

**Obtención de un concentrado proteico hidrolizado a partir de vísceras de trucha y su
inclusión en dietas para alimentación de *Oreochromis* spp**

Yerika Jeslanny Morales Bravo

Asesores:

PhD. Crispulo Perea Román

PhD (C). Vicente Ortiz Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Maestría en Biotecnología Alimentaria

2026

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía en todo momento y por regalarme lo más preciado: la vida y la salud. Su presencia me ha brindado la fortaleza necesaria para cumplir cada uno de mis objetivos y para culminar este proceso con éxito.

A mis padres, Napoleón Morales Lomelín y Sandra Patricia Bravo Bravo, por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por creer en mí y por depositar su fe y esperanza en la realización de este sueño; su aliento y sacrificio han sido pilares fundamentales en mi trayectoria.

A mi hermana, Nazly Yunaira Morales Bravo, por sus valiosos consejos y su apoyo inquebrantable; su confianza en mis capacidades ha sido una fuente de motivación que me impulsó a seguir adelante y a enfrentar los desafíos con determinación.

Finalmente, a mi sobrino, Endrick Kalerd Murcia Morales, cuya llegada ha iluminado mi vida; su presencia me ha motivado aún más a cumplir mis metas y a esforzarme por ser un mejor ejemplo, cada sonrisa suya llena mi corazón de felicidad y me recuerda la importancia de seguir adelante con mis sueños.

Agradecimientos

A Dios, por ser mi fortaleza y guía en cada momento de este proceso. A mis padres y familiares, por su apoyo y estímulo constante que me motivaron a culminar esta etapa. A mis directores, PhD. Crispulo Perea Román y Mg. Vicente Ortiz, por su acompañamiento, dedicación, paciencia y por compartir su conocimiento, así como por su capacidad para orientar mis ideas, no solo en el desarrollo del trabajo, sino también en mi formación como investigadora.

A la Universidad del Cauca, a los grupos de investigación ASUBAGROIN y NUTRIFACA, y a todas las personas que forman parte de ellos, por el valioso conocimiento adquirido a lo largo de este proceso. Agradezco al Centro Internacional Biotecnológico Agroindustrial (CDA) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, por permitirme realizar todas las pruebas experimentales y por el uso de sus equipos e instalaciones. También expreso mi gratitud al equipo de investigadores, estudiantes y profesores de la línea de nutrición de la Universidad del Cauca, por ser una parte fundamental en el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por aceptarme como parte de su comunidad y por el acompañamiento a lo largo de este proceso. A sus profesores, por brindarme su conocimiento y apoyo incondicional en el desarrollo del estudio. Por último, agradezco a MINCIENCIAS, por financiar mi trabajo de investigación en el marco del proyecto “Efecto nutricional de la proteína hidrolizada de vísceras de trucha concentrada por separación mecánica en dietas extruidas para *Oreochromis spp.*” de la convocatoria de proyectos Conectando Conocimiento 2019, así como a todas las personas e instituciones que hicieron posible este proceso.

Resumen

El sector piscícola en Colombia es esencial para el desarrollo económico, pero su crecimiento se ve limitado por la escasez de materias proteicas y energéticas de bajo costo y alto valor biológico, necesarias para la producción de concentrados. En este sentido, los subproductos piscícolas, como las vísceras, representan una fuente valiosa de nutrientes que pueden ser aprovechados en la alimentación animal. El objetivo de esta investigación fue obtener un concentrado proteico hidrolizado a partir de vísceras de trucha (CPHVT) y evaluar su inclusión en la dieta de juveniles de *Oreochromis* spp. Para ello, se obtuvo el CPHVT mediante tres grados de hidrólisis y dos métodos de separación (separador centrífugo y separador centrifugado + centrífuga). Posteriormente, se realizó la caracterización nutricional y microbiológica del concentrado proteico hidrolizado de acuerdo con las normas AOAC. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento correspondió al CPHVT con un grado de hidrólisis del 50,67%, obtenido mediante el método de separación centrifugado + centrífuga, el cual presentó un contenido de proteína de 67,66%, un extracto etéreo de 7,21% y una digestibilidad de 90,71%. Posteriormente, se evaluaron los parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo en 180 juveniles de *Oreochromis* spp, con un peso promedio de $115 \pm 4,15$ gramos, distribuidos en cinco tratamientos con tres réplicas cada uno. Los juveniles fueron alimentados con una dieta control (0% de CPHVT) y dietas experimentales con inclusiones de CPHVT en proporciones de 50%, 75% y 100%. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en todas las variables analizadas, destacándose la dieta con un 50% de CPHVT, que presentó los mejores resultados en términos de crecimiento y aprovechamiento nutritivo. Desde el punto de vista económico, se observó que a medida que aumentaba la inclusión de CPHVT en la dieta, el costo de la dieta disminuía. El índice de conversión económica fue más favorable en el tratamiento con

50% de CPHVT, mientras que el índice de rentabilidad económica fue el más alto en el tratamiento con 75% de CPHVT, en comparación con la dieta sin CPHVT. En conclusión, el concentrado proteico hidrolizado a partir de vísceras de trucha se presenta como una materia prima alternativa viable para la alimentación de *Oreochromis* spp, debido a su alto valor nutricional, bajo costo y contenido reducido de extracto etéreo, lo que lo convierte en una opción para la formulación de dietas más sostenibles y rentables en la piscicultura.

