciones de óxido de cromo en las dietas y heces por el método AOAC (1990).

Tabla 1. Composición de la Dieta de Referencia y Valor Nutricional Calculado

INGREDIENTES	Dieta de Referencia
Harina de pescado prime, 66	31.84
Torta de soya, 47	19.90
Subproducto de aves	14.93
Harinilla de Trigo	28.26
Aceite de Soya	3.98
Premezcla acuicultura	0.20
Cloruro de Colina	0.10
Inhibidor de Hongos	0.10
Promotor de crecimiento	0.10
Ligante	0.07
Antioxidante	0.03
Oxido crómico	0.50
TOTAL	100
Materia seca, %	90.89
Proteína bruta, %	43.56
Fibra cruda, %	3.24
Grasa, %	10.58
Energía Digestible, Mcal/Kg.	3.86
Lisina, %	2.84
Metionina, %	0.95
Cistina, %	0.65
Arginina, %	2.75
Histidina, %	0.99
Isoleucina, %	2.00
Leucina, %	3.24
Fenilalanina, %	1.68
Tirosina, %	1.64
Treonina, %	1.79
Triptófano, %	0.49
Valina, %	2.49
Met+Cis, %	1.60
Fen+Tir, %	3.40
AG. Omega-3, %	1.48
AG. Omega-6, %	1.85
Fosforo total, %	1.52
Calcio, %	1.89
Sodio, %	0.50

c. Cálculo del Coeficiente de Digestibilidad Aparente de la Energía, Proteína, Lípidos y ELN

Las estimaciones del porcentaje de digestibilidad aparente se realizaron en base de la cantidad de heces en cada una de las réplicas colectadas durante 42 días. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para materia seca, proteína cruda, extracto etéreo y energía bruta, fueron determinados utilizando las ecuaciones descritas por NRC (2011).

$$CDA d = 1 - \frac{\%Cr2O3 d}{\% Cr2O3 h} \times \frac{\%Nh}{\%Nd}$$

Dónde:

CDA (d) = Coeficiente de digestibilidad aparente de las dietas

Cr2O3d = % de óxido de cromo en las dietas

Cr2O3h = % de óxido de cromo en las heces

Nd = concentración del componente en las dietas

Nh = concentración del componente en las heces

Determinar digestibilidad del ingrediente

$$CDA ing = CDA dp + ((CDA dp - CDA dr) \times (b \times Dr / a \times Ding))$$

Dónde:

CDA (ing) = Coeficiente de digestibilidad aparente del ingrediente prueba

CDA (dp) = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta prueba

CDA (dr) = Coeficiente de digestibilidad aparente de la dieta referencial

a = porcentaje del ingrediente prueba

b = porcentaje de la dieta referencial

Dr = porcentaje del nutriente o kcal/energía bruta de la dieta de referencia

Ding = porcentaje de nutriente o kcal/energía bruta del ingrediente

d. Cálculo de la Digestibilidad de los Nutrientes y Energía Digestible de los ingredientes

En base a los resultados obtenidos del análisis proximal de la harina de pescado, torta de soya, torta de sachá inchi cruda, maíz amarillo, harinilla de trigo, aceite de soya,

subproducto de aves y subproducto de trigo, se determinaron los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes (%). Resultado del producto entre la concentración en %, del nutriente en el ingrediente y su coeficiente de digestibilidad aparente, previamente calculado. Con la siguiente fórmula se encontraron la digestibilidad aparente de la materia seca, proteína, extracto etéreo (EE) y energía digestible.

$$D = (\% N) * (CDA \text{ ing})$$

Donde:

D: Valor obtenido de la energía digestible o digestibilidad de la proteína, EE del ingrediente

% N: Contenido de energía bruta o porcentaje de proteína o EE del ingrediente

CDA Ing.: coeficiente de digestibilidad aparente de la energía o nutrientes obtenidos en la prueba de digestibilidad.

3.6 Estudio II: Nivel adecuado de reemplazo de la harina de pescado por torta de soya

3.6.1 Animales Experimentales

Se recibieron 90 alevines de paiche de un peso promedio de 40 gramos, provenientes de la ciudad de Iquitos, ubicándose en dos acuarios de aclimatación la cantidad de 35 peces en cada uno. Después de 21 días los peces en número de 72, fueron seleccionados y distribuidos al azar en 12 acuarios de crecimiento en grupos de 6 peces por acuario y 4 acuarios por tratamiento (Anexo 39).

3.6.2 Tratamientos

La Tabla 2, muestra las fórmulas de las dietas experimentales utilizadas. Se evaluaron tres dietas isoproteicas (45% de proteína total) e isocalóricas (3.8 Mca.ED/Kg.), con reducción gradual de harina de pescado prime y el incremento de torta de soya:

Dieta 1: 47% harina de pescado premium, 20% torta de soya

Dieta 2: 37% harina de pescado premium, 40% torta de soya

Dieta 3: 26% harina de pescado premium, 60% torta de soya

3.6.3 Dietas Experimentales

Las fórmulas de las dietas experimentales siguieron las recomendaciones de Guevara (2022) y NRC (2011), ajustando el perfil de aminoácidos al nivel de proteína de 45%, con una relación de energía digestible a proteína total de 8.44 (Tabla 2).

La manufactura se realizó utilizando la tecnología de peletizado, los parámetros de proceso de 4 bar de presión, 70 grados de temperatura y tasa de proceso intermedio, el tamaño de pellet de 2mm de diámetro por 3 mm de longitud, fue necesario la molienda de la torta de soya al tamaño de partícula de 300 micrones, el tiempo de mezclado de los ingredientes de 5 minutos en un mezclador horizontal de paletas. Muestras representativas de las dietas se enviaron al laboratorio para determinar el contenido proximal de nutrientes (Tabla 2). Las dietas experimentales se suministraron a saciedad 4 veces al día, registrando las cantidades consumidas diariamente, información necesaria para calcular la conversión de alimento.

3.6.4 Biometría de los peces

En la biometría inicial, los alevines fueron uniformizados y distribuidos al azar en 12 acuarios (unidades experimentales) de 6 alevines por acuario. Las mediciones fueron dos veces, al inicio de la experimentación y al finalizar a las 8 semanas. Durante la biometría, los peces de cada acuario se colocaron en un recipiente con agua, previamente tarado, posteriormente se pesó cada uno de ellos con una balanza electrónica. Para la medición de la longitud del pez se utilizó un ictiómetro, la medida se tomó desde la boca hasta el punto medio de la aleta caudal, concluida la biometría, los peces retornaron a sus respectivos acuarios.

Tabla 2: Composición de las dietas experimentales y valor nutricional calculado

Ingredientes, %	Dietas experimentales		
	1	2	3
Harina de pescado prime, 66	47.00	37.00	26.00
Torta de soya, 47	20.00	40.00	60.00
Harinilla de Trigo	28.40	16.40	4.40
Aceite de Soya	4.00	6.00	9.00
Premezcla acuicultura	0.20	0.20	0.20
Cloruro de Colina	0.10	0.10	0.10
Inhibidor de Hongos	0.10	0.10	0.10
Promotor de crecimiento	0.10	0.10	0.10
Ligante	0.07	0.07	0.07
Antioxidante	0.03	0.03	0.03
Total	100	100	100
Materia seca, %	90.50	89.80	89.93
Proteína bruta, %	45.00	45.00	45.00
Fibra cruda, %	2.75	2.68	2.93
Grasa, %	10.00	11.80	10.00
Energía Digestible, Mcal/Kg.	3.80	3.80	3.80
Lisina, %	3.02	3.00	2.98
Metionina, %	0.94	0.84	0.75
Cistina, %	0.59	0.65	0.71
Arginina, %	2.80	3.00	3.20
Treonina, %	1.84	1.85	1.58
Triptófano, %	0.51	0.54	0.58
Valina, %	2.49	2.54	2.59
Met-Cis, %	1.53	1.47	1.44
AG. Omega-3, %	2.06	2.10	2.19
AG. Omega-6, %	2.27	3.49	4.85
Fosforo total, %	1.35	1.10	0.89
Calcio, %	1.50	1.14	1.00
Sodio, %	0.60	0.69	0.60

3.6.5 Parámetros de medición

a. Ganancia de Peso e Incremento de Talla

Para el presente experimento se registró el peso unitario y la talla de los peces de cada acuario al inicio al final del experimento.

$$\text{Ganancia peso} = \text{Peso final} - \text{Peso inicial}$$

$$\text{Incremento de Talla} = \text{Talla final} - \text{Talla inicial}$$

b. Ganancia de Biomasa

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

$$\text{GB} = \text{biomasa final} - \text{Biomasa inicial}$$

c. Consumo de Alimento

La cantidad de alimento ofrecido fue calculado considerando la biomasa total de peces por acuario, y la tasa de alimentación, comenzando con 8 por ciento de la biomasa, y se ajustó luego de cada biometría. Luego se pesó el alimento restante y por diferencia se determinó la cantidad de alimento consumido.

d. Conversión Alimentaria

La conversión alimenticia se determinó dividiendo el alimento consumido en el periodo de alimentación, entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$\text{Conversión alimentaria} = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Incremento de peso}}$$

e. Tasa de alimentación

Para el cálculo de la tasa de alimentación actual, se utilizaron los valores de consumo diario de alimento dividido por el peso.

Se determina por lo tanto a partir de la fórmula:

$$\text{Tasa de alimentación} = \frac{\text{Consumo diario de alimento}}{\text{Peso}} \times 100$$

3.6.6 Análisis de Datos

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos (niveles de inclusión de proteína de origen animal y vegetal) y 4 repeticiones para cada uno.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable respuesta que se obtiene de la unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición ($j=1, 2, 3, 4$)

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento i , siendo i = las diferentes dietas

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

El análisis de varianza mediante el procedimiento ANOVA y las diferencias significativas entre las medias clasificadas según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

3.7 Estudio III: Determinación del Requerimiento de Proteína

3.7.1. Metodología: Método empírico (Dosis-Respuesta)

Se evaluaron siete dietas experimentales isoenergéticas de 4.8 Mcal ED/Kg, con niveles crecientes de proteína bruta (PB) de 44 a 57%. La respuesta se determinó evaluando el comportamiento productivo de los peces, mediante los parámetros de ganancia de peso y conversión de alimento.

a. Animales Experimentales

Se utilizaron 122 alevines de paiche, distribuidos en veintiocho acuarios con cuatro peces cada uno. El peso promedio fue de $40.00 \pm 0.72\text{g}$

b. Tratamientos

Se establecieron 7 tratamientos, en la Tabla 3 se muestra las fórmulas utilizadas.

T1: Dieta con 44% de proteína bruta

T2: Dieta con 46% de proteína bruta

T3: Dieta con 48% de proteína bruta

T4: Dieta con 50% de proteína bruta

T5: Dieta con 52% de proteína bruta

T6: Dieta con 54% de proteína bruta

T7: Dieta con 57% de proteína bruta

c. Dietas Experimentales

Las siete dietas experimentales se obtuvieron utilizando la formulación al mínimo costo por programación lineal, se evaluaron siete niveles de Proteína bruta en dietas isoenergéticas, 4.8 Mcal/kg. En la preparación de las dietas se utilizaron ingredientes comerciales como harina de pescado prime, torta de soya, aceite de soya, harinilla de trigo y aditivos tales como antioxidantes y premezcla de vitaminas y minerales (Tabla 3).

d. Parámetros de evaluación

Ganancia de Peso e Incremento de Talla

Al inicio y al final del experimento se registró el peso unitario y la talla de los peces de cada acuario.

Ganancia peso = Peso final - Peso inicial

Incremento de Talla = Talla final- Talla inicial

Tabla 3: Fórmulas de las dietas experimentales (base fresca) y valor nutritivo calculado

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Proteína (%)	44%	46%	48%	50%	52%	54%	57%
ED (Mcal/Kg)	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
ED / PC	10.9	10.4	10	9.6	9.2	8.9	8.4
Ingredientes %							
Harina de pescado, 66	45.94	49.57	53.18	58.24	64.97	72.00	81.70
Torta de Soya,47	25.00	25.00	25.00	24.95	19.40	14.30	6.86
Aceite de soya	15.80	14.60	13.44	15.64	14.10	12.53	10.27
Harinilla Trigo	12.09	9.66	7.21	0.00	0.00	0.00	0.00
Ligante	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Aquapremezcla	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Probióticos	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Antioxidante	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Total	100	100	100	100	100	100	100
Valor Nutritivo, %							
Mat. Seca	91.83	91.78	91.74	92.10	92.03	91.96	91.80
Proteína	44.00	46.00	48.00	50.00	52.00	54.00	57.00
Fibra	1.92	1.85	1.77	1.44	1.33	1.21	1.04
Grasa	21.19	20.16	17.48	21.55	20.66	19.76	18.41
ED Paiche (Mcal/Kg)	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	48.00
Lisina	3.28	3.46	3.64	3.48	4.04	4.24	4.53
Metionina	1.13	1.20	1.27	1.36	1.46	1.57	1.72
Cistina	0.50	0.52	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
Arginina	2.82	2.94	3.06	3.17	3.25	3.32	3.43
Histidina	1.10	1.15	1.2	1.24	1.29	1.33	1.40
Isoleucina	2.08	2.18	2.28	2.39	2.48	2.60	2.75
Leucina	3.37	3.53	3.69	3.86	4.01	4.17	4.40
Fenilalanina	1.99	2.08	2.17	2.26	2.35	2.39	2.49
Tirosina	1.53	1.61	1.68	1.76	1.83	1.88	1.98
Treonina	1.87	1.96	2.05	2.15	2.24	2.35	2.49
Triptófano	0.55	0.58	0.6	0.62	0.65	0.66	0.68
Valina	2.34	2.45	2.56	2.68	2.78	2.89	3.04
Met. + Cist. %	1.62	1.71	1.79	1.90	1.97	2.10	2.26
Fen. + Tir %*	3.49	3.65	3.81	3.97	4.12	4.22	4.40
Ac. Gs. N-3 %	2.91	2.98	3.04	5.14	3.17	5.13	5.12
Ac. Gs. N-6 %	8.14	7.54	6.95	5.10	5.75	4.14	3.43
Fosf. Total %	1.40	1.46	1.53	1.59	1.66	1.85	2.05
Calcio %	1.80	1.93	2.06	2.24	2.33	2.62	3.08
Sodio %	0.52	0.56	0.6	0.64	0.67	0.79	0.90

Consumo de Alimento

La cantidad de alimento ofrecido fue calculado considerando la biomasa total de peces por acuario, y la tasa de alimentación, comenzando con 8 por ciento de la biomasa, y se ajustó luego de cada biometría. Luego se pesó el alimento restante y por diferencia se obtendrá la cantidad de alimento consumido.

Conversión Alimentaria

La conversión alimenticia se determinó dividiendo el alimento consumido en el periodo de alimentación, entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$\text{Conversión alimentaria} = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Incremento de peso}}$$

Tasa de Crecimiento

La tasa de crecimiento se obtendrá mediante la diferencia del peso final (W_t) y el peso inicial (W_0), dividido entre el tiempo de evaluación (t) (Ghunter & Boza, 1992).

$$\text{Tasa de Crecimiento} = \frac{W_t - W_0}{t}$$

Eficiencia de utilización del alimento.