Palabras claves: Separación mecánica, subproductos piscícolas, caracterización nutricional, parámetros de crecimiento, aprovechamiento nutritivo, *Oreochromis* spp

Abstract

The Colombian fish farming sector is essential for economic development, but its growth is limited by the shortage of low-cost, high-biological-value protein and energy sources necessary for feed production. In this regard, fish by-products, such as viscera, represent a valuable source of nutrients that can be used in animal feed. The objective of this research was to obtain a hydrolyzed protein concentrate from trout viscera (HPVC) and evaluate its inclusion in the diet of juvenile *Oreochromis* spp. To this end, HPVC was obtained using three stages of hydrolysis and two separation methods (centrifugal separator and centrifugal separator + centrifuge). Subsequently, the hydrolyzed protein concentrate was nutritionally and microbiologically characterized in accordance with AOAC standards. The results showed that the best treatment corresponded to CPHVT with a degree of hydrolysis of 50.67%, obtained through the centrifuge + centrifuge separation method, which presented a protein content of 67.66%, an ether extract of 7.21% and a digestibility of 90.71%. Subsequently, the growth and nutritional utilization parameters were evaluated in 180 juvenile *Oreochromis* spp., with an average weight of 115 ± 4.15 grams, distributed in five treatments with three replicates each. The juveniles were fed a control diet (0% CPHVT) and experimental diets with CPHVT inclusions in proportions of 50%, 75% and 100%. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in all the variables analyzed, with the diet containing 50% CPHVT being the most effective in terms of growth and nutritional value. Economically, it was observed that as the inclusion of CPHVT increased, the cost of the diet decreased. The economic conversion ratio was most favorable in the treatment with 50% CPHVT, while the economic profitability index was highest in the treatment with 75% CPHVT, compared to the diet without CPHVT. In conclusion, hydrolyzed protein concentrate from trout viscera is presented as a viable alternative raw material for feeding *Oreochromis* spp. due to its

high nutritional value, low cost, and reduced ether extract content, making it an option for formulating more sustainable and profitable diets in fish farming.

Keywords: Mechanical separation, fish by-products, nutritional characterization, growth parameters, nutritional use, *Oreochromis* spp.

Tabla de Contenido

introducción	20
Planteamiento Del Problema.....	22
Justificación	24
Objetivos.....	26
Objetivo General.....	26
Objetivos Específicos.....	26
Marco Conceptual Y Teórico.....	27
Estado Mundial Y Nacional De La Acuicultura Y La Piscicultura	27
<i>Estado Mundial</i>	27
<i>Estado Nacional</i>	27
Subproductos Piscícolas.....	28
Hidrolizado De Visceras De Trucha	29
Concentrado Proteico De Hidrolizado De Visceras De Trucha Mediante Separación Mecánica	30
Generalidades De La Tilapia Roja (<i>Oreochromis Spp</i>).....	30
Origen Y Distribución Geográfica De La Tilapia Roja	31
Morfología Externa E Interna De La Tilapia Roja (<i>Oreochromis Spp</i>).	32
<i>Morfología Externa</i>	32
<i>Morfología Interna</i>	32
Biología De La Especie	33

Condiciones Medioambientales	33
Alimentación Y Requerimientos Nutricionales	34
Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo	35
Metodología	36
Localización	36
Material Biológico	36
<i>Visceras De Trucha</i>	36
<i>Juveniles De Tilapia Roja (Oreochromis Spp)</i>	37
Hidrolizado De Visceras De Trucha Arcoíris	37
Seguimiento Al Proceso De Hidrólisis De Las Visceras De Trucha	38
<i>Grado De Hidrólisis</i>	38
<i>Potencial De Hidrógeno (Ph)</i>	40
<i>Acidez Titulable</i>	41
<i>Consistencia</i>	42
<i>Nitrógeno Volátil Total</i>	42
<i>Perfil Microbiológico</i>	43
Estabilización De Los Hidrolizados	44
Caracterización Nutricional De Los Hidrolizados Proteicos Enteros De Visceras De Trucha Obtenidos	45
Obtención De Concentrado Proteico A Partir De Hidrolizado Visceras De Trucha Mediante Procesos De Separación Mecánica	46
<i>Determinación De Proteína Y Grasa Total</i>	48

	10
<i>Determinación De Proteína Soluble</i>	50
<i>Determinación De Nitrógeno Volátil Total</i>	50
Diseño Experimental Y Análisis Estadístico	51
Caracterización Nutricional Y Microbiológica Del Tratamiento Seleccionado	51
<i>Análisis Nutricional Tratamiento T4</i>	51
<i>Índice De Peróxidos E Índice De Anisidina O Tba</i>	52
<i>Digestibilidad In Vitro Del Tratamiento T4 En La Fase Gástrica Utilizando Pepsina</i>	52
<i>Análisis Microbiológico Realizado Al Concentrado Proteico Hidrolizado</i>	53
Formulación Y Mezclado Para La Preparación De Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado	53
Extrusión De Las Dietas	57
Evaluación De Las Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado En Juveniles De Tilapia Roja	57
<i>Plan De Manejo</i>	58
<i>Registro Diario De Alimentación Y Temperatura</i>	60
Determinación De Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo	61
Análisis Económico De La Efectividad De Las Dietas	63
Resultados Y Discusión	64
Seguimiento Al Proceso De Hidrólisis Proteica Endógena De Las Vísceras De Trucha	64
<i>Grado De Hidrólisis Proteica</i>	64
<i>Potencial De Hidrogeno (Ph) Y Acidez Titulable (Att)</i>	66
<i>Consistencia</i>	68

	11
<i>Nitrógeno Volátil Total</i>	69
<i>Perfil Microbiológico</i>	71
Caracterización Nutricional De Los Hidrolizados Proteicos Enteros De Visceras De Trucha	73
<i>Materia Seca (Ms)</i>	74
<i>Proteína Total (Pt)</i>	75
<i>Extracto Etéreo (Ee)</i>	76
<i>Cenizas (Cn)</i>	77
<i>Fibra Cruda (Fc)</i>	78
<i>Extracto No Nitrogenado (Enn)</i>	79
<i>Energía Bruta (Eb)</i>	80
Obtención Del Concentrado Proteico A Partir De Hidrolizado Visceras De Trucha Mediante	
Procesos De Separación Mecánica	81
<i>Proteína Bruta (Pb)</i>	82
<i>Extracto De Etéreo (Ee)</i>	84
<i>Proteína Soluble (Ps)</i>	87
<i>Nitrógeno Total Volátil (Nv)</i>	88
Selección Del Mejor Tratamiento	90
Caracterización Nutricional Y Microbiológica Del Concentrado Proteico Hidrolizado	
Seleccionado	90
Evaluación De Las Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado En Juveniles	
De Tilapia Roja (<i>Oreochromis Spp</i>).....	93

Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo En Tilapia Roja Alimentadas Con Dietas Extruidas A Partir De La Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado	94
<i>Incremento De Peso (Ip) E Incremento De Talla (It)</i>	95
<i>Tasa De Crecimiento Diario (Tcd)</i>	100
<i>Índice De Conversión Alimenticia (Ica)</i>	102
<i>Tasa De Eficiencia De La Proteína (Tep) Y Tasa De Eficiencia De La Energía (Tee)</i>	105
Análisis Económico De Dietas Extruidas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado De Vísceras De Trucha En La Alimentación De <i>Oreochromis Spp</i>	110
<i>Precio De La Dieta</i>	111
<i>Índice De Conversión Económica (Ice) Y Índice De Rentabilidad Económica (Ire)</i>	113
Conclusiones	117
Recomendaciones	118
Referencias Bibliográficas	120
Apéndices.....	146

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Visceras De Trucha.</i>	37
Figura 2. <i>Juveniles De Tilapia Roja (Oreochromis spp).</i>	37
Figura 3. <i>Preparación Del Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i>	38
Figura 4. <i>Medición Del Grado De Hidrólisis Del Hidrolizado.</i>	40
Figura 5. <i>Registro Del Ph Del Hidrolizado</i>	41
Figura 6. <i>Titulación Con Naoh 0,1 N Para Medición De Acidez Titulable Del Hidrolizado.</i>	41
Figura 7. <i>Medición De La Consistencia Del Hidrolizado.</i>	42
Figura 8. <i>Determinación Del Nitrógeno Volátil Del Hidrolizado.</i>	43
Figura 9. <i>Perfil Microbiológico Del Hidrolizado.</i>	44
Figura 10. <i>Tamizado Y Estabilizado Del Hidrolizado.</i>	45
Figura 11. <i>Análisis Proximal Del Hidrolizado.</i>	46
Figura 12. <i>Obtención De Concentrado Proteico Hidrolizado.</i>	48
Figura 13. <i>Grasa Total Del Concentrado Proteico Hidrolizado.</i>	49
Figura 14. <i>Proteína Total Del Concentrado Proteico Hidrolizado.</i>	49
Figura 15. <i>Proteína Soluble Del Concentrado Proteico Hidrolizado.</i>	50
Figura 16. <i>Digestibilidad In Vitro Del Concentrado Proteico Hidrolizado (T4).</i>	53
Figura 17. <i>Preparación De Las Dietas.</i>	54
Figura 18. <i>Proceso De Extrusión De Las Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado.</i>	57
Figura 19. <i>Plan De Manejo Al Inicio De La Evaluación.</i>	58
Figura 20. <i>Recambio Parcial Y Total Del Agua De Las Jaulas De Los Peces.</i>	59
Figura 21. <i>Medición De Calidad Fisicoquímica Del Agua De Las Jaulas.</i>	60

Figura 22. <i>Alimentación De Los Peces Y Toma De Temperatura Al Agua De Las Jaulas.</i>	61
Figura 23. <i>Biometrías Para La Determinación De Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo.</i>	63
Figura 24. <i>Grado De Hidrólisis Del Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i>	64
Figura 25. <i>Valores De Ph Y Acidez Titulable Del Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i>	66
Figura 26. <i>Consistencia Del Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i>	68
Figura 27. <i>Proteína Bruta Del Concentrado Proteico Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i>	82
Figura 28. <i>Extracto De Etéreo Del Concentrado Proteico Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i> ..	85
Figura 29. <i>Proteína Soluble Del Concentrado Proteico Hidrolizado De Visceras De Trucha.</i> ...	88
Figura 30. <i>Incremento De Peso.</i>	96
Figura 31. <i>Incremento De Talla.</i>	97
Figura 32. <i>Tasa De Crecimiento Diario</i>	100
Figura 33. <i>Índice De Conversión Alimenticia</i>	103
Figura 34. <i>Tasa De Eficiencia De La Proteína</i>	106
Figura 35. <i>Tasa De Eficiencia De La Energía.</i>	106
Figura 36. <i>Precio De La Dieta.</i>	111
Figura 37. <i>Índice De Conversión Económica</i>	114
Figura 38. <i>Índice De Rentabilidad Económica.</i>	114

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Clasificación taxonómica de la Tilapia roja.</i>	31
Tabla 2. <i>Requerimiento nutricional de la Tilapia roja en etapa de levante.</i>	35
Tabla 3. <i>Formulación de las dietas.</i>	55
Tabla 4. <i>Nitrógeno total volátil del hidrolizado de vísceras de trucha.</i>	69
Tabla 5. <i>Perfil microbiológico de las vísceras de trucha y del hidrolizado con diferentes grados de hidrólisis.</i>	71
Tabla 6. <i>Caracterización de los hidrolizados con tres diferentes grados de hidrólisis.</i>	74
Tabla 7. <i>Valores medios de proteína bruta extracto etéreo proteína soluble y nitrógeno volátil del concentrado proteico hidrolizado.</i>	81
Tabla 8. <i>Composición química y microbiológica de la proteína hidrolizada concentrada GH 50,67% separador centrifugado + centrifuga (tratamiento seleccionado)</i>	90
Tabla 9. <i>Parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo obtenidos en Oreochromis spp fase de engorde al incluir concentrado proteico hidrolizado en su alimentación.</i>	94
Tabla 10. <i>Análisis económico de dietas extruidas con concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha para Oreochromis spp.</i>	110

Lista de Apéndices

Apéndice A. <i>Registro De Alimentación</i>	146
Apéndice B. <i>Registro De Temperatura</i>	147
Apéndice C. <i>Registro De Biometría</i>	148