La eficiencia alimenticia se determinó dividiendo la ganancia de peso entre el alimento consumido en el periodo de alimentación:

$$\text{Eficiencia de utilización del alimento} = \frac{\text{Incremento de peso}}{\text{Consumo de alimento}}$$

e. Análisis de Laboratorio

Con el análisis químico proximal de las dietas experimentales en el LENA se determinaron los contenidos de humedad (AOAC, 2005: 950.46); proteína total (AOAC, 2005: 984.13), grasa (AOAC, 2005: 2003.05), fibra cruda (AOAC, 2005: 962.09), ceniza (AOAC, 2005: 942.05) y extracto libre de nitrógeno por diferencia.

f. Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con siete tratamientos (niveles de Proteína) y 3 repeticiones para cada uno.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + e_{ik}$$

Dónde:

Y_{ik} = el valor observado del i-ésimo tratamiento y la k-ésima repetición

μ = media general

T_i = efecto del tratamiento i, siendo i = las diferentes dietas

e_{ik} = error aleatorio asociado a cada observación

El análisis de varianza se realizó aplicando el procedimiento ANOVA y las diferencias significativas entre las medias fueron clasificadas según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Para la determinación del requerimiento de proteína se utilizó el análisis de regresión teniendo como variable independiente el nivel de proteína de la dieta y como variables respuesta la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia. Se utilizaron las ecuaciones de regresión de la línea quebrada y polinomial planteados por Robbins et al. (2006) y Zeitoun et al. (1976), respectivamente.

Ecuación para el análisis de regresión línea quebrada:

$$y = \begin{cases} M & ; \text{ si } x > \text{requerimiento} \\ M - b \cdot (R - x) & ; \text{ si } x \leq \text{requerimiento} \end{cases}$$

Dónde:

y = ganancia de peso diaria (g) o conversión alimenticia.

x = valor PB del alimento (%)

M = es la ordenada en el punto de inflexión del modelo.

R = es la abscisa en el punto de inflexión del modelo.

b = pendiente

Ecuación para el análisis de regresión polinomial de segundo orden:

El punto máximo de la curva se obtuvo sacando la derivada e igualando a cero la ecuación.

La curva se caracteriza por tener un punto máximo único a lo largo de su rango que corresponde a la concentración del nutriente que produce la máxima respuesta.

La ecuación de la regresión polinomial de segundo orden es:

$$Y = B_0 + B_1X + B_2X^2$$

Dónde:

X = es la concentración del nutriente evaluado

B_{0,1 y 2} = Coeficientes de la regresión

Para el análisis estadístico se utilizó el Software Statistical Analysis System (SAS 1998).

3.7.2. Metodología: Método Factorial

Ecuación para el análisis de requerimiento mediante el enfoque factorial

La ecuación siguiente muestra los cálculos para la determinación del requerimiento de proteína utilizando el enfoque factorial (Burnell, y Allan, 2009)

$$PB = PB_m + PB_g$$

$$PB = aW^{0.80} + bG$$

PB: requerimiento de proteína bruta g/pez/día

a: Requerimiento proteico para mantenimiento (PB_m) por unidad de peso metabólico,

Kg/ W^{0.80} /día

b: Requerimiento proteico por gramo de peso ganado (PB_g)/ Kg W^{0.80}/día

W^{0.80}: peso metabólico, kg

G: ganancia de peso, g/día

Dividiendo todo entre $W^{0.80}$

$$PB/ W^{0.80} = a + b G/ W^{0.80}$$

$$bG/ W^{0.80} = -a + PB/ W^{0.80}$$

Ecuación de estimación a presentarse:

$$PB = aW^{0.80} + bG$$

Se realizó la regresión de la fórmula presentada para hallar “a” y “b” utilizando el Software Statistical Analysis System (SAS 1998).

3.8. Estudio IV: Determinación del Requerimiento de Energía

3.8.1. Metodología: Método Empírico (Dosis –respuesta)

Se evaluaron cinco dietas experimentales isoproteicas de 52% de proteína, con niveles crecientes de energía digestible de 4.4 a 5.2 Mcal/Kg. La respuesta se determinó evaluando el comportamiento productivo de los peces, mediante los parámetros de ganancia de peso y conversión de alimento.

a. Animales Experimentales

Se utilizaron 60 alevines de paiche con peso promedio de $169.81 \pm 19.26g$, distribuidos al azar en 20 acuarios de fibra de vidrio, de 65 L. (Unidades experimentales) a razón de tres peces cada uno y 4 acuarios por dieta experimental (Replicas).

b. Tratamientos

Se evaluaron cinco niveles de Energía Digestible en dietas isoproteicas de 52% de Proteína Bruta, teniendo como resultado los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1: 4.4 Mcal de Energía Digestible (ED)/ Kg.

Tratamiento 2: 4.6 Mcal ED/ Kg.

Tratamiento 3: 4.8 Mcal ED/ Kg.

Tratamiento 4: 5.0 Mcal ED/ Kg.

Tratamiento 5: 5.2 Mcal ED/ Kg.

c. Dietas Experimentales

Las cinco dietas experimentales se obtuvieron utilizando la formulación al mínimo costo por programación Lineal, la cual cubrió el requerimiento proteico de los paiches, utilizando la información obtenida en los estudios anteriores. En la preparación de la dieta de referencia se utilizaron insumos comerciales tales como harina de pescado, torta de soya, harinilla de trigo, aceite de soya, carbonato de calcio y premezcla de vitaminas y minerales (Tabla 4).

d. Parámetros de Evaluación

Ganancia de Peso

Al inicio y al final del experimento se registró el peso unitario de los peces de cada acuario.

Ganancia peso = Peso final - Peso inicial

Incremento de Talla = Talla final- Talla inicial

Consumo de Alimento

La cantidad de alimento ofrecido fue calculado considerando la biomasa total de peces por acuario, y la tasa de alimentación, comenzando con 8 por ciento de la biomasa, y se ajustó luego de cada biometría. Luego se pesó el alimento restante y por diferencia se encontró la cantidad de alimento consumido.

Tabla 4: Fórmulas de las dietas experimentales (base fresca) y valor nutritivo calculado

	T1	T2	T3	T4	T5
Energía Digestible (Mcal/ Kg.)	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2
Proteína Bruta (%)	52	52	52	52	52
Relación ED (Kcal ED): PB (g)	8.5	8.8	9.2	9.6	10
Ingredientes %					
Harina de pescado prime, 66	58.70	59.60	60.40	63.60	71.65
Torta de soya, 47	25.00	25.00	25.00	21.33	10.00
Aceite vegetal	5.90	8.50	11.08	13.90	17.18
Harinilla de trigo	9.23	5.73	2.35	0.00	0.00
Ligante	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Premezcla de minerales y vitaminas	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Promotor de crecimiento	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Antioxidante	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
TOTAL	100	100	100	100	100
Valor Nutritivo%					
Mat. Seca	91.10	91.37	91.65	91.95	92.33
Proteína	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00
Fibra	1.92	1.76	1.60	1.38	1.07
Grasa	12.44	14.96	17.48	20.46	24.46
ED Paiche (Mcal/Kg)	4.40	4.60	4.80	5.00	5.20
Lisina	3.94	3.97	3.99	4.02	4.10
Metionina	1.39	1.40	1.41	1.45	1.52
Cistina	0.58	0.57	0.57	0.56	0.53
Arginina	3.30	3.30	3.30	3.26	3.16
Histidina	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Isoleucina	2.47	2.48	2.48	2.49	2.50
Leucina	4.00	4.00	4.01	4.02	4.02
Fenilalanina	2.34	2.34	2.35	2.33	2.30
Tirosina	1.81	1.82	1.83	1.83	1.82
Treonina	2.22	2.23	2.24	2.25	2.27
Triptófano	0.65	0.65	0.65	0.64	0.63
Met. + Cist. %	1.95	1.96	1.97	1.99	2.04
Fen. + Tir %	4.11	4.12	4.12	4.11	4.04
Ac. Gs. N-3 %	2.75	2.96	3.17	3.49	4.04
Ac. Gs. N-6 %	3.11	4.43	5.75	7.19	8.89
Fosf. Total %	1.68	1.67	1.66	1.70	1.82
Calcio %	2.27	2.30	2.33	2.43	2.70
Sodio %	0.66	0.66	0.67	0.70	0.79

Conversión Alimentaria

La conversión alimenticia se determinó dividiendo el alimento consumido en el periodo de alimentación, entre la ganancia de peso en dicho periodo.

$$\text{Conversión alimentaria} = \frac{\text{Alimento consumido}}{\text{Incremento de peso}}$$

Eficiencia de utilización del alimento

La eficiencia alimenticia se determinó dividiendo la ganancia de peso entre el alimento consumido en el periodo de alimentación:

$$\text{Eficiencia de uso del alimento} = \frac{\text{Incremento de peso}}{\text{Consumo de alimento}}$$

e. Análisis de Laboratorio

Se realizó el análisis químico proximal para determinar los contenidos de humedad, proteína, lípidos, fibra, ceniza y extracto libre de nitrógeno de las dietas experimentales. Así mismo la energía bruta fue cuantificada utilizando la bomba calorimétrica.

f. Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos (niveles de Energía Digestible) y 3 repeticiones para cada uno.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + e_{ik}$$

Dónde:

Y_{ik} = el valor observado del i -ésimo tratamiento y la k -ésima repetición

μ = media general

T_i = efecto del tratamiento i , siendo i = las diferentes dietas

e_{ik} = error aleatorio asociado a cada observación

El análisis de varianza se realizó aplicando el procedimiento ANOVA y las diferencias significativas entre las medias fueron clasificadas según la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Para la determinación del requerimiento de energía se utilizó el análisis de regresión teniendo como variable independiente el nivel de energía digestible de la dieta y como variables respuesta la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia y la tasa de retención de energía y proteína. Se utilizaron las ecuaciones de regresión de la línea quebrada y polinomial planteados por Robbins et al. (2006) y Zeitoun et al. (1976), respectivamente.

Ecuación para el análisis de regresión línea quebrada:

$$y = \begin{cases} M & ; \text{ si } x > \text{requerimiento} \\ M - b \cdot (R - x) & ; \text{ si } x \leq \text{requerimiento} \end{cases}$$

Dónde:

y = ganancia de peso diaria (g) o conversión alimenticia.

x = valor ED del alimento (Kcal/Kg)

M = es la ordenada en el punto de inflexión del modelo.

R = es la abscisa en el punto de inflexión del modelo.

b = pendiente

Ecuación para el análisis de regresión polinomial de segundo orden:

El punto máximo de la curva se obtuvo sacando la derivada e igualando a cero la ecuación.

La curva se caracteriza por tener un punto máximo único a lo largo de su rango que corresponde a la concentración del nutriente que produce la máxima respuesta.

La ecuación de la regresión polinomial de segundo orden es:

$$Y = B_0 + B_1X + B_2X^2$$

Dónde:

X = es la concentración del nutriente evaluado

B_{0,1 y 2} = Coeficientes de la regresión

Para el análisis estadístico se utilizó el Software Statistical Analysis System (SAS 1998).

3.8.2 Metodología: Método Factorial

Ecuación para el análisis de requerimiento mediante el enfoque factorial:

El requerimiento total de energía es la suma de las necesidades energéticas requeridas para el mantenimiento y crecimiento. Los beneficios del enfoque factorial son que los requerimientos no se expresan como un porcentaje de la dieta, sino más bien en términos de consumo de alimento diario absoluto por unidad de peso y ganancia de peso (Lupatsch et al., 1998).

El enfoque conceptual para definir el requerimiento de energía es generalmente resumido como sigue:

$$ED = ED_m + ED_p$$

$$ED = aBW \text{ (kg)}^{0.80} + bG$$

ED: requerimiento de energía digestible kcal/pez/día

a: coeficiente que relaciona el peso metabólico con el requerimiento energético para mantenimiento kcal/BW(kg)/día

b: coeficiente que predicción de la eficiencia de utilización de energía para el crecimiento

BW: peso metabólico

G: ganancia de peso

Dividiendo todo entre $W^{0.80}$

$$ED/ W^{0.80} = a + b G/ W^{0.80}$$

$$bG/ W^{0.80} = -a + ED/ W^{0.80}$$

$$G/ W^{0.80} = -a/b + 1/b ED/ W^{0.80}$$

Ecuación de estimación a presentarse:

$$ED = aW^{0.80} + bG$$

Se realizó la regresión de la fórmula presentada para hallar “a” y “b” utilizando el Software Statistical Analysis System (SAS 1998).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio I: Digestibilidad y Energía Digestible de Ingredientes

4.1.1 Coeficientes de digestibilidad aparente de ingredientes

Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de nutrientes y de energía para cada ingrediente se muestran en la Tabla 5. Se puede observar el CDA de los ingredientes proteicos que serán utilizados en las dietas para los diferentes ensayos de digestibilidad y la determinación de los requerimientos, la harina de pescado prime muestra mayor digestibilidad de los nutrientes, seguido por la torta de soya, y harina de subproducto de aves. Para materia seca es mayor en la harina de pescado en comparación a la torta de soya, harina de subproducto de aves, maíz amarillo, harinilla de trigo y aceite de soya. En el caso de los ingredientes energéticos, la harinilla de trigo muestra menor CDA de los nutrientes que maíz amarillo y el aceite de soya.

Los resultados de CDA de los nutrientes de la harina de pescado prime obtenidos en el presente estudio confirman los valores encontrados por Rivadeneyra (2019), para juveniles de paiche, siendo ligeramente mayor en el CDA para materia seca (87.90% y 84.81%) y extracto etéreo (93.35 y 91.14%), ligeramente inferior para el CDA de la proteína cruda (90.82 y 92.03 %) y EB (91.79 y 92.92%). Los resultados son compatibles con los valores obtenidos por Dos Santos (2016) para el CDA de la materia seca (89.20%), proteína cruda (97.6%), energía bruta (89.10 %). Asimismo, similares en otra especie carnívora como la trucha, reportado por Sorensen et al. (2002) para la proteína de 90.60% y energía bruta de 89%. Comparando con los resultados obtenidos en trabajos realizados con peces carnívoros cultivados en aguas de mar con el pargo rosado (*Luctanus guttatus*), por Hernández et al. (2015), indican que existe similitud en el CDA de la energía bruta (89%), pero inferior en los CDA de la materia seca (80.4%) y Proteína cruda (84.3%), diferencias que podrían estar relacionada a la materia prima utilizada para producir la harina sumado a la tecnología de proceso.

Tabla 5: Coeficientes de Digestibilidad Aparente (CDA) de la Materia Seca, Proteína Cruda, Extracto Etéreo, Energía Bruta (EB) y Energía Digestible (ED) de Ingredientes en el “Paiche” (*Arapaima gigas*) en Base Seca

ITEM	Harina de pescado	Torta de soya	Torta sachá inchi crudo	Maíz amarillo	Harinilla de Trigo	Aceite de Soya	Subp. Aves	Subp. de trigo
Contenido nutricional (%)								
Materia Seca	94.25	92.55	93.85	87.15	90.25	99.90	91.58	92.36
Extracto etéreo	7.79	1.51	8.49	4.05	3.80	nd	nd	nd
Proteína	66.00	50.81	61.69	10.88	17.94	0.00	61.75	17.69
Energía bruta (Mcal/Kg)	4.73	4.34	4.68	3.88	4.09	9.40	5.13	4.15
CDA (%)								
Materia Seca	87.90	82.67	75.99	63.54	49.12	87.35	63.28	75.91
Extracto etéreo	93.35	82.94	75.66	81.72	73.77	nd	nd	nd
Proteína	90.82	85.28	79.55	80.84	68.29	0.00	73.14	79.97
Energía	91.79	84.71	76.45	67.77	54.85	97.72	67.04	77.27
Nutrientes digestibles (%)								
Materia seca	82.84	76.51	71.32	55.38	44.33	87.27	57.96	70.11
Extracto etéreo	7.27	1.25	6.42	3.31	2.80	nd	nd	nd
Proteína	59.94	43.33	49.07	8.79	12.25	0.00	45.17	14.14
Energía digestible, Mcal/kg.	4.34	3.67	3.58	2.63	2.24	9.19	3.44	3.21

Los resultados de CDA de los nutrientes de la Torta de soya en el paiche comparados con los datos presentados por Barbarán (2019), son mayores en materia seca (83 y 61%), proteína cruda (85 y 81%) y energía bruta (84 y 71%, respectivamente), pero inferior para el extracto etéreo (83 y 94%, respectivamente). La diferencia en los valores obtenidos se debería principalmente al efecto del tratamiento térmico utilizado para reducir los inhibidores de tripsina, presentes en el frejol de soya, que podría afectar la digestibilidad de los nutrientes.

Los coeficientes de digestibilidad (CDA) determinados para la torta de sachá inchi, presenta valores inferiores a los resultados reportados por Salinas (2017), para materia seca (76 y 83%), proteína cruda (79.55 y 86.42%), extracto etéreo (75.66 y 81.40%) y energía bruta (76.45 y 84.90%).

Dos Santos et al. (2016), reportaron los CDA de los principales nutrientes de la harina de subproducto avícola para el paiche, para la materia seca de 93.5%, proteína cruda de 90.30% valores altos comparado con los resultados determinados en el presente estudio de 63.28 y 73.14%. Resultados de evaluaciones realizadas en otra especie carnívora marina, como el pargo rosado (*Luctanus guttatus*) por Hernández et al. (2015), quienes reportaron valores mayores en los CDA de la materia seca (77%), proteína cruda (82.5%), y energía bruta (88%), diferencias debido probablemente a la calidad de la materia prima que incluye en diferentes proporciones la harina de plumas, siendo la digestibilidad inferior por la presencia de queratina.

Los resultados de los CDA de los nutrientes del maíz amarillo para el paiche obtenidos en el presente estudio, comparados con los resultados presentados por Ochoa (2019), son numéricamente inferiores para la materia seca (63.54 y 71%), proteína cruda (80.84 y 89,12%) y Extracto etéreo (81.72 y 93.78%). Dos Santos et al. (2015), reportaron valores de CDA de la materia seca y proteína mayores (76.37 y 93.44%, respectivamente), diferencias que podrían estar relacionado con la variedad y condiciones de pos cosecha.

Los coeficientes de digestibilidad (CDA) encontrados en la harinilla de trigo para el paiche en comparación a los resultados presentados por Benito (2021) son mayores para la materia seca (49 y 43%), y energía bruta (55 y 50%), e inferiores para proteína cruda

(68 y 86%) y extracto etéreo (74 y 86%, respectivamente), los valores obtenidos tendrían relación con el nivel de fibra.

Datos de CDA encontrados para el subproducto de trigo son mayores a lo reportado por Dos Santos et al. (2015) para la materia seca (75.91 y 45.13%), proteína cruda (79.97 y 68.50%)

4.1.2 Contenido de Energía digestible de ingredientes

La energía Digestible (ED) de los ingredientes en la Tabla 5 se muestra que los valores más altos corresponden a los ingredientes proteicos, explicado por el mayor contenido de lípidos en la harina de pescado en relación a los ingredientes energéticos. La mayor concentración de energía digestible corresponde a la harina de pescado prime, seguido por la torta e soya y finalmente la harina de subproductos de aves. La energía contenida en los ingredientes energéticos, la mayor concentración corresponde al aceite de soya, y maíz.

Los resultados obtenidos del contenido de energía digestible para el paiche, en los diferentes ingredientes, difieren con valores publicados, y están relacionados a los coeficientes de digestibilidad, así los datos publicados por Barbarán (2019) y Benito (2021), son mayores para torta de soya (3.67 y 3.37 Mcal. ED/kg) y harinilla de trigo (2.24 y 2.11 Mcal. ED/kg), respectivamente. Siendo inferiores a los resultados reportados por Rivadeneyra (2019) en harina de pescado (4.34 y 4.53 Mcal. ED/kg), torta de sachá inchi (3.58 y 4.24 Mcal. ED/kg por Salinas (2017), maíz amarillo (2.63 y 3.43 Mcal. ED/kg) por Ochoa (2019).

4.2 Estudio II: Nivel adecuado de reemplazo de la harina de pescado por torta de soya)

4.2.1 Parámetros de crecimiento y conversión alimenticia

Los resultados de ganancia de peso e incremento de talla, consumo de alimento, conversión alimenticia y sobrevivencia de los alevines de paiche alimentados con 3 dietas

de diferentes niveles de harina de pescado y torta de soya, se presentan en la Tabla 6. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo II al X), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), para los parámetros de crecimiento, consumo de alimento y eficiencia alimenticia. La reducción de 47% de harina de pescado y el incremento de tres veces el nivel de torta de soya de 20 a 60% en la dieta 3, en comparación a la dieta 1, afectó estadísticamente el crecimiento, con una reducción de 45% en la ganancia de peso, 22% menos de consumo de alimento, desmejorando la conversión de alimento en 5%. Las dietas 1 y 2 son estadísticamente similares. Sin embargo, la dieta 1 con el nivel más alto de harina de pescado (47%) y menor concentración de torta de soya (20%), generó numéricamente mejor respuesta en la eficiencia alimenticia, considerándose como la dieta de referencia, recomendable para los estudios de biodigestibilidad y determinación del requerimiento de energía y nutrientes.

Los resultados son compatibles con la respuesta de especies carnívoras, en estudios donde el reemplazo de la harina de pescado por ingredientes proteicos de fuente vegetal, reducen el rendimiento productivo de la trucha (Kaushick et al., 1995, Kaushick et al., 2004, salmón (Opstvedt et al., 2003), rodaballo (Fournier et al., 2004)), dorada (Martínez, 2007) y la acumulación de proteína corporal (Fournier et al., 2003) disminuye, la respuesta debido probablemente al desbalance del perfil de aminoácidos, la reducción de la digestibilidad, la presencia de sustancias de actividad biológicas como los inhibidores de tripsina, o por la reducción en el consumo voluntario, que afecta la absorción de nutrientes. Se han reportado efectos negativos de los inhibidores de tripsina (Francis et al., 2001) y su relación con la disponibilidad de nutrientes y energía del alimento para la trucha (Sandholm et al. 1976, Dabrowski et al., 1898). Gómez et al. (1995), en evaluaciones de ingredientes de proteína vegetal como la torta de soya en alimentos con truchas, encontraron que el reemplazo hasta el 50% de la proteína de harina de pescado no afecta el crecimiento ni la utilización del alimento. Wu (2009), afirma que la reducción en la absorción de nutrientes podría cambiar la disponibilidad del perfil equilibrado de aminoácidos en el tejido, afectando el metabolismo, la salud y el rendimiento productivo de los peces. El alimento debe contribuir con todos los aminoácidos necesarios para la síntesis de proteína ya que aquellos que no forman parte del tejido son metabolizados y utilizados como combustible (Glencross et al., 2004).

Tabla 6: Evaluación de tres dietas con diferentes niveles de harina de pescado y torta de soya en los parámetros de crecimiento de alevines de paiche

Parámetros	Dietas Experimentales		
	1	2	3
BIOMASA (g)			
Inicial	431.79 ^a	431.91 ^a	423.78 ^a
Final	1055.67 ^a	1052.25 ^a	766.26 ^b
Ganancia de biomasa	623.88 ^a	620.34 ^a	342.48 ^b
PESO (g)			
Inicial	71.97 ^a	71.99 ^a	70.63 ^a
Final	175.95 ^a	175.38 ^a	127.71 ^b
Ganancia de peso	103.99 ^a	103.39 ^a	57.09 ^b
TALLA (cm)			
Inicial	22.10 ^a	22.32 ^a	22.35 ^a
Final	28.73 ^a	28.33 ^a	25.82 ^b
Ganancia de talla	6.63 ^a	6.02 ^a	3.47 ^b
CONSUMO ACUM IND. (g)			
30 días	78.79 ^a	82.03 ^a	61.67 ^b
CONV. ALIM. ACUM.			
30 días	0.76 ^a	0.80 ^a	1.08 ^b
SOBREVIVENCIA (%)			
	100.00 ^a	100.00 ^a	100.00 ^a

a,b letras diferentes en la misma fila indican que existe diferencias significativas (P<0.05) entre los tratamientos a la prueba de Duncan.

La harina de pescado contribuye con alta concentración de aminoácidos y ácidos grasos altamente poliinsaturados, además de ello, la harina de pescado contiene nitrógeno no proteico (NNP) como la taurina y betaína que estimulan el consumo voluntario de alimento (Liaset et al., 2000). La metionina en mayor incidencia y la taurina afectan la deposición de lípidos en la trucha (Gaylord et al., 2007). En trabajos realizados por Hansen et al. (2007) en el bacalao observaron una reducción en la acumulación de proteína corporal, cuando la proteína de origen vegetal excede el 50% de la proteína de la dieta. Resultados similares fueron encontrados en lubina por Kaushick et al. (2004) y en dorada (Gomez-Requeri et al., 2004).

4.3 Estudio III: Determinación del Requerimiento de Proteína Digestible

4.3.1 Método empírico de dosis-respuesta

a. Prueba estadística de rango múltiple

Ganancia de peso

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos. Se puede observar que existe homogeneidad en los parámetros de peso inicial y talla inicial, lo que permitió asignar los tratamientos al azar. El crecimiento de los peces expresado como ganancia de peso, mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$), entre los grupos que recibieron las dietas con diferentes concentraciones de proteína.

La ganancia de peso de los peces aumenta en forma lineal con cada nivel de incremento de proteína en el alimento, logrando el máximo crecimiento con el nivel de 43% de proteína digestible (48% de proteína bruta), a partir del cual, la ganancia de peso no muestra diferencias estadísticas, considerándose como el requerimiento de proteína. Pesti et al. (2009), mencionan que el requerimiento se define como la concentración más baja de un nutriente que produce una respuesta similar al nivel de mayor concentración de un nutriente.

Tabla 7: Efecto del Nivel de Proteína sobre el comportamiento productivo del Paiche

Proteína, %	44	46	48	50	52	54	57
Proteína digestible, %	39	41	43	45	47	49	51
ED, Mcal/Kg	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
PD/ED	81	85	90	94	98	102	106
Parámetros							
Peso inicial (g)	40.46 ^a	40.95 ^a	40.97 ^a	40.35 ^a	40.88 ^a	40.22 ^a	41.28 ^a
Peso final (g)	104.25 ^c	109.27 ^b	114.79 ^a	116.49 ^a	117.29 ^a	116.34 ^a	117.42 ^a
Ganancia de Peso (g)	63.78 ^c	68.33 ^b	73.81 ^a	76.14 ^a	76.41 ^a	76.13 ^a	76.14 ^a
Tasa de crecimiento	1.39 ^c	1.49 ^b	1.61 ^a	1.66 ^a	1.66 ^a	1.66 ^a	1.66 ^a
Talla inicial (cm)	17.96 ^a	18.03 ^a	17.82 ^a	17.74 ^a	17.82 ^a	17.69 ^a	17.83 ^a
Talla final (cm)	24.06 ^b	24.82 ^a	25.25 ^a	25.20 ^a	25.15 ^a	25.18 ^a	25.5 ^a
Ganancia talla (cm)	6.10 ^c	6.79 ^b	7.43 ^a	7.47 ^a	7.33 ^a	7.50 ^a	7.66 ^a
Consumo de alimento (g)	65.06 ^d	60.97 ^{ab}	60.26 ^a	60.55 ^{ab}	60.65 ^{ab}	61.92 ^b	63.58 ^c
Conversión alimenticia	1.02 ^d	0.90 ^c	0.82 ^{ab}	0.80 ^a	0.80 ^a	0.81 ^{ab}	0.84 ^b
Eficiencia alimenticia	0.98 ^d	1.12 ^c	1.22 ^{ab}	1.26 ^a	1.26 ^a	1.23 ^{ab}	1.20 ^b

^{a,b,c,d} Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (P<0,05).

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman lo encontrado por Ituassú et al. (2005), quienes evaluaron niveles de proteína cruda de 32 a 48% en dietas para alevines de paiche, observando mayor ganancia de peso con la dieta de 48% de proteína, establecido por el ANOVA. Guevara (2022), encontró resultados ligeramente mayores, reportando máximo crecimiento en juveniles de paiche alimentados con dietas conteniendo 50% de proteína cruda.

Eficiencia de utilización del alimento

Los resultados de eficiencia se presentan en el Cuadro 7. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XXII) se encontraron diferencias significativas entre los Tratamientos ($P < 0.05$). La eficiencia fue significativamente mejor con la dieta que aporta 43% de proteína digestible (48% de proteína bruta). Considerándose como el requerimiento mínimo que produce la mayor eficiencia de uso del alimento.

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio tienen concordancia con los resultados reportados por Ituassú et al. (2005), quienes encontraron para paiches de peso inicial de 120.7g el nivel de 48.6% de proteína bruta y Guevara (2022), quien señala que juveniles de paiche de 1000g de peso, mostraron el mejor uso del alimento con la dieta de 50% de proteína bruta. Sin embargo, Del Risco et al. (2008), encontraron que para alevines de peso inicial de 86g, el nivel de proteína que presentó el menor valor de conversión de alimento fue de 40%.

b. Modelo de la línea quebrada

Ganancia de peso

En la presente investigación utilizando el modelo de la línea quebrada, se puede observar el incremento lineal en la ganancia de peso en relación al aumento del nivel de proteína en el alimento. El requerimiento proteico para maximizar la ganancia de diaria es de 44% de proteína digestible (49% de proteína bruta), a partir del cual el crecimiento es constante, sin mostrar diferencias estadísticas (Figura 1).