Lista de símbolos y abreviaturas

VT: Vísceras de trucha

HVT: Hidrolizado de vísceras de trucha

CPHVT: Concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha

GH: Grado de hidrólisis

PB: Proteína bruta

EE: Extracto etéreo

CN: Cenizas

FC: Fibra cruda

EB: Energía bruta

ENN: Extracto no nitrogenado

MS: Materia seca

NV: Nitrógeno volátil

PS: Proteína soluble

NTC: Norma técnica nacional

AOAC: Association of Analytical Communities

pH: Potencial de hidrógeno

ATT: Acidez titulable

HP: Harina de pescado

IP: Incremento de peso

IT: Incremento de talla

TCD: Tasa diaria de crecimiento

ICA: Índice de conversión alimenticia

TEP: Tasa de eficiencia de la proteína

TEE: Tasa de eficiencia de la energía

Lista de ecuaciones

Ec. 1	39
Ec. 2	46
Ec. 3	52
Ec. 4	61
Ec. 5	62
Ec. 6	62
Ec. 7	62
Ec. 8	62
Ec. 9	62
Ec. 10	62
Ec. 11	63
Ec. 12	63
Ec. 13	63

Introducción

A nivel mundial, la acuicultura se ha consolidado como una de las actividades agropecuarias de mayor crecimiento y relevancia, desempeñando un papel crucial en la producción de alimentos altamente proteicos (Marine, 2023). En el año 2022, la producción global alcanzó un récord de 223,2 millones de toneladas, de las cuales 185,4 millones corresponden a animales acuáticos, incluyendo 91 millones provenientes de la pesca de captura. Entre las principales especies de agua dulce, las tilapias y otros cíclidos destacan con una producción de 6.549 millones de toneladas (FAO, 2024).

En Colombia, la producción acuícola también ha mostrado un desarrollo significativo, alcanzando 192.521 toneladas en 2021 (MADR, 2021). Este crecimiento se beneficia de los abundantes recursos hídricos y la diversidad de ecosistemas acuáticos que favorecen el sector (Sánchez & Puentes, 2024). La tilapia se ha consolidado como la especie más producida, valorada por su rápida tasa de crecimiento, capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales, su calidad nutricional y sabor excepcional (Vera, 2023). Esta especie representa una fuente de proteína de alta calidad que ha ganado reconocimiento tanto en el mercado nacional como en el de exportación, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico de numerosas comunidades rurales (Hernández, 2021).

No obstante, el sector enfrenta retos significativos, siendo los altos costos de las materias primas uno de los más críticos. Estos costos, que representan entre el 65% y el 70% de los gastos totales en la producción, se ven agravados por la dependencia de insumos tradicionales como la harina de pescado y la torta de soya (Ortiz, 2021; Pham *et al.*, 2020). Se estima que los precios de la harina de pescado aumentarán un 13% en los próximos años debido a la creciente demanda

global (FAO, 2024). Esta situación es especialmente preocupante para los pequeños y medianos productores en Colombia, quienes deben lidiar con precios comerciales elevados y fluctuantes.

Ante este panorama, surge la necesidad de explorar alternativas que no solo reduzcan costos, sino que también promuevan la sostenibilidad del sector. En el departamento del Cauca, los subproductos piscícolas, como las vísceras de trucha, representan un desafío ambiental debido a su manejo inadecuado, ya que muchas se desechan en áreas residenciales y cuerpos de agua, contribuyendo a problemas significativos (Hoyos *et al.*, 2018). Sin embargo, estas vísceras poseen propiedades nutricionales valiosas que pueden aprovecharse mediante procesos de bioconversión, transformándolas en aminoácidos y péptidos de alta calidad para la alimentación de peces (Cardoza *et al.*, 2021).

En este contexto, la biotecnología ofrece oportunidades clave para optimizar la utilización de estos recursos subutilizados y transformarlos en productos de alto valor. A través de técnicas de bioconversión, se pueden obtener hidrolizados que mejoran la calidad nutricional de los alimentos para peces, contribuyendo a la reducción de costos (Salazar *et al.*, 2023). Aunque el hidrolizado de subproductos piscícolas presenta una alternativa proteica interesante, estudios previos han enfrentado dificultades al incluirlo en altos porcentajes en las dietas, principalmente debido a sus altos niveles de aceite, que pueden provocar efectos extra-calóricos y extraenergéticos en los animales (Perea *et al.*, 2021).

Por esta razón, en esta investigación se propone utilizar técnicas de separación para obtener un concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha con bajos niveles de aceite que facilite su inclusión en las dietas y contribuya a reducir los costos de alimentación, evaluando específicamente su efectividad en la alimentación de *Oreochromis* spp.

Planteamiento Del Problema

La piscicultura ha experimentado un crecimiento sostenido a nivel mundial, consolidándose como una fuente clave de alimentos. En 2022, la producción mundial alcanzó los 92,3 millones de toneladas, de las cuales el 88,7% se destinó al consumo humano, mientras que el resto se utilizó en la elaboración de productos no alimentarios, como harinas y aceites de pescado (FAO, 2024). Este crecimiento refleja la importancia del sector en la seguridad alimentaria global, especialmente frente al aumento de la demanda de proteínas animales (Cuencas *et al.*, 2024). En Colombia, la piscicultura también ha avanzado de manera significativa. En 2021 el país alcanzó una producción de 81.000 toneladas, destacándose el departamento del Cauca, que contribuyó con un 2% de la producción nacional (MADR, 2021). Las especies más producidas en la región incluyen tilapia, cachama y trucha (Alzate, 2018).

Sin embargo, la industria enfrenta desafíos que limitan su potencial de crecimiento, siendo uno de los principales el alto costo de la alimentación acuícola, que representa entre el 60% y el 75% de los gastos totales de producción (Ortiz, 2021). Este gasto se ve incrementado por la escasez y el alto costo de materias primas esenciales, como la harina de pescado y la torta de soya, que son fundamentales en la formulación de dietas debido a su alto contenido proteico (Pham *et al.*, 2020).

La harina de pescado, en particular, se ha consolidado como la materia prima más importante en la formulación de dietas acuícolas, debido a que es una fuente de proteínas completas que contienen todos los aminoácidos esenciales para el crecimiento de los peces. Sin embargo, su alta demanda, especialmente, utilizada en la alimentación animal, está elevando sus precios y generando competencia con el consumo humano de pescado. Esto incrementa la presión sobre las poblaciones pesqueras, afectando negativamente la sostenibilidad del sector. Se

estima que, debido a esta creciente demanda global, los precios de la harina de pescado aumentarán un 13% en los próximos años (FAO, 2024).