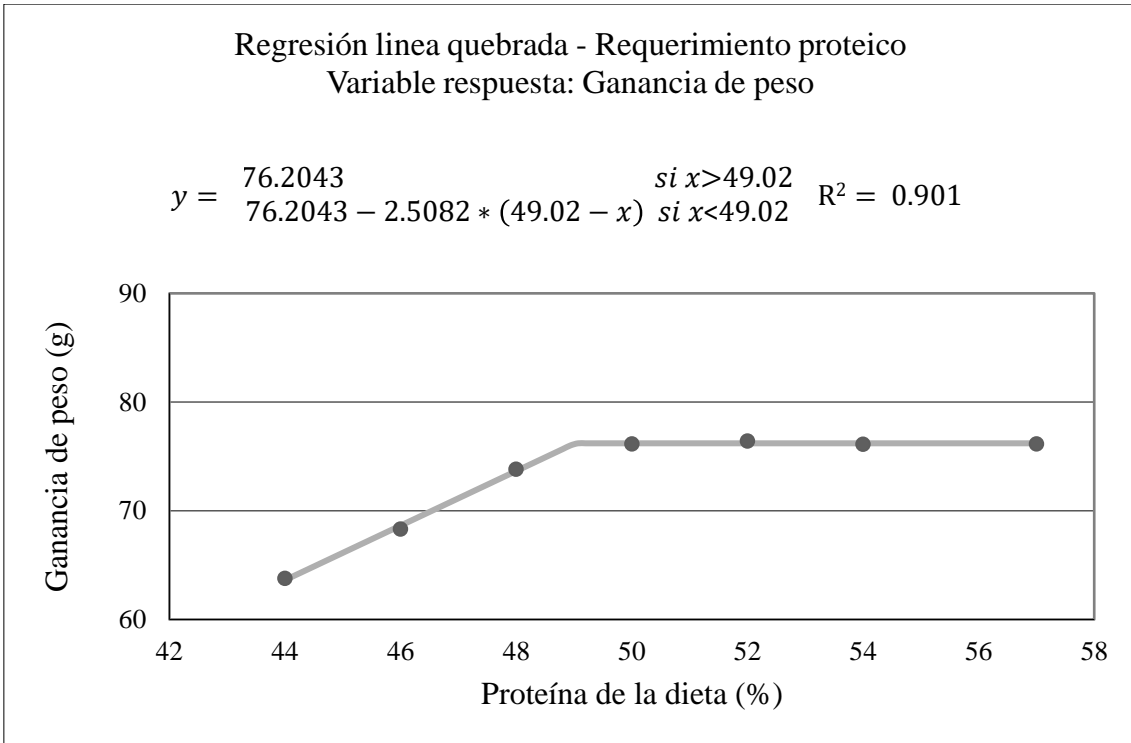


Figura 1. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento de proteico del paiche utilizando la variable ganancia de peso

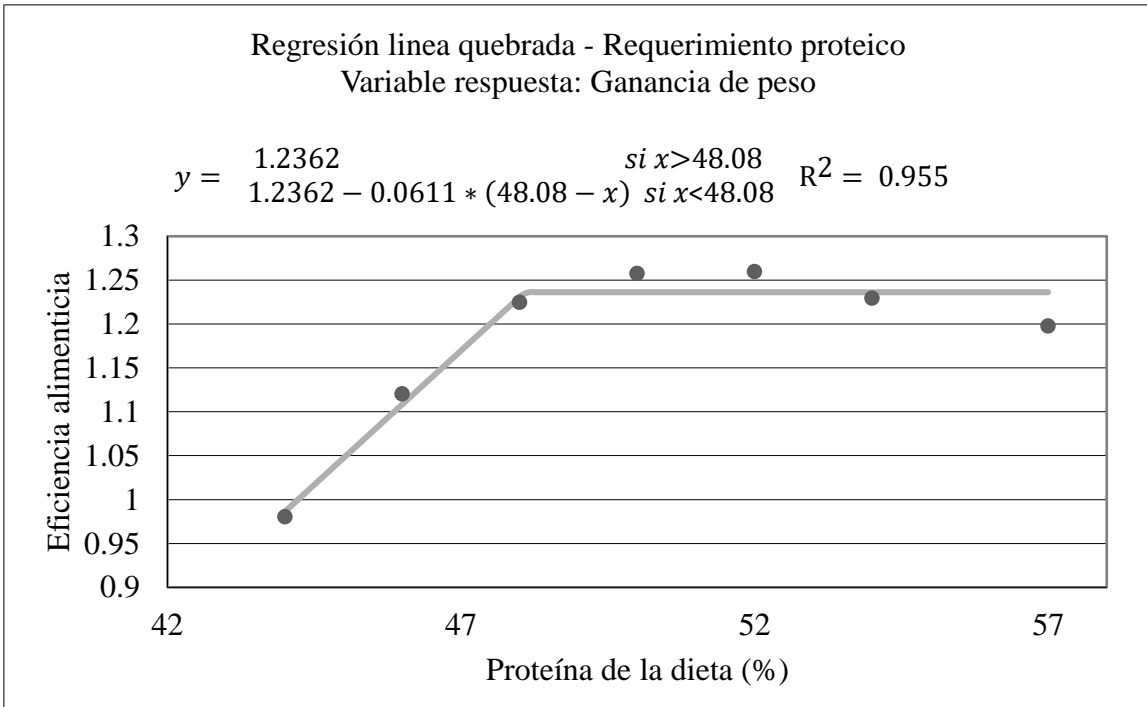


Figura 2. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento proteico del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia eficiencia de utilización del alimento

El modelo de la línea quebrada asume una relación lineal positiva entre la ganancia de peso (Y) y el nivel de proteína cruda (X), que se rompe instantáneamente a horizontal (meseta), en el requerimiento mínimo estimado por la abscisa en el punto de corte (línea discontinua), y corresponde al nivel mínimo del nutriente que produce el máximo crecimiento (Zeitoun et al., 1976).

La ecuación de regresión para determinar el requerimiento es la siguiente:

$$y = 76.2043 - 2.5082 * (49.02 - x), \text{ si } x < 49.02, R^2 = 0.901$$

y = ganancia de peso diario, g; x = nivel de PD del alimento,

Considerando el parámetro eficiencia alimenticia (Figura 2), el requerimiento mínimo de proteína digestible para maximizar la eficiencia alimenticia es de 43% (48% de proteína cruda).

La ecuación de regresión para determinar el requerimiento es la siguiente:

$$y = 1.2362 - 0.0611 * (48.08 - x), \text{ si } x < 48.08 \quad R^2 = 0.955$$

y = eficiencia alimenticia, x = nivel de PD del Alimento

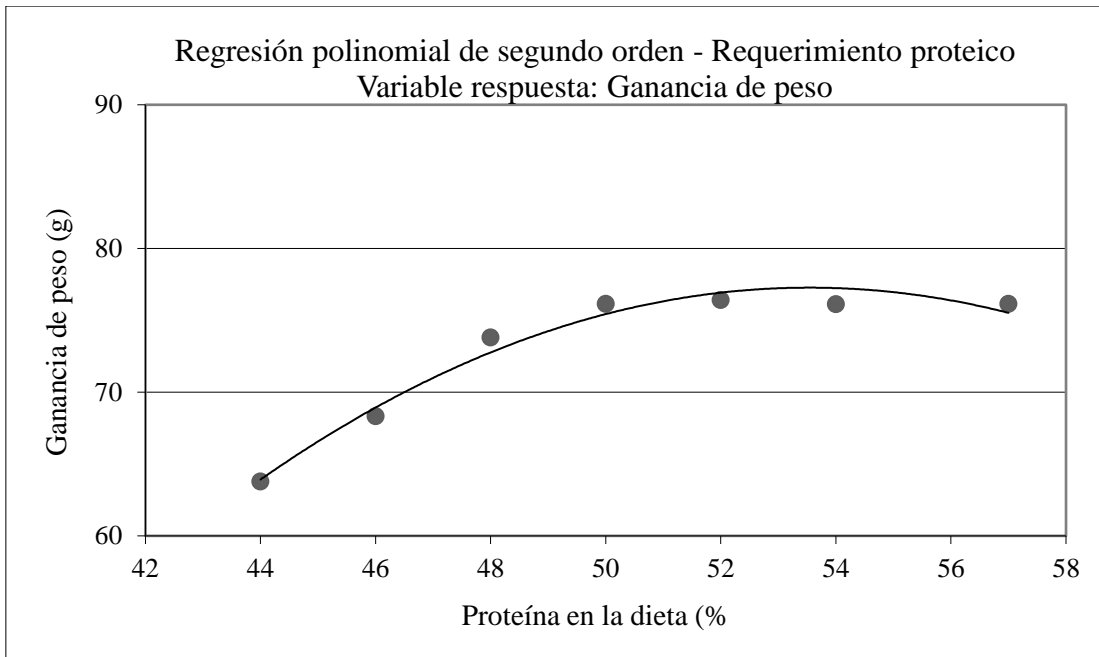
c. Regresión polinomial de segundo orden

Los resultados del análisis de regresión polinomial utilizando como variable respuesta ganancia de peso y eficiencia alimenticia, puede observarse en las figuras 3 y 4, respectivamente. Según este enfoque, se obtiene el nivel de proteína digestible para maximizar la ganancia de peso es de 48% (53% de proteína bruta), $R^2 = 0.97$. Asimismo, utilizando la eficiencia alimenticia como variable respuesta, se obtiene la mejor respuesta con 47% de proteína digestible (52% de proteína bruta), $R^2 = 0.96$.

Las ecuaciones de regresión para determinar el requerimiento de proteína utilizando la ganancia de peso y eficiencia alimenticia son las siguientes:

$$Y = -0.1467x^2 + 15.7067x - 343.2$$

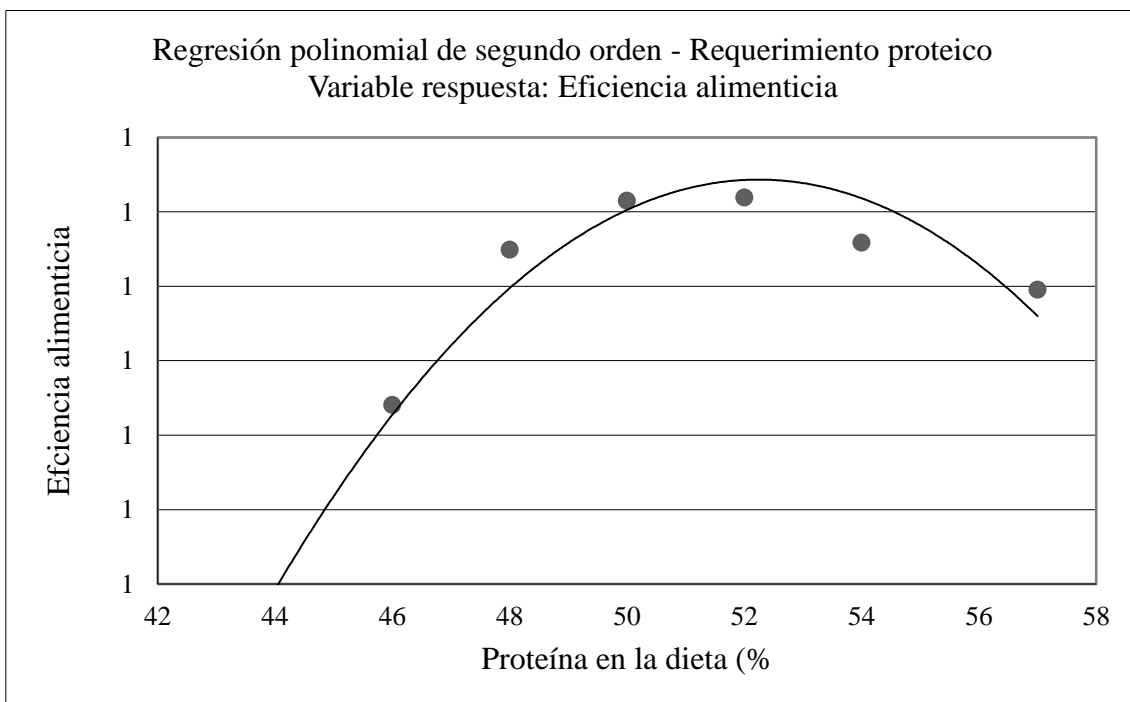
$$Y = -0.00406x^2 + 0.4244x - 9.8147$$



$Y = -0.1467x^2 + 15.7067x - 343.2$
Max: 53.53%

$R^2 = 0.974$

Figura 3: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento proteico del paiche utilizando la variable ganancia de peso



$Y = -0.00406x^2 + 0.4244x - 9.8147$ $R^2 = 0.961$
Max: 52.27%

Figura 4: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento proteico del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia

Comparando los resultados con otras especies carnívoras de agua dulce utilizando la regresión polinomial de segundo orden se encuentran resultados similares. Lee et al. (2001) encontraron que para *Brachymystax lenok* el requerimiento de proteína estimado utilizando como variable la ganancia de peso fue 51%. Liu et al. (2021), encontraron que para trucha arcoíris el nivel de proteína fue de 46.76% utilizando la ganancia de peso como variable respuesta. Ahmed & Ahmad (2020), realizando pruebas con trucha arcoíris encontraron que el nivel de proteína que mejora la conversión de alimentos fue 46.45%. Cornelio et al. (2014), realizaron un estudio con *Pseudoplatystoma reticulatum*, encontraron que el nivel de proteína utilizando como variable respuesta la ganancia de peso fue 49.25%.

d. Comparación de los diferentes modelos

Los resultados de los diferentes enfoques utilizados para la determinar el requerimiento de proteína se muestran en la Tabla 8. Comparando los tres modelos utilizados para determinar el requerimiento de proteína, se puede observar menores valores utilizando los enfoques de prueba de rangos múltiples (ANOVA) y de la línea quebrada (Línea discontinua). Al respecto Shearer (2000), señala que ambos enfoques, subestiman el requerimiento de proteína, porque suponen un cambio abrupto en la meseta, cuando realmente ocurre una transición suave, y solamente se analiza en lado izquierdo de la curva respuesta y de la meseta, Por otro lado, la diferencia entre las medias de los tratamientos no constituye la mejor estimación, sino una curva ajustada, considerando el enfoque de regresión polinomial el método de mayor aproximación. Además, se puede observar que los coeficientes de determinación resultantes del análisis de regresión fueron mayores en comparación con los obtenidos en el análisis de línea quebrada, consideraciones que permiten establecer el requerimiento de proteína digestible de 47% (52% de proteína bruta).

Tabla 8. Comparativo del requerimiento de proteína determinado mediante diferentes modelos

Requerimiento de Proteína Digestible (Proteína Total), Porcentaje	Modelo de Análisis		
	Prueba de rango múltiple (ANOVA)	Línea quebrada	Regresión polinomial de segundo orden
Ganancia de peso	43 (48)	44 (49)	48 (53)
R ²		0.90	0.97
Eficiencia alimenticia	43(48)	43 (48)	47 (52)
R ²		0.95	0.96

4.3.2 Estimación del requerimiento mediante el método factorial

La figura 5 muestra la línea de tendencia de los datos evaluados. A través de la regresión se obtiene que el requerimiento de proteína por día para mantenimiento es de 1.0409 g/Kg $W^{0.80}$ y 0.3404 g por gramo de proteína ganado. Lupatsch et al. (1998) encontraron que para la especie *Sparus aurata* L. el requerimiento de proteína para mantenimiento fue de 0.86 g BW $kg^{-0.70}$ día⁻¹.

El resultado del requerimiento de proteína para ganancia de peso puede ser comparado por el valor teórico obtenido por la eficiencia de utilización de la proteína. La digestibilidad de la proteína de la dieta obtenida en la presente investigación fue de 75%. Estimando que la proteína metabolizable llega al 85% y según datos del ITP (2002), la composición proteica del paiche llega al 24.6%, si consideramos que la ganancia de peso promedio al día según los datos del presente estudio fue de 1.60 gramos, se obtiene que el requerimiento de proteína para ganancia de peso es de 0.24, dato cercano al encontrado en la presente investigación, 0.3404.

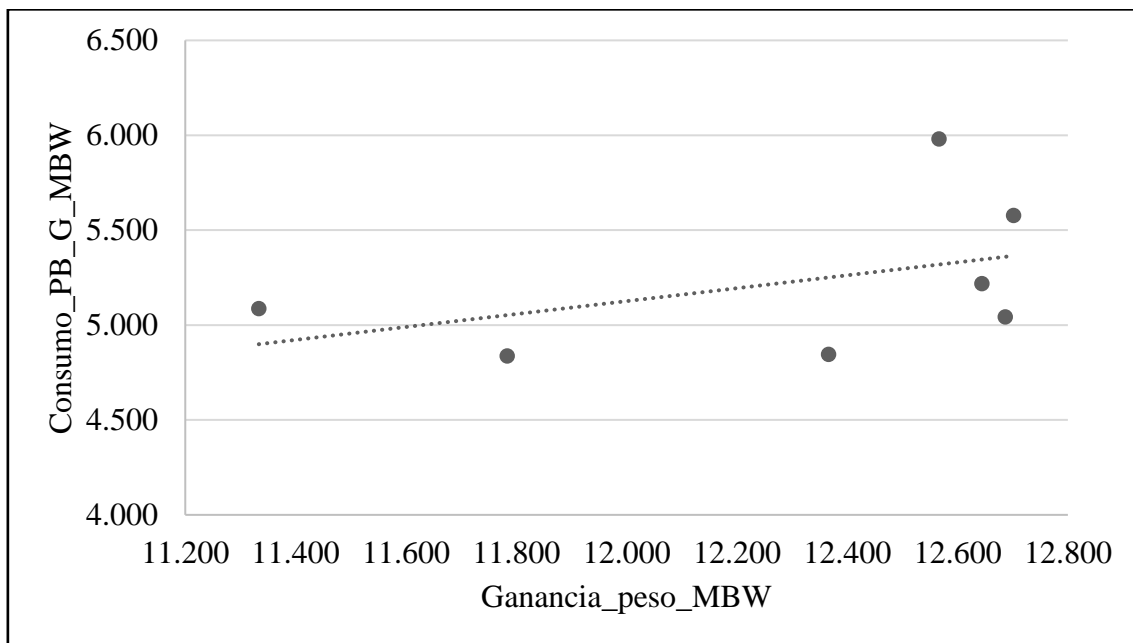


Figura 5: Relación ganancia de peso y consumo en función del peso metabólico

Ecuación:

$$P = 1.0409W^{0.80} + 0.3404 G$$

$$R^2 = 0.1895$$

Con los datos obtenidos del ensayo del enfoque empírico se desarrolló la ecuación obtenida por regresión en el enfoque factorial. Siendo el peso promedio del pez 77g, con un consumo de alimento de 1.33 gramos al día y una ganancia de peso diaria de 1.6g. Se obtiene que el requerimiento de proteína es de 50.13%, valor cercano al determinado mediante la regresión polinomial de segundo orden de 48%.