Además de los costos de alimentación, otro reto significativo es la subutilización de subproductos generados durante el proceso de faenamiento, como las vísceras de los peces. En 2020, la producción de trucha en Colombia generó aproximadamente 4.459 toneladas de vísceras, las cuales no se aprovechan de manera eficiente (MADR, 2021). En el departamento del Cauca, la asociación APROPESCA reportó la producción de 193,6 toneladas de vísceras de trucha que se gestionan de forma inadecuada (Perea *et al.*, 2017). Esta falta de aprovechamiento adecuado puede generar riesgos ambientales y de salud pública, debido a la alta carga microbiana que poseen (Feriz *et al.*, 2018; Zapata *et al.*, 2019).

Ante estos desafíos, surge la necesidad de explorar alternativas que mejoren la sostenibilidad y rentabilidad de la piscicultura. Una opción viable es utilizar las vísceras de trucha como fuente de proteína en la formulación de dietas acuícolas, a través de tecnologías como la bioconversión, un proceso en el que los residuos orgánicos, como las vísceras de trucha, se transforman en productos de alto valor, como proteínas altamente nutritivas. Esta práctica no solo permitiría reducir los costos de alimentación, sino también promover una gestión más responsable de los residuos de la industria, contribuyendo al bienestar ambiental y económico de los productores (Perea *et al.*, 2021).

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿La inclusión de un concentrado proteico hidrolizado a partir de vísceras de trucha en las dietas para peces mejora el crecimiento y aprovechamiento nutritivo de *Oreochromis spp*?

Justificación

El consumo de alimentos acuáticos ha crecido de manera significativa a nivel mundial, con un aumento anual del 3% desde 1961, superando y duplicando la tasa de crecimiento poblacional, que es del 1,6%. Este crecimiento ha dado lugar a un aumento en el consumo per cápita, que pasó de 9,1 kg en 1961 a 20,6 kg en 2022 (FAO, 2024). Este incremento no solo ha sido impulsado por un aumento en la producción, sino también por avances tecnológicos en la acuicultura, que han permitido mejorar la eficiencia de la producción acuática (Buitrago, 2024). En 2022, el consumo de alimentos acuáticos alcanzó su nivel más alto en décadas, representando el 17% de la proteína de origen animal y el 7% de todas las proteínas consumidas globalmente (FAO, 2024).

Colombia se ha destacado en acuicultura con un crecimiento del 17% en 2021, alcanzando una producción de 192.521 toneladas de especies como tilapia, trucha y cachama. Este aumento, en comparación con el año anterior, representa el 0,1% del PIB nacional y el 3,4% del PIB agropecuario (MADR, 2021), consolidando su expansión en el sector. La tilapia, en particular, es la especie de mayor interés en el país debido a su rápido crecimiento y su excelente valor nutricional. El departamento del Cauca, por su parte, muestra un gran potencial para el desarrollo de la piscicultura, con una producción de 2.686 toneladas en 2020, siendo la tilapia y la trucha las especies más producidas (MADR, 2021). Por eso, la industria pesquera se ha convertido en un pilar importante para la economía del país, lo que ha impulsado el desarrollo de alternativas innovadoras y el uso de tecnologías que buscan mejorar tanto la rentabilidad como la sostenibilidad de la industria.

Las tecnologías de bioconversión han emergido como una solución prometedora para aprovechar subproductos de diversas industrias, incluida la piscícola (Garcés *et al.*, 2021). A través de procesos de hidrolizados enzimáticos que emplean las enzimas proteolíticas presentes en las vísceras de trucha, es posible obtener productos con más del 25% de proteína y un contenido lipídico que varía entre el 40% y el 55% (Hoyos *et al.*, 2018). Estos hidrolizados, debido a su alto valor proteico y bajo costo, se presentan como una alternativa viable y sostenible para la alimentación de peces, contribuyendo a reducir la dependencia de fuentes como la harina de pescado (Mohanty *et al.*, 2018; Zapata *et al.*, 2019).

Además, para mejorar el aprovechamiento de estos hidrolizados y aumentar su inclusión en las dietas acuícolas, se están desarrollando técnicas innovadoras de separación que permiten reducir el contenido de grasa y concentrar la proteína (Garcés *et al.*, 2021). Estas estrategias mejoran la composición nutricional de los productos, favoreciendo su inclusión en las dietas sin afectar la salud y el rendimiento de los animales (Mohanty *et al.*, 2018; Velasco & Gutiérrez, 2019). Así, la bioconversión de residuos de vísceras de trucha, cuando es adecuadamente tratada, no solo ofrece una alternativa económica y nutricionalmente rica, sino que también puede sustituir parcial o totalmente la harina de pescado en la formulación de piensos para la alimentación animal, brindando una solución sostenible a largo plazo para el sector acuícola (Perea *et al.*, 2021).

Objetivos

Objetivo General

Obtener un concentrado proteico hidrolizado a partir de las vísceras de trucha, mediante separación mecánica y evaluar su inclusión en dietas para alimentación de *Oreochromis* spp

Objetivos Específicos

Establecer las condiciones de hidrólisis de las vísceras de trucha para determinar sus características nutricionales y microbiológicas.

Obtener un concentrado proteico hidrolizado a partir de vísceras de trucha y caracterizar sus propiedades nutricionales y microbiológicas

Evaluar los parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo en Tilapia roja alimentada con dietas con inclusión de concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha.

Marco Conceptual Y Teórico

Estado Mundial Y Nacional De La Acuicultura Y La Piscicultura

Estado Mundial

La acuicultura es un sector diverso que produce aproximadamente 498 especies acuáticas a nivel global, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y algas (FAO, 2022). En 2020, la producción mundial de animales acuáticos alcanzó los 185,4 millones de toneladas, de las cuales la pesca de captura aportó 91 millones de toneladas (49%), y la acuicultura contribuyó con 94,4 millones de toneladas (51%) (FAO 2024). Este crecimiento se debe a su alto rendimiento zootécnico y su valor como fuente accesible de proteína.