Desarrollo de la ecuación:

$$P = (1.0409 * 0.077^{0.8}) + (0.3404 * 1.6)$$

4.4 Estudio IV: Determinación del requerimiento de Energía Digestible

4.4.1 Método empírico de dosis-respuesta

a. Prueba estadística de rango múltiple

Ganancia de peso

Los resultados de ganancia de peso se presentan en la tabla 9. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XI, XII y XIII) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$).

El crecimiento de los peces expresado como ganancia de peso, se incrementa en relación al aumento de la energía digestible (ED) del alimento, hasta el nivel de 4.6 Mcal. ED/kg de alimento. A partir del cual el crecimiento es constante sin mostrar diferencias estadísticas entre ellos, considerándose como el requerimiento mínimo que produce la mayor ganancia de peso. El resultado obtenido es menor en relación al valor de 5.0 Mcal. ED/ kg de alimento de juveniles de paiche con el nivel de 50% de proteína, reportado por Guevara (2022), quien considera como el nivel de energía digestible que produjo mayor crecimiento numérico en comparación con los niveles de 3.85, 4.25, y 4.50 Mcal ED/ Kg.

Eficiencia de utilización del alimento

Los resultados de conversión alimenticia se presentan en la tabla 9. Como se puede observar en el análisis de varianza (Anexo XV) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$). Los peces presentan mejor conversión de alimento a medida que se incrementa el nivel de energía digestible hasta el valor de 4.6 Mcal ED/kg de alimento a partir del cual la eficiencia alimenticia disminuye. El valor conversión de alimento obtenido en el presente trabajo de 0.82, tiene similitud con el valor reportado en el trabajo de Guevara (2022), de 0.85, en paiches juveniles, utilizando dietas de 5.0 Mcal Ed/Kg. El comportamiento de los peces también está relacionado con el consumo de alimentos que se reduce a medida que se incrementa el nivel de energía digestible, siendo considerable con los niveles de 5.0 y 5.2 Mcal ED/kg de alimento.

Tabla 9: Efecto del Nivel de Energía sobre el comportamiento productivo del Paiche

Energía digestible, Mcal./Kg.	4.4ED	4.6ED	4.8ED	5.0ED	5.2ED
Proteína bruta, %	52	52	52	52	52
Proteína digestible, %	46	46	46	46	46
PD/ED	105	100	96	92	88
Parámetros					
Peso inicial (g)	170.04 ^a	169.72 ^a	170.87 ^a	169.88 ^a	169.36 ^a
Peso final (g)	460.44 ^b	489.48 ^a	497.34 ^a	479.92 ^{ab}	496.98 ^a
Ganancia peso (g)	290.40 ^b	319.77 ^a	326.48 ^a	310.04 ^{ab}	322.62 ^a
Talla inicial (cm)	28.29 ^a	28.29 ^a	28.33 ^a	28.34 ^a	28.28 ^a
Talla Final (cm)	39.38 ^d	39.58 ^c	39.97 ^a	39.83 ^b	39.79 ^b
Ganancia de talla (cm)	11.09 ^c	11.29 ^{bc}	11.64 ^a	11.49 ^{ab}	11.51 ^{ab}
Consumo (g)	281.49 ^a	275.21 ^a	282.26 ^a	267.78 ^a	278.40 ^a
Conversión Alimenticia	0.97 ^b	0.87 ^a	0.87 ^a	0.87 ^a	0.86 ^a
Eficiencia alimenticia	1.03 ^b	1.16 ^a	1.16 ^a	1.16 ^a	1.15 ^a

^{a,b,c} Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (P<0, 05).

b. Modelo de la línea quebrada

El modelo de la línea quebrada asume una relación lineal positiva entre la ganancia de peso (Y) y el nivel de proteína cruda (X), que se rompe instantáneamente a horizontal (meseta), en el requerimiento mínimo estimado por la abscisa en el punto de corte (línea discontinua), y corresponde al nivel mínimo del nutriente que produce el máximo crecimiento (Zeitoun et al., 1976).

En la presente investigación utilizando el modelo de la línea quebrada, se puede observar que el requerimiento energético para maximizar la ganancia de peso es de 4.6 Mcal ED/Kg, (Figura 6).

La ecuación de regresión para determinar el requerimiento de energía digestible es la siguiente:

$$Y = 319.7 - 147.16 * (4.5993 - x), \text{ si } x < 4.5993,$$
$$R^2 = 0.823$$

y = ganancia de peso, g

x = nivel de energía digestible del alimento

Por otro lado, en la figura 7, el requerimiento es similar para poder maximizar la eficiencia alimenticia, resultando el requerimiento en 4.60 Mcal ED/Kg.

La ecuación de regresión para determinar el requerimiento es la siguiente:

$$Y = 1.1523 - 0.6438 * (4.5802 - X), \text{ si } x < 4.5802$$
$$R^2 = 0.985$$

y = eficiencia alimenticia,

x = nivel de energía digestible del Alimento

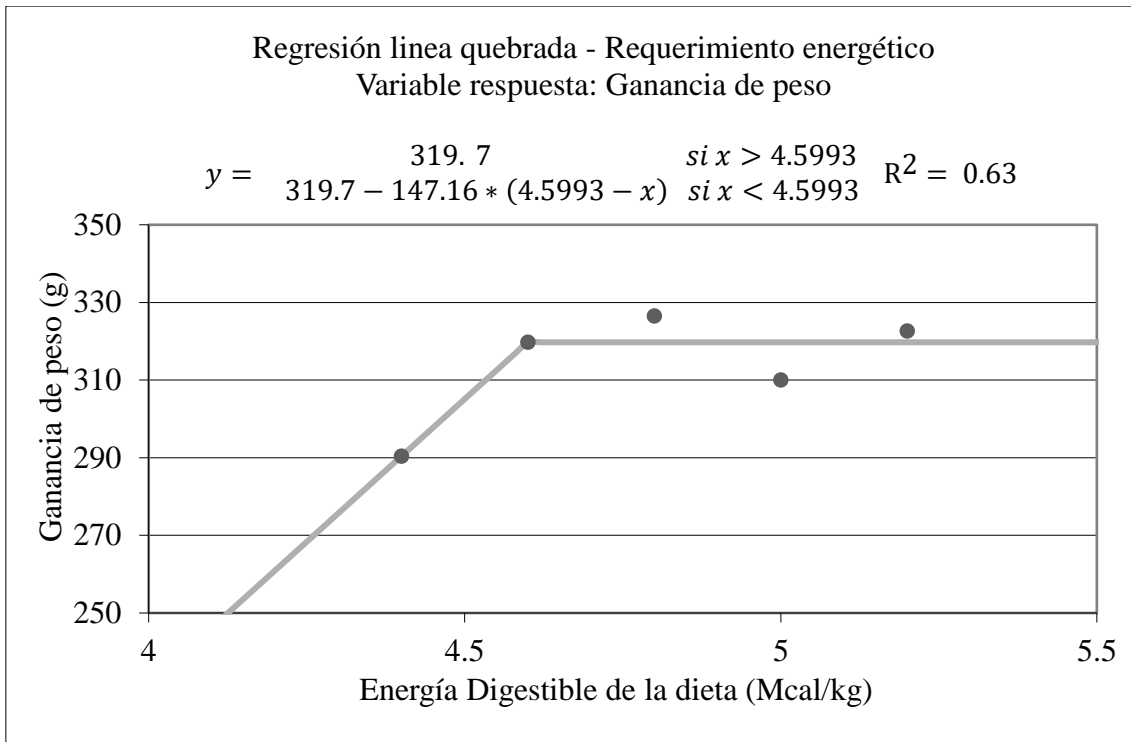


Figura 6. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable ganancia de peso

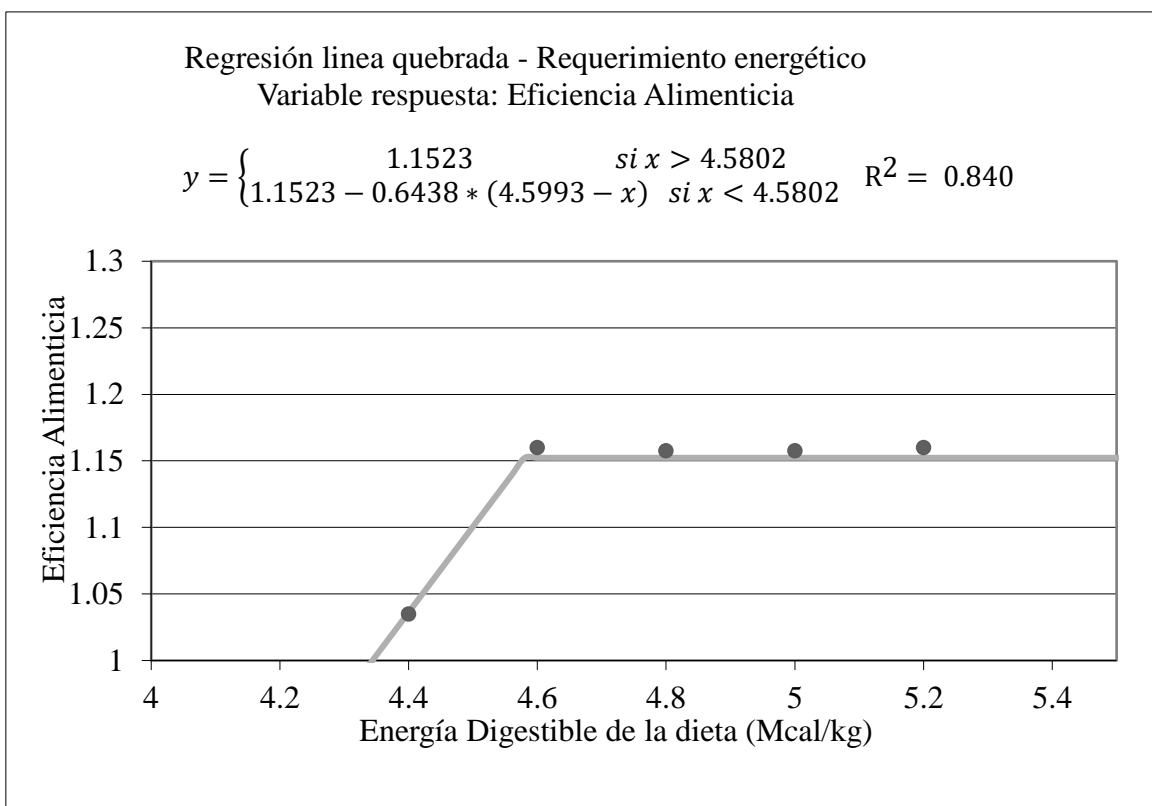


Figura 7. Curva de regresión línea quebrada para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia

c. Regresión polinomial de segundo orden

Los resultados del análisis de regresión polinomial utilizando como variable respuesta ganancia de peso y eficiencia alimenticia pueden observarse en las figuras 8 y 9; respectivamente. Según este enfoque, se obtiene el nivel de energía digestible para maximizar la ganancia de peso, de 4.94 Mcal ED/Kg. Asimismo, utilizando la eficiencia alimentaria como variable respuesta, se obtiene la mejor respuesta con 4.94 Mcal ED/Kg.

Las ecuaciones de regresión para determinar el requerimiento utilizando ganancia de peso y eficiencia alimenticia son las siguientes:

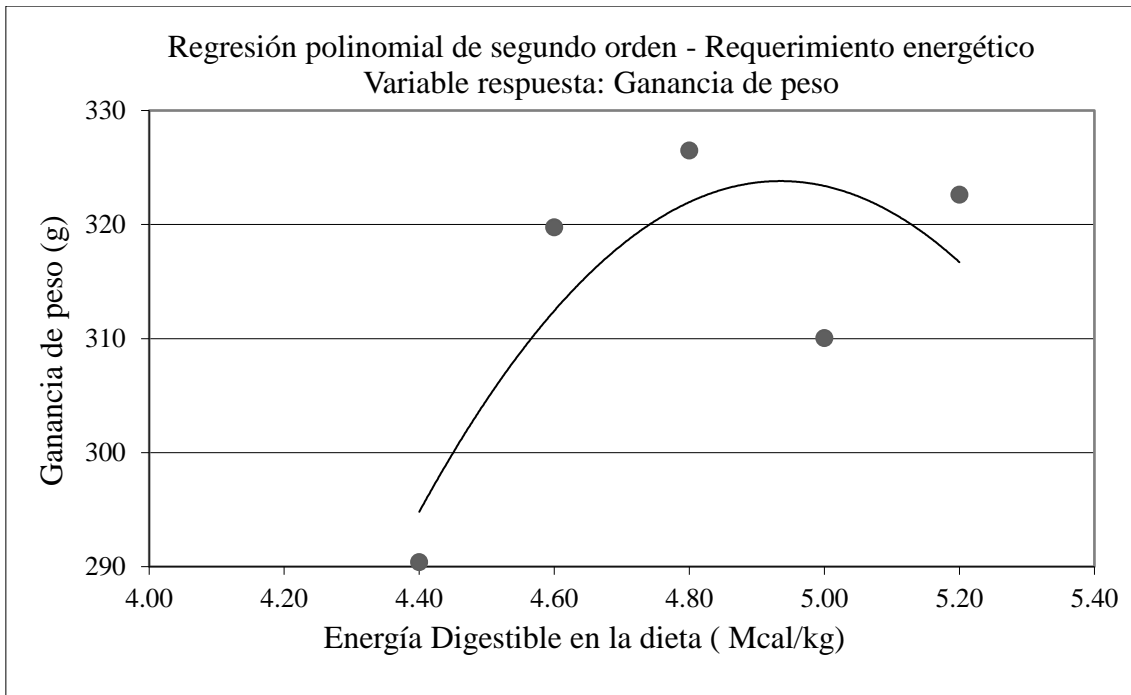
$$y = -101.30x^2 + 999.9x - 2143.40$$

y = ganancia de peso, g; x = nivel de energía digestible del alimento

$$y = -0.4330x^2 + 4.2809x - 9.4025$$

y = eficiencia alimenticia, x = nivel de energía digestible del Alimento

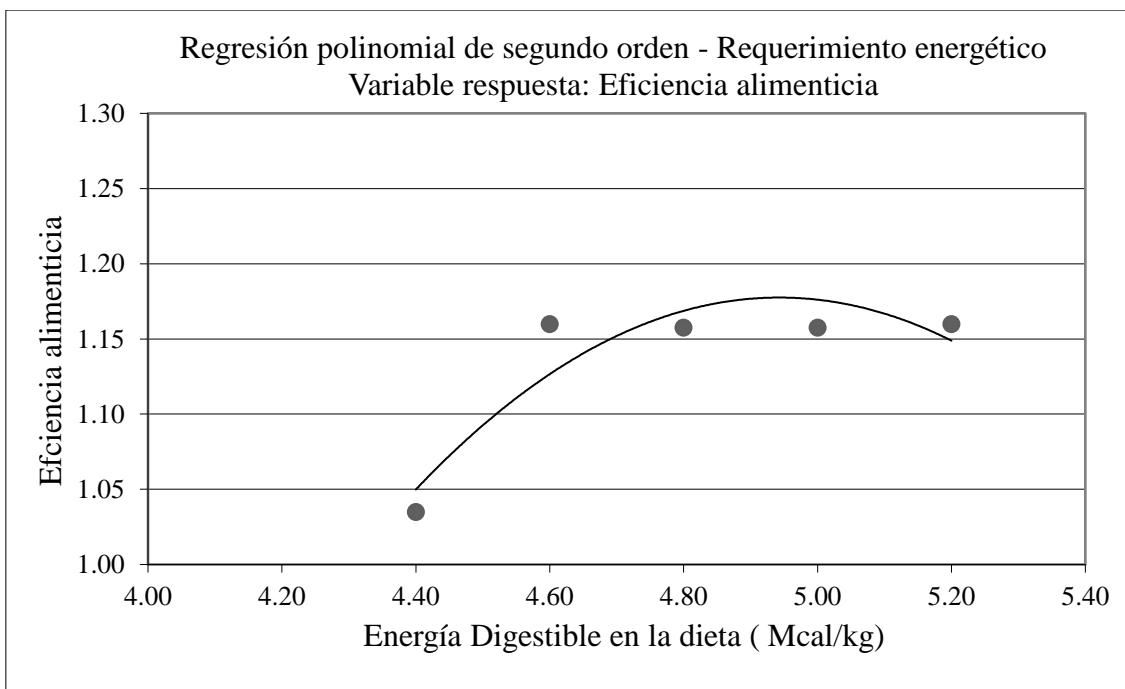
Realizando la comparación con investigaciones que utilizaron la regresión polinomial para la determinación del requerimiento de energía en otras especies amazónicas que presentan hábitos alimentarios carnívoros, se encuentran niveles de energía digestible cercanos a los presentados en este estudio. Cunha et al. (2015), realizaron una investigación con *Pseudoplatystoma reticulatum* encontrando que para ganancia de peso el requerimiento de energía fue de 4.479 Mcal/kg. Similar resultado encontrado por de Alencar (2008) trabajando con *Pseudoplatystoma spp.*, estimando el requerimiento de energía en 4.82 Mcal/kg. En cambio, en especies de hábito alimentario omnívoro se observa que el requerimiento energético es menor. Miranda (2018), realizando evaluaciones en *Piaractus brachypomus* determinó que la mejor respuesta utilizando la variable ganancia de peso diaria la obtuvo con 3.29 Mcal ED/Kg.



$y = -101.30x^2 + 999.9x - 2143.40$
Max: 4.935

$R^2 = 0.820$

Figura 8: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable ganancia de peso



$y = -0.4330x^2 + 4.2809x - 9.4025$
Max: 4.943

$R^2 = 0.980$

Figura 9: Curva de regresión polinomial de segundo orden para determinar el requerimiento energético del paiche utilizando la variable eficiencia alimenticia

d. Comparación de los diferentes modelos

Los resultados de los diferentes enfoques utilizados para la determinación del requerimiento de energía digestible se muestran en el Tabla 10. Se puede observar similitud en los resultados sobre el requerimiento de energía digestible para el paiche, determinado estadísticamente por ANOVA y la línea quebrada. Sin embargo, utilizando el modelo polinomial de segundo orden, el requerimiento de energía digestible, considerando la ganancia de peso y conversión alimentaria son mayores. Finalmente, el requerimiento corresponde al valor de 4.94 Mcal ED/kg de alimento, considerando la conversión alimentaria, que considera los parámetros de consumo de alimento y ganancia de peso.

Tabla 10. Comparativo de requerimientos obtenidos mediante diferentes métodos.

Requerimiento de ED (Mcal/Kg alimento)	Modelos de Análisis		
	ANOVA	Modelo línea quebrada	Modelo polinomial de segundo orden
Ganancia de peso diaria	4.60	4.60	4.94
R ²		0.63	0.82
Eficiencia alimentaria	4.60	4.60	4.94
R ²		0.84	0.98

e. Relación de proteína digestible a energía digestible (PD: ED)

La relación óptima de proteína digestible (PD) a energía digestible (ED), encontrada en la presente investigación es de 95 (gramos de PD por Mcal de ED/kg de alimento), considerando el requerimiento de proteína digestible de 47% en promedio y de energía digestible de 4.94 Mcal. ED /kg, permitirá el crecimiento adecuado y la mejor conversión alimentaria.

La relación PD: ED obtenida, se encuentra dentro del rango recomendado de 85 a 105gramos de proteína digestible por Mcal. ED (NRC, 2011). Relaciones elevadas inducen a los peces a reducir la ingestión de nutrientes afectando el crecimiento. Por otro lado, los aminoácidos como fuente de energía pueden ser utilizado cuando la relación PD: ED es menor que el recomendado, afectando el rendimiento productivo, y aumentando la excreción de nitrógeno al agua, generando mayor polución (Kaushik y Oliva-Teles, 1985). Por el contrario, dietas con baja relación, inducen a los peces al menor consumo de alimento y la menor ingestión de nutrientes, afectando el crecimiento y la utilización de los nutrientes, generando mayor deposición de grasa visceral (Lovell, 1998).

La relación de PD: ED es comparable con el resultado reportado por López (2017) en el paiche, cuya dieta de mejor respuesta contenía 44% de proteína total, que equivale a 39.60% de proteína digestible y considerando la digestibilidad de la proteína de la dieta del 90%, valor obtenido en el presente trabajo, con el perfil de ingredientes similares, y el aporte de 3.96 Mcal. ED/kg., correspondiendo el valor de 100. Menor valor PD: ED, se encontró en los ensayos realizados por Guevara (2022), con la dieta de mejor respuesta conteniendo 50% de proteína total (45% de PD) y 5.0 Mcal. ED/kg de alimento, dando el valor de 90. Ambos resultados se encuentran dentro del rango recomendado para peces.

4.4.2 Estimación del requerimiento mediante el método factorial

La figura 10 muestra la línea de tendencia de los datos evaluados. A través de la regresión se obtiene que el requerimiento por día de energía para mantenimiento es de 12.9272 kcal/Kg $W^{0.80}$ y 3.4604 kcal por gramo de peso ganado. Cho & Kaushik (1990)

encontraron que para *Salmo gairdneri* el requerimiento de energía para mantenimiento fue de $9.55 \text{ kcal BW kg}^{-0.824} \text{ día}^{-1}$.

El resultado del requerimiento de energía para ganancia de peso puede ser comparado por el valor teórico obtenido por la eficiencia de utilización de la energía. La digestibilidad de la energía de la dieta obtenida en la presente investigación fue de 88%. Estimando que la energía metabolizable llega al 90% y según datos del Lima et al. (2021), la energía bruta de la carcasa del paiche es 4.82 kcal EB/g, dato cercano al encontrado en la presente investigación de 3.4604 kcal por gramo de ganancia de peso.

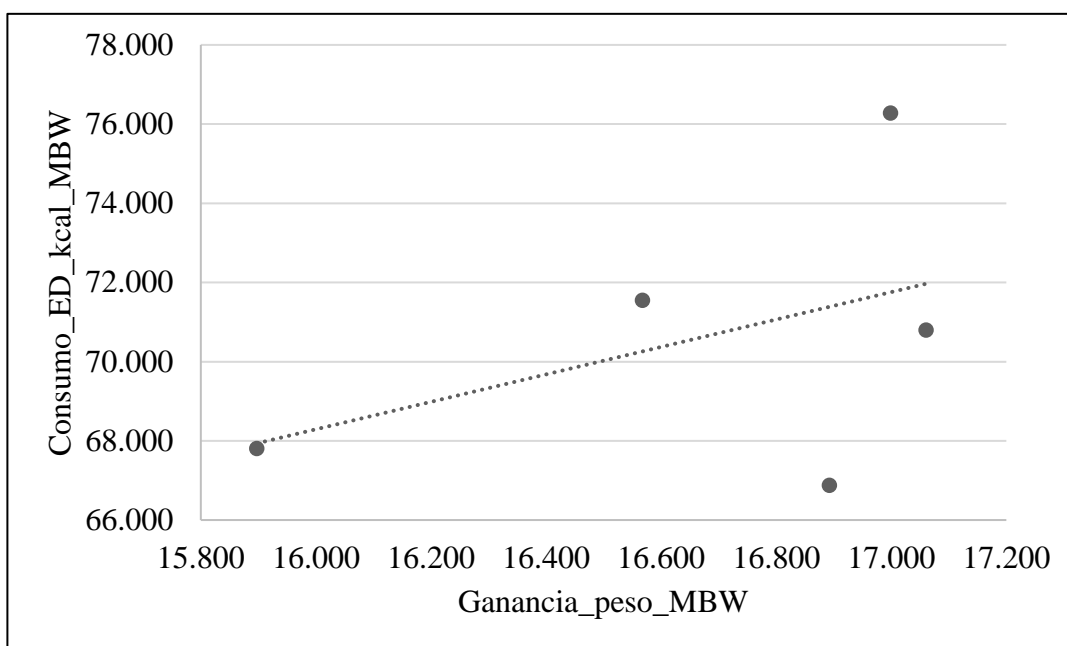


Figura 10: Relación ganancia de peso y consumo en función del peso metabólico

$$ED = 12.9272 W^{0.80} + 3.4604 G$$

$$R^2 = 0.2008$$

Utilizando los datos obtenidos en el ensayo del enfoque empírico se desarrolló la ecuación determinada a través de la regresión del enfoque factorial. Siendo el peso del pez 327g, con un consumo diario de 6.02g y una ganancia diaria de 6.82g, se determinó que el requerimiento de energía es de 4.79 Mcal/kg, valor que se encuentra cercano al encontrado utilizando la regresión polinomial de 4.94 Mcal/kg, respectivamente.

Desarrollo de la ecuación:

$$ED = (12.9272 * 0.327^{0.8}) + (3.4604 * 6.82)$$

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se llevó a cabo la presente investigación y los resultados obtenidos para los alevines de paiche se concluye:

1. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca, proteína cruda, grasa y energía bruta encontrados en el paiche para los ingredientes utilizados en los diferentes ensayos son para la harina de pescado prime de 87.90, 90.82, 93.35% y 91.79% respectivamente; para la torta de soya de 82.67, 85.28, 82.94 y 84.71%; para la harinilla de trigo de 49.12, 68.29, 73.77 y 54.85%, respectivamente; para el aceite de soya el CDA de la energía de 97.72%.
2. El contenido de energía digestible (DE) para el paiche determinado en la harina de pescado prime es de 4.34 Mcal. /kg; torta de soya de 3.67; Harinilla de trigo, 2.24; y aceite de soya, 9.19 Mcal. /kg, expresado en base a la materia seca.
3. El requerimiento de proteína digestible para el paiche obtenido por regresión polinomial de segundo orden, usando como variable respuesta la eficiencia de utilización del alimento es de 47% (52% como proteína bruta)
4. El requerimiento de energía digestible (ED) para el paiche obtenido por regresión polinomial de segundo orden, usando como variable respuesta la eficiencia de utilización del alimento es de 4.94 Mcal. /Kg de alimento ($R^2 = 0.98$)
5. La relación adecuada de PD: ED para un óptimo rendimiento productivo y eficiente uso del alimento por el paiche es de 95.
6. La ecuación para estimar el requerimiento de proteína por el enfoque factorial fue:
$$P = 1.0409W^{0.80} + 0.3404 G$$
7. La ecuación para estimar el requerimiento de energía digestible por el enfoque factorial fue: $ED = 12.9272 W^{0.80} + 3.4604 G$

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones enunciadas se recomienda para alevines de paiche:

1. Utilizar los valores obtenidos de los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de ingredientes evaluados en modelos para formular alimentos balanceados innovadores para el paiche.
2. Utilizar los valores de 4.34 Mcal. ED/kg, en la harina de pescado prime; 3.67 en la torta de soya; 2.24 en la harinilla de trigo, y 9.19 Mcal. ED/ kg en el aceite de soya, expresado en base a la materia seca, para la formulación de alimentos balanceados para el paiche.
3. Utilizar como requerimiento proteína digestible en la formulación de alimentos balanceados para el paiche, el valor de 47% (52% como proteína total)
4. Utilizar como requerimiento de energía digestible en la formulación de alimentos balanceados para el paiche el valor de 4.94 Mcal. ED/ kg de alimento.
5. Se recomienda utilizar el valor de la relación PD: ED de 95 en la formulación de alimentos balanceados para el paiche, para optimizar el rendimiento productivo y la rentabilidad.
6. Determinar el requerimiento de proteína y energía digestible con el enfoque factorial de acuerdo al método convencional.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, I. y AHMAD, I. 2020. Effect of dietary protein levels on growth performance, hematological profile and biochemical composition of fingerlings rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* reared in Indian Himalayan region. *Aquaculture Report*, 16, 100268.

ALCÁNTARA, F. W., WUST, S., TELLO, M., REBAZA y D. DEL CASTILLO. 2006. Paiche el Gigante del Amazonas. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Iquitos. Perú. 70 pg.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST). 1990. Official methods of analysis: agricultural chemicals, contaminants and drugs. 15. ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1990. v.1, 684p.

BARBARÁN, R. E. 2019. Digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la torta de soya (*Glycine max*) en Juveniles de Paiche (*Arapaima gigas*). Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. 57 pg.

BENITO, C.E. 2022. Digestibilidad y energía digestible de harinilla de trigo y polvillo de arroz en el paiche (*Arapaima gigas*). Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 50pg.

BOOTH, M.A., G.L. ALLEN y R. WARNER-SMITH. 2000. Effects of grinding, steam conditioning and extrusion of a practical diet on digestibility and weight gain of Silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture* 182: 287-299.

BRIONES, K.B. 2018. Digestibilidad de ingredientes proteicos y requerimiento de proteína para el paco (*Piaractus brachyomus*) en la etapa de inicio. Tesis para optar el Grado de Maestro en Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina.

CHO, C. Y. y KAUSHIK, S. J. 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aspects of food production, consumption and energy values, 61, 132-172

CORNÉLIO, F., DA CUNHA, D. A., SILVEIRA, J., ALEXANDRE, D., SILVA, C. P. y FRACALOSSO, D. M. (2014). Dietary protein requirement of juvenile cachara catfish, *Pseudoplatystoma reticulatum*. Journal of the World Aquaculture Society, 45(1), 45-54.

CUNHA, D. A. D. 2015. Exigência energética em dietas para juvenis de cachara, *Pseudoplatystoma reticulatum*. Bol. Inst. Pesca, São Paulo, 41(3): 567 – 578

DABROWSKI, K., P. POCZYNSKI., G. KOCK. Y R. BERGER. 1989. Effect of partially or totally replacing fishmeal protein by soybean meal protein on growth Food utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout (*Salmo gardneri*): New in vivo test for endocrine pancreatic secretion. Aquaculture 77, 29-49.