Se estima que para 2030, las especies de agua dulce seguirán siendo predominantes en la acuicultura global. En 2020, el 88,78% de la producción acuícola se destinó al consumo humano directo, alcanzando una media de 20,6 kg per cápita anuales. El resto se utilizó para la producción de harina y aceite de pescado, que son esenciales para la formulación de piensos y otras aplicaciones industriales (Espinoza & Valverde, 2022). Este aumento en la producción acuícola responde al crecimiento constante del consumo de productos acuáticos a nivel mundial (FAO, 2024).

Estado Nacional

Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo de la acuicultura, gracias a su abundante riqueza hídrica, clima favorable y biodiversidad acuática, lo que ha impulsado un crecimiento del 37,8% en la producción acuícola en el cuarto trimestre de 2023, alcanzando 192.521 toneladas (Aparicio *et al.*, 2021). Las especies más destacadas son la tilapia (100.958 toneladas), cachama (33.072 toneladas) y trucha (27.850 toneladas), que son altamente demandadas en los mercados nacionales e internacionales (MADR, 2021). Estas especies

contribuyen al PIB nacional con un 0,1% y al PIB agropecuario con un 3,4%. Los departamentos con mayor producción son Huila, Meta y Tolima, y el Cauca, aunque con una contribución del 1,5%, se ha consolidado como un actor clave en la producción de tilapia y trucha (MADR, 2021).

El departamento del Cauca ha jugado un papel relevante en este crecimiento, ocupando el décimo lugar a nivel nacional con una producción de 2.686 toneladas en 2019. Este departamento, caracterizado por su continuo avance en el sector acuícola, ha mostrado un potencial significativo para la producción de especies como la tilapia y la trucha. Sin embargo, a pesar de este progreso, los altos costos de alimentación siguen siendo una limitante importante, lo que frena el desarrollo sostenido del sector agropecuario en la región y en el país en general (MADR, 2021).

Subproductos Piscícolas

El crecimiento demográfico ha aumentado la demanda de alimentos, lo que ha impulsado un crecimiento anual del 1,5% en el consumo per cápita de pescado, generando 75,24 millones de toneladas de subproductos piscícolas, que representan el 45% del peso del pescado (Murthy *et al.*, 2018). Estos subproductos incluyen cabezas (9 a 12%), vísceras (12 a 18%), piel (1 a 3%), huesos (9 a 15%) y escamas (alrededor del 5%) (Rodríguez, 2022). Los subproductos piscícolas son una fuente rica de ácidos grasos poliinsaturados, proteínas, enzimas, minerales y otros compuestos bioactivos con propiedades funcionales, que no están siendo aprovechadas de manera óptima. (Jamalluddin *et al.*, 2022). En lugar de ser utilizados, estos subproductos se descartan, lo que no solo desperdicia un recurso valioso, sino que también genera un problema ambiental significativo, ya que su desecho contribuye a la contaminación (Murthy *et al.*, 2018).

Hidrolizado De Vísceras De Trucha

Los hidrolizados de residuos de origen animal son productos de la acción enzimática, que pueden ser propias de los animales o se pueden adicionar mediante enzimas comerciales. Este proceso se llama bioconversión y permite que las proteínas sean convertidas en péptidos más pequeños, de mayor valor agregado y con características funcionales y bioactivas mejoradas. (Perea *et al.*, 2021).

En los últimos años, los hidrolizados a partir de vísceras de trucha han presentado grandes desafíos para la industria de alimentos, debido a que representan una fuente importante de proteínas y otros compuestos bioactivos como lípidos, enzimas digestivas y vitaminas (Villamil *et al.*, 2017). Estos hidrolizados se generan mediante la acidificación directa con ácidos orgánicos, inorgánicos o una mezcla de ambos, lo que reduce el pH y crea un entorno adecuado para la acción de las enzimas endógenas de las vísceras. Este proceso también inhibe el crecimiento de microorganismos no deseados, previniendo la descomposición y preservando la calidad del hidrolizado (Montero, 2021).

La biotecnología, a través de técnicas de bioconversión, ha sido indispensable en la transformación de subproductos del faenamiento piscícolas en productos de alto valor nutricional, que pueden ser incluidos en dietas para alimentación de peces (Korkmaz & Tokur, 2022). Las técnicas utilizadas para generar estos productos son sencillas, económicas, no generan contaminación, requieren poca infraestructura y pueden producirse a diferentes escalas. Además de generar un producto estable que puede ser almacenado por largos periodos de tiempo a una temperatura ambiente sin alterar sus características nutricionales (Perea *et al.*, 2017). De esta manera, la biotecnología ofrece una solución innovadora para maximizar el aprovechamiento de los subproductos generados en el procesamiento piscícola (Sary *et al.*, 2017).

Concentrado Proteico De Hidrolizado De Visceras De Trucha Mediante Separación Mecánica

El concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha se obtiene mediante la separación mecánica del hidrolizado. Estos hidrolizados presentan características nutricionales ideales para los requerimientos de los peces, sin embargo, el alto contenido de grasa visceral puede causar un efecto extraenergético y extracalórico en los animales (Perea *et al.*, 2021). Por ello, es indispensable utilizar técnicas de separación que reduzcan considerablemente el contenido de grasa y, al mismo tiempo, concentren la proteína, logrando así un producto con un alto contenido proteico (Garcés *et al.*, 2021).

La separación mecánica se aplica para mezclas heterogéneas y son técnicas basadas en diferencias físicas entre las partículas, tales como el tamaño, la forma o la densidad (Ollero, 2020). El separador centrífugo es un equipo ideal para la separación de estos sustratos. Mediante centrifugación, separa los sólidos de líquidos de diferente densidad a través de una fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga se genera dentro del equipo estacionario mediante la introducción de un fluido con alta velocidad tangencial a una cámara cilíndrico-cónica, formando un vórtice de considerable intensidad. Al rotar un cilindro a alta velocidad, se induce un esfuerzo de tensión considerable en la pared de este, lo que permite la separación de tres fases, es decir, la separación simultánea de dos fases líquidas no miscibles con diferentes densidades y una fase sólida, que es la fase más pesada (Castelló *et al.*, 2021).