DE ALENCAR TEIXEIRA, E. 2008. Avaliação de alimentos e exigências de energia e proteína para juvenis de surubim (*Pseudoplatystoma spp*). Tesis para optar el grado de doctor. Universidade Federal de Minas Gerais.

DOS SANTOS, F., K. SANTOS DE LIMA. E. BEVITORIO-PASSINATO., R. MOTA DE JESUS., F. OLIVEIRA., W.C. TELES-TONINI Y L.G. TABARES-BRAGA. 2015. Apparent digestibility of energetic ingredients by pirarucú juveniles (*arapaima gigas*). Lat. Am. J. Aquat. Res., 43(4): 786-791.

DOS SANTOS, F. 2016. Digestibility of animal and vegetable protein increments by pirarucú juveniles (*Arapaima gigas*), Revista Brasileira de Zootecnia, 45(10): 581-586.

FAO (THE FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA).

FORNIER, V., M.F. GOUILLOU-COUSTANS., R. METALLER., C. VACHOT., J. MORICEAU., C. HUELVAN., E. DESBRUGERES, Y S.J. KAUSHIK. 2003. Excess arginine affects urea excretion but does not improve N utilisation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 217, 559-576.

FORNIER, V., C. HUELVAN, Y E. DESBRUYERES. 2004. Incorporation of a mixture of plant Feedstuffs as substitute for fish meal diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 236, 451-465.

GAYLORD, T.G., F.T.BARROWS, S.D. RAWLES, K.LIU, P. BREGITZER, A. HANG, D.E.OBERT, Y C. MORRIS. 2009. Apparent digestibility of nutrients and Energy in extruded diets from cultivars of barley and wheat selected for nutritional quality in rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition* 15:306-312.

GAYLORD, T.G., F.T. BARROWS., A.M. TEAQUE., K.A. JOHANSEN., K.E. OVERTURE, Y B. SHEPERD. 2007. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 269, 514-524.

GLENCROSS, B., D. EWANS. W. HAWKINS, Y B. JONES. 2004. Evaluation of dietary inclusion of yellow lupin (*Lupinus luteus*) kernel and tissue meal on the growth, feed utilization and tissue histology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).
GUEVARA, L.M., 2022. Niveles de proteína y relación energía a proteína sobre el desempeño productivo y composición corporal de juveniles de paiche (*Arapaima gigas*). Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en Nutrition. UNA La Molina, 88 pg. Lima-Perú.

GOMES, E. F., P. REMA., A. GOUVEIA Y O. TELES. 1995. replacement of fish meal by plant proteins in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effect of the quality of the fishmeal based control diets on digestibility and nutrient balances. *Was. Sci. Tech.* Vol 31. No.10, 205-211.

GOMEZ-REQUENI, P., M. MINGARRO., J.A. CALDUCH-GINER, F. MEDALE., S. MARTIN., D.F. HOLULIHAN., S. KAUSHIK, Y J. PEREZ-SANCHEZ. 2004. Protein growth performance, aminoacid utilisation and somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 232, 493-510.

GUILLAUME, J., S. KAUSHIK., P. BERGOT y R. METAILLER. 2004. Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos .Ediciones Mundi-Prensa, 475pg.

HERNANDEZ, R.W. HARDY., D.G. MARQUEZ-MARTINEZ., P.V. RODRIGUEZ JIMENES Y B. GONZALES-RODRIGUEZ. 2015. Evaluation of apparent digestibility coefficients of individual feed ingredients in spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*). *Aquaculture Nutrition* 2015.

HUA, K., Y D.P.BUREAU. 2009. Development of a model to estimate digestible lipid content of salmonid fish feeds. *Aquaculture* 286:271-276.

IIAP (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA). 2017. El Cultivo del paiche. Biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas. Primera edición. Iquitos. Perú. 109 pg.

ITP (INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN). 2002. Aplicaciones tecnológicas para el procesamiento de paiche en la Amazonía Peruana. En línea. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/16516294/BIO42C-Aplicaciones-Tecnologicas-ProcesamientoPaicheITP>

ITUASSÚ, D. R., PEREIRA FILHO, M., ROUBACH, R., CRESCÊNCIO, R., CAVERO, B. A. S., y GANDRA, A. L. 2005. Crude protein levels for juvenile pirarucu. *Pesquisa Agropecuaria*. Volume 40, Número 3, Pags. 255-259.

KAUSHIK, S.J., y A. OLIVA-TELES. 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. *Aquaculture*, v.50, 89-101.

KAUSHIK, S.J., J.P. CRAVEDI., J.P. LALLES., J. SUMPTE., B. FAUCONNEAU, Y M. LAROCHE. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth protein utilization, potential estrogenic Effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 133, 257-274.

KAUSHIK S.J., D.COVES. G.DUTTO, y D.BLANC. 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 230, 391-404.

LEE, S. M., KIM, K. D., PARK, H. G., KIM, C. H., y HONG, K. E. 2001. Protein requirement of juvenile Manchurian trout *Brachymystax lenok*. *Fisheries science*, 67(1), 46-51.

LIASET, B., E.LIED, y M.ESPE.2000. Enzymatic hydrolysis of by-products from fish the fishfilleting Industry; chemical characterisation and nutritional evaluation. *Journal of Food Science and Agriculture* 80, 581-589.

LIMA, J. D. C., SCHORER, M., MELO, J. F. B., y BRAGA, L. G. T. 2021. Effect of enzymatic complex in the diet of pirarucu, *Arapaima gigas* juveniles. *Acta Amazonica*, 51, 207-213.

LIU, G., WANG, L., YU, H., PAN, M., YANG, M., ZHANG, W., y MAI, K. 2021. Effects of dietary protein levels on growth performance, digestibility, anti-oxidative responses and expressions of growth-related genes in triploid rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* farmed in seawater. *Aquaculture Nutrition*, 27(4), 998-1008.

LOVELL R.T. 1998. Nutrition and feeding of fish. Boston: Kluwer Academic Publishing. 1998. 267p.

LUPATSCH, I., KISSIL, G. W., SKLAN, D., y PFEFFER, E. 1998. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition*, 4(3), 165-173.

MARTINEZ- LLORENS, S., A.V. MON-INO., VIDAL.A.T., V.J.MOYA., M.P.TORRES, Y M. J. CERDA.2007. Soybean meal as a protein source in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) diets: Effects on growth and nutrient utilization. *Aquaculture Research*, 38, 82-90.

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN. 2022. Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola. Oficina General de Evaluación de Impactos y Estudios Económicos. Lima-Perú. 188pg.

MIRANDA, J.D. 2018. Digestibilidad de nutrientes y determinación del requerimiento energético de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*). Tesis para optar el Grado de Maestro. Universidad Nacional Agraria La Molina.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press. Washington, D.C.376 pg

OLIVA- TELES, A., P. ENES Y H. PERES 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. *Aquaculture*, pp 203-233.

OLIVA-TELES, A., A. COUTP., P.ENES, Y H.PERES. 2020. Dietary protein requirements of fish – a Meta- analysis. *Reviews in Acuaculture*, 12: 1445-1477.

OPSTVEDT, J., A. AKESNES., B. HOPE, Y I.H.PIKE. 2003. Efficiency of feed utilisation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) feed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. *Aquaculture* 221, 365-379.

PESTI, G.M., D. VEDENOV., J.A.CASON., L.BILLARD. 2009. A Comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. *British Poultry Science*. 50(1): 16-32.

RIVADENEYRA, J. L.2019. Determinación de la digestibilidad de nutrientes y energía digestible de la harina de pescado prime en juveniles de paiche (*arapaima gigas*). Tesis

para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.

ROLLIN, X., M.MAMBRINI., T. ABOUDI., Y. LARONDELLE, Y S.J. KAUSHIK. 2003. The optimum dietary indispensable amino acid pattern for growing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition* 90, 865-876.

SALINAS, A. (2017). Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) cruda en Paiche (*Arapaima gigas*). Tesis para optar el título de ingeniero. UNALM. Lima-Perú. 72p

SANDHOLM, M., R.R. SMITH., J.C. SHIH., M.L. SCOTT. 1976. Determination of antitrypsin activity on agar plates: relationship between antitrypsin and biological value of soybean for trout. *Journal Nutrition*.106, 761-766.

SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, EU). 1998. Aplicaciones del SAS en la investigación científica. Eds. E Flores; G Gutiérrez. Lima, PE.

SINSAYA, G. 2020. Determinación de digestibilidad y energía digestible del aceite de palma en juveniles de paiche (*arapaima gigas*). Tesis para optar el título de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 62pg.

TORSTENSEN, B.E., M. ESPE., I. STUBHAUG., R. WAAGBO., G. HEMRE., R. FONTANILLAS., U. NORDGARDEN., E.M.HEBROY., P. OLSVIK., y B.H.BERNTSSEN. 2008. Combined maximum replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) from 0.3 to 4 Kilo. *Aquaculture* 285, 193-200.

ZEITOUN, I.H., D.E. HULLREY., W.T. MAGEE., W.T.GILL., W.G.BERGEN., 1976. Quantifying nutrient requirements of fish. *J. Fish. Res. Board Can.* 33, 167-172.

WU, G. 2009. Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids* 37, 1-17

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Experimento I. Contenido nutricional de los ingredientes evaluados, promedios finales del CDA y digestibilidad aparente de los ingredientes evaluados

ITEM	Harina de pescado	Torta de soya	Torta sachá inchi crudo	Maíz amarillo	Harinilla de Trigo	Aceite de Soya	Subp. Aves	Subp. de trigo
Contenido nutricional (%)								
Materia Seca	94.25	92.55	93.85	87.15	90.25	99.90	91.58	92.36
Extracto etéreo	7.79	1.51	8.49	4.05	3.80	nd	nd	nd
Proteína	66.00	50.81	61.69	10.88	17.94	0.00	61.75	17.69
Energía bruta (Mcal/Kg)	4.73	4.34	4.68	3.88	4.09	9.40	5.13	4.15
CDA (%)								
Materia Seca	87.90	82.67	75.99	63.54	49.12	87.35	63.28	75.91
Extracto etéreo	93.35	82.94	75.66	81.72	73.77	nd	nd	nd
Proteína	90.82	85.28	79.55	80.84	68.29	0.00	73.14	79.97
Energía	91.79	84.71	76.45	67.77	54.85	97.72	67.04	77.27
Nutrientes digeribles (%)								
Materia seca	82.84	76.51	71.32	55.38	44.33	87.27	57.96	70.11
Extracto etéreo	7.27	1.25	6.42	3.31	2.80	nd	nd	nd
Proteína	59.94	43.33	49.07	8.79	12.25	0.00	45.17	14.14
Energía digestible	4.34	3.67	3.58	2.63	2.24	9.19	3.44	3.21

Anexo 2. Experimento II: Resultados obtenidos por tratamiento y repetición

Parámetros	32% HNA. PESCADO				22% HNA. PESCADO				11.00% HNA. PESCADO			
	20% T. SOYA				40% T. SOYA				60% T. SOYA			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
BIOMASA (g)												
Inicial	429.78	417.72	431.82	447.84	438.72	415.92	431.94	441.06	417.06	423.54	423.84	430.68
Final	1009.5	1128	1055.58	1029.6	1124.16	1008.9	1052.22	1023.72	744.3	791.1	766.2	763.44
Ganancia de biomasa	579.72	710.28	623.76	581.76	685.44	592.98	620.28	582.66	327.24	367.56	342.36	332.76
PESO (g)												
Inicial	71.63	69.62	71.97	74.64	73.12	69.32	71.99	73.51	69.51	70.59	70.64	71.78
Final	168.25	188	175.93	171.6	187.36	168.15	175.37	170.62	124.05	131.85	127.70	127.24
Ganancia de peso	96.63	118.39	103.96	96.97	114.24	98.83	103.38	97.11	54.55	61.27	57.06	55.47
CONSUMO ACUM IND. (g)												
30 días	76.73	84.4	78.79	75.23	82.11	79.06	82.03	84.91	56.75	66.16	61.67	62.09
CONV. ALIM. ACUM.												
30 días	0.79	0.71	0.76	0.78	0.72	0.8	0.80	0.87	1.04	1.08	1.08	1.12
TALLA (cm)												
Inicial	22.5	21.15	22.10	22.65	22.2	22.35	22.32	22.4	22	22.5	22.35	22.55
Final	28.05	29.5	28.73	28.65	28.6	28.35	28.33	28.05	25.8	25.65	25.82	26
Ganancia de talla	5.55	8.35	6.63	6	6.4	6	6.02	5.65	3.8	3.15	3.47	3.45
Sobrevivencia (%)	100	100	100.00	100	100	100	100.00	100	100	100	100.00	100
TASA DE ALIMEN (%)												
30 días	3.69	4.18	3.78	3.48	3.87	3.93	3.93	3.98	2.82	3.23	3.01	2.98

Anexo 3. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Biomasa Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	173.695200	86.847600	0.83	0.4656	ns
Error	9	938.217600	104.246400			
Corrección	11	1111.912800				
Total						

CV= 2.379092

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 4. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Biomasa Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	220746.8328	110373.4164	58.38	<.0001	*
Error	9	17014.4064	1890.4896			
Corrección	11	237761.2392				
Total						

CV=4.538313

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 5. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Biomasa

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	208539.5616	104269.7808	50.59	<.0001	*
Error	9	18551.2968	2061.2552			
Corrección	11	227090.8584				
Total						

CV= 8.584052

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 6. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Peso Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	4.82486667	2.41243333	0.83	0.4656	ns
Error	9	26.06160000	2.89573333			
Corrección	11	30.88646667				
Total						

CV= 2.379092

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 7. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Peso Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	6131.856467	3065.928233	58.38	<.0001	*
Error	9	472.622400	52.513600			
Corrección	11	6604.478867				
Total						

CV=4.538313

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 8. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Peso

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	5791.851350	2895.925675	50.58	<.0001	*
Error	9	515.314750	57.257194			
Corrección	11	6307.166100				
Total						

CV=8.583573

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 9. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Consumo

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	957.495467	478.747733	39.15	<.0001	*
Error	9	110.053825	12.228203			
Corrección	11	1067.549292				
Total						

CV= 4.715272

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 10. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Conversión Alimenticia

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	0.24481667	0.12240833	60.28	<.0001	*
		7	3			
Error	9	0.01827500	0.00203050			
		0	6			
Corrección	11	0.26309160				
n Total		7				

CV= 5.125500ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 11. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Talla Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	0.14781667	0.07390833	0.42	0.6673	ns
Error	9	1.57167500	0.17463056			
Corrección	11	1.71949167				
Total						

CV=1.877657

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 12. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Talla Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	19.97660000	9.98830000	70.50	<.0001	*
Error	9	1.27502500	0.14166944			
Corrección	11	21.25162500				
Total						

CV= 1.362375

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 13. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Talla

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	22.53060000	11.2653000	20.22	0.0005	*
Error	9	5.01502500	0.55722500			
Corrección	11	27.5456250				
Total						

CV= 13.89437

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 14. Experimento II: Análisis de Variancia del DCA para Tasa de alimentación

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	2	1.94611667	0.97305833	25.05	0.0002	*
Error	9	0.34955000	0.03883889			
Corrección	11	2.29566667				
Total						

CV= 5.515182

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 15. Experimento III: Pesos Iniciales, Pesos Finales y Consumo de Alimento

Parámetros	Biomasa inicial (g)	Biomasa Final (g)	Ganan. Biomasa (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganancia peso (g)	Consumo (g)	Conversión aliment.	Talla inicial (cm)	Talla final (cm)	Ganancia talla (cm)	Tasa de crecimiento	Eficiencia
44	161.36	424.24	262.88	40.34	106.06	65.72	66.82	1.02	18.03	24.35	6.32	1.43	0.98
	163.40	420.24	256.84	40.85	105.06	64.21	65.73	1.02	17.91	24.25	6.34	1.40	0.98
	161.88	417.20	255.32	40.47	104.30	63.83	63.94	1.00	17.21	23.30	6.09	1.39	1.00
	160.76	406.24	245.48	40.19	101.56	61.36	63.74	1.04	18.68	24.33	5.65	1.33	0.96
46	163.60	423.84	260.24	40.90	105.96	65.06	60.86	0.94	18.23	24.43	6.19	1.41	1.07
	161.80	452.68	290.88	40.45	113.17	72.73	63.46	0.87	18.62	25.45	6.83	1.58	1.15
	163.72	437.00	273.28	40.93	109.25	68.32	59.79	0.88	16.54	23.31	6.77	1.49	1.14
	166.00	434.76	268.76	41.50	108.69	67.19	59.77	0.89	18.72	26.10	7.38	1.46	1.12
48	164.40	470.16	305.76	41.10	117.54	76.43	61.29	0.80	17.61	24.83	7.22	1.66	1.25
	159.20	454.52	295.32	39.80	113.63	73.83	60.24	0.82	17.83	25.22	7.39	1.61	1.23
	165.92	460.68	294.76	41.48	115.17	73.69	60.26	0.82	17.56	25.23	7.67	1.60	1.22
	166.04	451.20	285.16	41.51	112.80	71.30	59.23	0.83	18.26	25.70	7.44	1.55	1.20
50	160.84	463.92	303.08	40.21	115.98	75.77	60.42	0.80	17.72	25.01	7.30	1.65	1.25
	161.44	467.04	305.60	40.36	116.76	76.40	60.52	0.79	17.72	25.60	7.88	1.66	1.26
	162.80	466.88	304.08	40.70	116.72	76.03	60.86	0.80	17.79	25.07	7.28	1.65	1.25
	160.48	465.96	305.48	40.12	116.49	76.37	60.38	0.79	17.71	25.13	7.43	1.66	1.26
52	163.48	471.76	308.28	40.87	117.94	77.07	60.64	0.79	17.83	25.14	7.31	1.68	1.27
	165.64	469.16	303.52	41.41	117.29	75.88	61.01	0.80	17.89	25.29	7.40	1.65	1.24
	163.44	465.12	301.68	40.86	116.28	75.42	60.29	0.80	17.81	25.04	7.22	1.64	1.25
	161.56	470.60	309.04	40.39	117.65	77.26	60.65	0.79	17.75	25.13	7.39	1.68	1.27
54	163.00	463.36	300.36	40.75	115.84	75.09	61.61	0.82	17.80	25.01	7.21	1.63	1.22
	157.00	460.80	303.80	39.25	115.20	75.95	62.36	0.82	17.58	25.24	7.66	1.65	1.22
	163.12	476.04	312.92	40.78	119.01	78.23	61.93	0.79	17.66	25.19	7.53	1.70	1.26
	160.32	461.28	300.96	40.08	115.32	75.24	61.78	0.82	17.70	25.28	7.58	1.64	1.22
57	169.00	472.72	303.72	42.25	118.18	75.93	64.21	0.85	17.82	25.46	7.64	1.65	1.18
	167.76	472.24	304.48	41.94	118.06	76.12	63.81	0.84	17.78	25.45	7.67	1.65	1.19
	157.44	464.60	307.16	39.36	116.15	76.79	62.16	0.81	17.67	25.57	7.90	1.67	1.24
	166.28	469.16	302.88	41.57	117.29	75.72	64.12	0.85	18.05	25.47	7.42	1.65	1.18

Anexo 16. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Biomasa Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	58.4877714	9.7479619	1.26	0.3171	ns
Error	21	162.4112000	7.7338667			
Correcció	27	220.8989714				
n Total						

CV= 1.706992

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 17. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Biomasa Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	9708.81349	1618.13558	32.68	<.0001	*
Error	21	1039.68040	49.50859			
Correcció	27	10748.49389				
n Total						

CV= 1.547227

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 18. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Biomasa

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	9510.57657	1585.09610	32.53	<.0001	*
Error	21	1023.29560	48.72836			
Correcció	27	10533.87217				
n Total						

CV= 2.391858

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 19. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Peso Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	3.65548571	0.60924762	1.26	0.3171	ns
Error	21	10.15070000	0.48336667			
Correcció	27	13.80618571				
n Total						

CV= 1.7069992

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 20 Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Peso Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	606.8008429	101.1334738	32.68	<.0001	*
Error	21	64.9800250	3.0942869			
Correcció	27	671.7808679				
n Total						

CV= 1.547227

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 21. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia Peso

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	594.5654714	99.0942452	32.52	<.0001	*
Error	21	63.9872000	3.0470095			
Corrección	27	658.5526714				
Total						

CV= 2.392430

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 22. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Consumo

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	78.9439214	13.1573202	13.05	<.0001	*
Error	21	21.1790500	1.0085262			
Corrección	27	100.1229714				
Total						

CV= 1.623618

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 23. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Conversión Alimenticia

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	0.15808571	0.02634762	90.33	<.0001	*
Error	21	0.00612500	0.00029167			
Corrección	27	0.16421071				
Total						

CV=2.001637

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 24. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Talla Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	0.34049286	0.05674881	0.26	0.9497	ns
Error	21	4.59365000	0.21874524			
Corrección	27	4.93414286				
Total						

CV= 2.621858

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 25. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Talla Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	5.24158571	0.87359762	3.10	0.0247	*
Error	21	5.92020000	0.28191429			
Corrección	27	11.16178571				
Total						

CV= 2.122066**ns: no significativo. *: significativo.****Anexo 26. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Talla**

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	7.25720000	1.20953333	15.77	<.0001	*
Error	21	1.61032500	0.07668214			
Corrección	27	8.86752500				
Total						

CV= 3.855418**ns: no significativo. *: significativo.****Anexo 27. Experimento III: Análisis de Variancia del DCA para Tasa de Crecimiento**

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	6	0.28039286	0.04673214	31.40	<.0001	*
Error	21	0.03125000	0.00148810			
Corrección	27	0.31164286				
Total						

CV= 2.431615**ns: no significativo. *: significativo.**

Anexo 28. Experimento IV: Pesos Iniciales, Pesos Finales y Consumo de Alimento

Tratamientos	Biomasa inicial (g)	Biomasa final (g)	Ganancia biom (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganancia peso (g)	Consumo (g)	Conversión Alim.	Talla inicial (cm)	Talla Final (cm)	Ganan. Talla (cm)	Eficiencia alimenticia
1	495.43	1355.10	859.67	165.14	451.70	286.56	292.65	1.02	28.24	39.42	11.18	0.98
1	522.47	1391.07	868.60	174.16	463.69	289.53	272.98	0.94	28.33	39.37	11.04	1.06
1	510.56	1376.46	865.90	170.19	458.82	288.63	263.57	0.91	28.30	39.36	11.06	1.10
1	512.03	1402.62	890.59	170.68	467.54	296.86	296.77	1.00	28.28	39.36	11.07	1.00
2	509.12	1408.54	899.42	169.71	469.51	299.81	269.55	0.90	28.30	39.53	11.23	1.11
2	511.43	1575.06	1063.63	170.48	525.02	354.54	283.62	0.80	28.27	39.56	11.29	1.25
2	507.64	1399.76	892.12	169.21	466.59	297.37	267.38	0.90	28.33	39.67	11.34	1.11
2	508.37	1490.39	982.02	169.46	496.80	327.34	280.27	0.86	28.25	39.54	11.29	1.17
3	499.89	1528.93	1029.04	166.63	509.64	343.01	273.55	0.80	28.13	39.99	11.86	1.25
3	502.98	1442.21	939.23	167.66	480.74	313.08	286.54	0.92	28.31	39.97	11.66	1.09
3	536.97	1487.25	950.28	178.99	495.75	316.76	288.42	0.91	28.25	40.01	11.76	1.10
3	510.53	1509.73	999.20	170.18	503.24	333.07	280.51	0.84	28.63	39.91	11.28	1.19
4	521.40	1459.40	938.00	173.80	486.47	312.67	281.36	0.90	28.35	39.83	11.48	1.11
4	494.85	1402.11	907.26	164.95	467.37	302.42	262.24	0.87	28.41	39.77	11.36	1.15
4	513.44	1454.61	941.17	171.15	484.87	313.72	257.55	0.82	28.34	39.79	11.45	1.22
4	508.86	1442.90	934.04	169.62	480.97	311.35	269.95	0.87	28.26	39.79	11.65	1.15
5	501.27	1489.26	987.99	167.09	496.42	329.33	291.04	0.88	28.28	39.79	11.34	1.13
5	506.31	1458.85	952.54	168.77	486.28	317.51	269.74	0.85	28.28	39.79	11.61	1.18
5	502.75	1493.31	990.56	167.58	497.77	330.19	286.63	0.87	28.29	39.79	11.50	1.15
5	521.98	1462.30	940.32	173.99	487.43	313.44	266.18	0.85	28.27	39.79	11.61	1.18

Anexo 29 Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Biomasa Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	45.064380	11.266095	0.09	0.9842	ns
Error	15	1875.735700	125.049047			
Corrección	19	1920.800080				
Total						

CV=2.193023

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 30. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Biomasa Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	30362.45857	7590.61464	3.08	0.0214	*
Error	15	28585.11105	1905.67407			
Corrección	19	58947.56962				
Total						

CV= 3.007526

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 31. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Biomasa

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	30093.94148	7523.48537	4.03	0.0205	*
Error	15	27997.04750	1866.46983			
Corrección Total	19	58090.98898				

CV= 4.588320

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 32. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Peso Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	5.0181700	1.2545425	0.09	0.9841	ns
Error	15	208.4719500	13.8981300			
Corrección	19	213.4901200				
Total						

CV=2.193314

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 33. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Peso Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	3373.393330	843.348332	3.98	0.0214	*
Error	15	3176.039650	211.735977			
Corrección	19	6549.432980				
Total						

CV= 3.007486

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 34. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Peso

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	3344.103420	836.025855	4.03	0.0205	*
Error	15	3110.446875	207.363125			
Corrección	19	6454.550295				
Total						

CV=4.588075

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 35. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Consumo

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	552.280450	138.070112	1.12	0.3847	*
Error	15	1852.733250	123.515550			
Corrección	19	2405.013700				
Total						

CV= 4.011824

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 36. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Conversión Alimenticia

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.03367000	0.00841750	4.44	0.0144	*
Error	15	0.02842500	0.00189500			
Corrección	19	0.06209500				
Total						

CV=4.916047

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 37. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Talla Inicial

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.01235000	0.00308750	0.30	0.8759	ns
Error	15	0.15635000	0.01042333			
Corrección	19	0.16870000				
Total						

CV= 0.360695

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 38. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Talla Final

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.86227000	0.21556750	41.70	<.0001	*
Error	15	0.07755000	0.00517000			
Corrección	19	0.93982000				
Total						

CV=0.181083

ns: no significativo. *: significativo.

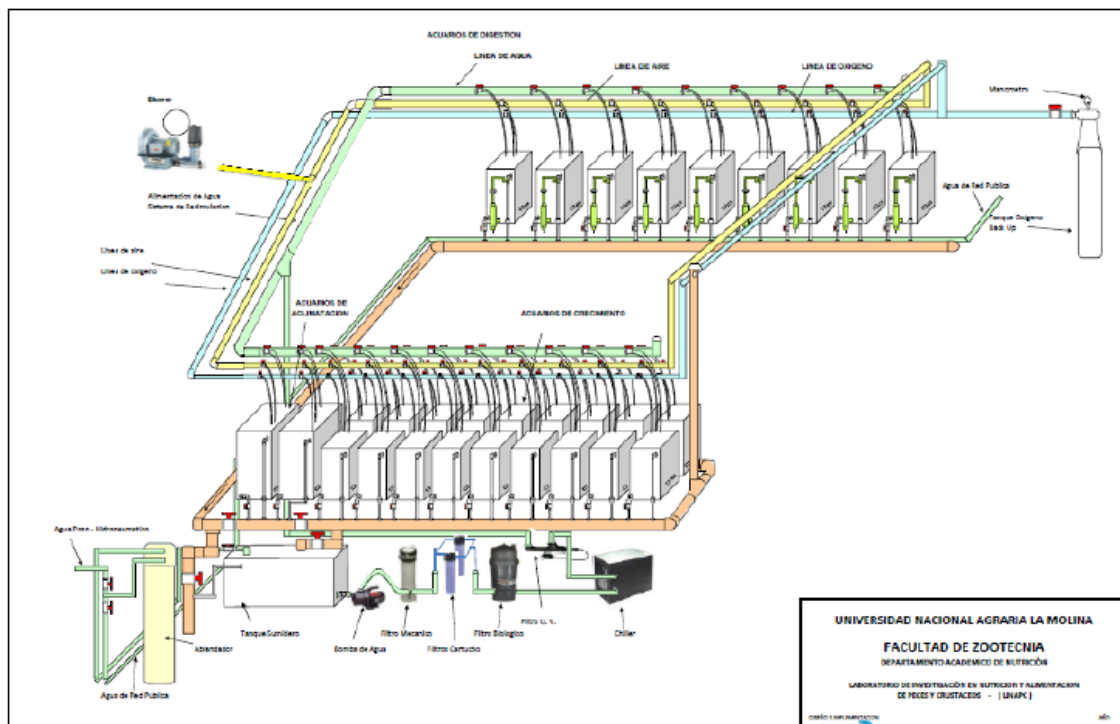
Anexo 39. Experimento IV: Análisis de Variancia del DCA para Ganancia de Talla

FV	GL	SC	CM	F Value	Pr>F	Sig.
Modelo	4	0.74887000	0.18721750	9.22	0.0006	*
Error	15	0.30465000	0.02031000			
Corrección	19	1.05352000				
Total						

CV=1.249896

ns: no significativo. *: significativo.

Anexo 40. Diagrama del Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos.



Anexo 41. Matriz de composición de ingredientes.

MATRIZ DE COMPOSICION DE INGREDIENTES															
NUTRIENTES	Precio	Materia seca (%)	ED Mcal/kg	Prot. %	EE, %	FC, %	Lis.,%	Arg., %	Met., %	M+C., %	Trip., %	Treo., %	P.,%	Cal.,%	Sod., %
INGREDIENTES	\$/kg														
MAIZ NACIONAL	2	88.00	3.52.40	8.40	4.20	1.90	0.25	0.43	0.17	0.32	0.06	0.32	0.27	0.01	0.01
TORTADE SOYA	3	88.00	3.36	46.00	1.40	3.60	3.00	3.50	0.66	1.40	0.06	1.88	0.69	0.27	0.01
HARINILLA DE TRIGO	3.1	89.00	2.34	16.00	4.50	5.50	0.65	0.96	0.16	1.02	0.18	0.52	0.90	0.13	0.01
HNA. DE PESCADO PRIME	7.5	90.00	4.07	66.00	8.00	0.60	5.02	3.94	1.68	2.22	0.78	2.84	2.86	4.00	0.90
POLVILLO DE ARROZ	1.3	91.00	3.05	13.00	20.00	6.80	0.42	0.87	0.19	0.38	0.11	0.33	0.14	0.05	0.10
ACEITE DE SOYA	6.5	99.00	9.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FOSFATO DICÁLCICO	4.2	93.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	24.00	0.00
SAL	0.35	93.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.00
L-LISINA	8	93.00	4.12	94.00	0.00	0.00	78.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DL-METIONINA	16	94.40	4.86	58.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00	99.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CL.COLINA,60%	4.6	99.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PREMEZCLA VIT.-MIN.	28	99.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00