Generalidades De La Tilapia Roja (*Oreochromis spp*)

La Tilapia roja, también conocida como mojarra roja, es un tetrahíbrido del cruce de cuatro especies de tilapia: tres de ellas de origen africano y una cuarta israelí, pertenecientes al género *Oreochromis* (*O. mossambicus* cruzada con *O. niloticus*, *O. aureus* u *O. hormorum*)

(Méndez *et al.*, 2018). Esto ha permitido la obtención de un pez cuya coloración fenotípica puede ir desde el rojo cereza hasta el albino, con una forma robusta, de poca exigencia respiratoria, capaz de soportar el calor y bajos niveles de oxígeno (Noriega *et al.*, 2020). Se encuentra ampliamente distribuidas a nivel mundial en zonas tropicales y subtropicales, gracias a sus bondades productivas como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades poblacionales, adaptación al cautiverio, acepta una amplia gama de alimentos, resistencia a enfermedades, carne blanca de calidad y es de gran interés comercial (Méndez *et al.*, 2018; Harrison, 2024). En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica de la Tilapia roja.

Tabla 1

Clasificación Taxonómica De La Tilapia Roja

Taxonomía	
Filo	Vertebrata
Subfilo	Craneata
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciformes
Familia	Cichlidae
Género	<i>Oreochromis</i>
Especie	<i>Oreochromi</i>

Nota. (Méndez *et al.*, 2018)

Origen Y Distribución Geográfica De La Tilapia Roja

La tilapia, un pez dulceacuícola de la familia Cichlidae, originario del cercano Oriente y África, se ha expandido por diversas regiones del mundo debido a su resistencia a enfermedades, facilidad de reproducción y dieta variada. Actualmente, se produce en 85 países de Asia, Europa,

África y América, con el 98% de la actividad fuera de su hábitat natural (Sánchez, 2017 & Harrison, 2024). En Colombia, fue introducida por primera vez en los años 60 desde Brasil a través del Instituto Nacional de Piscicultura Tropical, y más tarde reintroducida desde Estados Unidos en 1964 para investigaciones ambientales por la Universidad de Caldas y el INDERENA. El gobierno colombiano apoyó la acuicultura mediante investigación, transferencia tecnológica y capacitación, lo que llevó a la construcción de estaciones en Repelón (Atlántico) y Gigante (Huila) por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, hoy AUNAP (Parrado, 2012).

Morfología Externa E Interna De La Tilapia Roja (*Oreochromis spp.*)

Morfología Externa

Las tilapias presentan un cuerpo robusto, comprimido lateralmente, se caracterizan por tener un solo orificio a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal; presentan una boca protráctil y ancha con los labios carnosos y gruesos, dientes de tipo cónico y algunas veces incisivos, y escamas de tipo ctenoideo; en algunas especies los machos presentan la cabeza más grande que la hembra (Churuchumbi, 2019; López, 2021; Harrison, 2024).

Poseen aletas pares (pectorales y ventrales) e impares (aletas dorsales, la caudal y la anal), la parte anterior de la aleta dorsal consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta; la aleta anal es corta, redondeada y de forma truncada, lo que le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación (Churuchumbi, 2019; López, 2021; Harrison, 2024)

Morfología Interna

El sistema digestivo en la tilapia se inicia en la boca, con dientes mandibulares que pueden ser unicuspides, bicúspides o tricúspides, y continua en el esófago hasta el estómago; el

intestino tiene forma de tubo hueco y redondo, que se adelgaza después del píloro, está diferenciado en dos partes una interior corta que corresponde al duodeno y una parte posterior más grande de menor diámetro (López, 2021). El intestino es 7 veces más largo que la longitud total del cuerpo, característica que predomina en las especies herbívoras. Presentan dos glándulas; una de ellas es el hígado, que es un órgano grande de tamaño y de forma alargada (Churuchumbi, 2019). Sujeta a la parte superior del hígado, se encuentra la vesícula biliar que es una estructura pequeña y redonda de coloración verdosa y se comunica con el intestino a través de un pequeño y diminuto tubo por el que se vierte un líquido verdoso llamado bilis. La otra glándula digestiva es el páncreas que presenta su forma en pequeños trocitos y fragmentos redondos, no se ve a simple vista (Harrison, 2024; López, 2021).

Biología De La Especie

La Tilapia roja puede alcanzar en su edad adulta entre 1.000 a 3.000 gramos, con una vida útil de 2 a 3 años. En cuanto a la reproducción; su madurez sexual se alcanza entre los 4 a 6 meses para el caso de los machos y en hembras de 3 a 5 meses de edad, además puede desovar 5 a 8 veces por año entre 1.000 y 1.500 huevos dependiendo de la hembra y en condiciones óptimas de temperatura de 25°C a 31°C, el tipo de incubación es bucal por tiempo de 3 a 6 días (Chamorro, 2021). La proporción recomendada para el manejo de reproducción es de 1,2 a 2 machos por 3 hembras. El peso comercial es de 250 a 300 g que lo puede alcanzar entre 6 a 7 meses (Frederick, 2022).

Condiciones Medioambientales

La tilapia es una especie que tiene la capacidad de adaptarse a un amplio rango de condiciones medioambientales, a continuación se presenta los parámetros óptimos para la producción de esta especie: temperatura del agua debe estar entre los 25 y 32 °C, oxígeno

disuelto entre 3-5 mg/L, pH de 6,5-8,5, alcalinidad total entre 50-150 mg/L, dureza entre 80-110 mg/L, nitritos de 0-0,1 mg/L, nitratos de 1,5-2 mg/L, amonio total con rangos entre 0,1 mg/L y la turbidez óptima debe mantenerse entre 0-5 unidades de turbiedad (Frederick, 2022; Valenzuela *et al.*, 2017).

Alimentación Y Requerimientos Nutricionales

El género *Oreochromis* está provisto de branquio-espinas, los cuales pueden filtrar el agua para obtener su alimentación, que consiste en algas y otros organismos acuáticos microscópicos. Esta especie es omnívora, ingiere alimentos tanto de origen vegetal como animal, aceptan fácilmente los alimentos suministrados artificialmente como plantas, desperdicios de frutas, verduras y vegetales, semillas oleaginosas y cereales, todos ellos empleados en forma suplementaria (Abdel & El-Sayed, 2020). Las tilapias aceptan también alimento balanceado en forma de pellets cuando son producidas de manera semiintensiva o intensivamente (Sánchez, 2017).

Los nutrientes que requieren los peces para su crecimiento, reproducción, y otras funciones fisiológicas están determinados por la edad. La cantidad y calidad de los nutrientes ingeridos tienen un efecto directo sobre el crecimiento; por tanto, los requerimientos del pez para el buen rendimiento productivo son la sumatoria de sus necesidades de mantenimiento más el de crecimiento (Lupatsch, 2012). En la Tabla 2, se muestran los requerimientos de los nutrientes necesarios para la tilapia en la fase de levante.

Tabla 2*Requerimiento Nutricional De La Tilapia Roja En Etapa De Levante*

Componente	Requerimiento
Proteína Cruda	30-32%
Lípidos	10-15%
Energía Digestible	3000-3200 kcal/kg
Lisina	1,53%
Metionina	0,92%
Calcio	0,7%
Fósforo	0,8-1%

Nota. (Abdel & El-Sayed, 2020)

Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo

El crecimiento de los peces está determinado fundamentalmente por la cantidad de alimento ingerido y las condiciones ambientales, destacando la temperatura del agua (Velázquez, 2022). Los peces, como animales poiquiloterms, son incapaces de regular su temperatura corporal, por lo que su metabolismo únicamente funciona de forma óptima dentro de un rango de temperaturas adecuadas, dentro del cual la ingestión y el crecimiento son máximos, pero disminuyen cuando la temperatura está por encima o por debajo del rango óptimo (Cerdá, 2016). El crecimiento potencial se expresa con una alimentación a saciedad; aunque el índice de conversión puede disminuir, por lo que la tasa de alimentación óptima debe ser determinada por la eficiencia económica, considerando tanto el costo del alimento como el valor de la biomasa de los peces (Abdel & El-Sayed, 2020).

Metodología

Localización

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio y en la unidad de bioensayos en peces del Centro Internacional Biotecnológico Agroindustrial (CBA) y en el laboratorio de Reología de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, localizado en la vereda Las Guacas del municipio de Popayán Cauca entre los 02° 45' 08.91'' Latitud Norte y 76° 55' 10.86'' Longitud Oeste, a una altura promedio de 1.737 m.s.n.m, temperatura promedio 18,7°C y 2.594 mm de precipitación anual.

Material Biológico

Para el desarrollo de la investigación, el material biológico utilizado fue el siguiente:

Visceras de Trucha

Las vísceras de trucha fueron empleadas para la elaboración del concentrado proteico hidrolizado y obtenidas de la Asociación Productora y Comercializadora de Productos Acuícolas y Agrícolas de Silvia, Cauca – APROPESCA, las cuales se transportaron en recipientes plásticos hasta el laboratorio del Centro Internacional Biotecnológico Agroindustrial (CBA) de la Universidad del Cauca (Figura 1).

Figura 1

Visceras De Trucha



Juveniles De Tilapia Roja (Oreochromis spp)

Se utilizaron 180 animales monosexo de con un peso promedio inicial de $115,00 \pm 4,15$ g y talla $18,31 \pm 0,22$ cm, suministrados por ASOPIM (Asociación de piscicultores de Mindalá), ubicada en el embalse de La Salvajina del municipio de Suárez-Cauca (Figura 2).

Figura 2

Juveniles de Tilapia roja (Oreochromis spp)



Hidrolizado De Vísceras De Trucha Arcoíris

Para el hidrolizado, se emplearon vísceras del faenamiento de la trucha y se mezclaron con 2,5% de ácido fórmico (85% m/v) para bajar el pH y facilitar la acción hidrolítica de las

enzimas endógenas presentes en las vísceras. Además, se adicionó 0,25% de benzoato de sodio como fungicida y 0,1% de Butil-Hidroxi-Tolueno como antioxidante (Perea *et al.*, 2021). El hidrolizado fue almacenado en recipientes plásticos cerrados para su posterior seguimiento durante 9 días (Figura 3).

Figura 3

Preparación Del Hidrolizado De Vísceras De Trucha



Seguimiento Al Proceso De Hidrólisis De Las Vísceras De Trucha

El seguimiento del hidrolizado se realizó mediante la medición de parámetros como grado de hidrólisis, pH, acidez titulable, consistencia, nitrógeno volátil total y perfil microbiológico, con el propósito de llevar un control sobre el desarrollo de la hidrólisis. A continuación, se describe el procedimiento de cada uno.

Grado De Hidrólisis

Se registraron los grados de hidrólisis diarios hasta alcanzar los rangos de 40-45%, 50-55% y 60-65%. Para ello, se tomó una muestra de 4 g de hidrolizado, se mezcló con 12 g de solución buffer fosfato (pH 7.0), se centrifugó a 12.000 rpm a 4°C durante 15 minutos y se filtró. Luego, se realizaron diluciones del líquido y se tomó 128 μ L de la muestra a la que se adicionó 2 mL de solución buffer (pH 8.2). En un cuarto oscuro, se agregó 1 mL del reactivo TNBS (0.01%) y se agitó durante 15 segundos. Posteriormente, se colocó la mezcla a baño maría a

50°C por 30 minutos, se añadió 2 mL de solución de bisulfito de sodio (0.1 M) y se dejó reposar durante 15 minutos (Figura 4). Finalmente, se realizaron lecturas a 420 nm con un espectrofotómetro UV-Visible para determinar el grado de hidrólisis, siguiendo la ecuación 1 (Jamdar *et al.*, 2010).

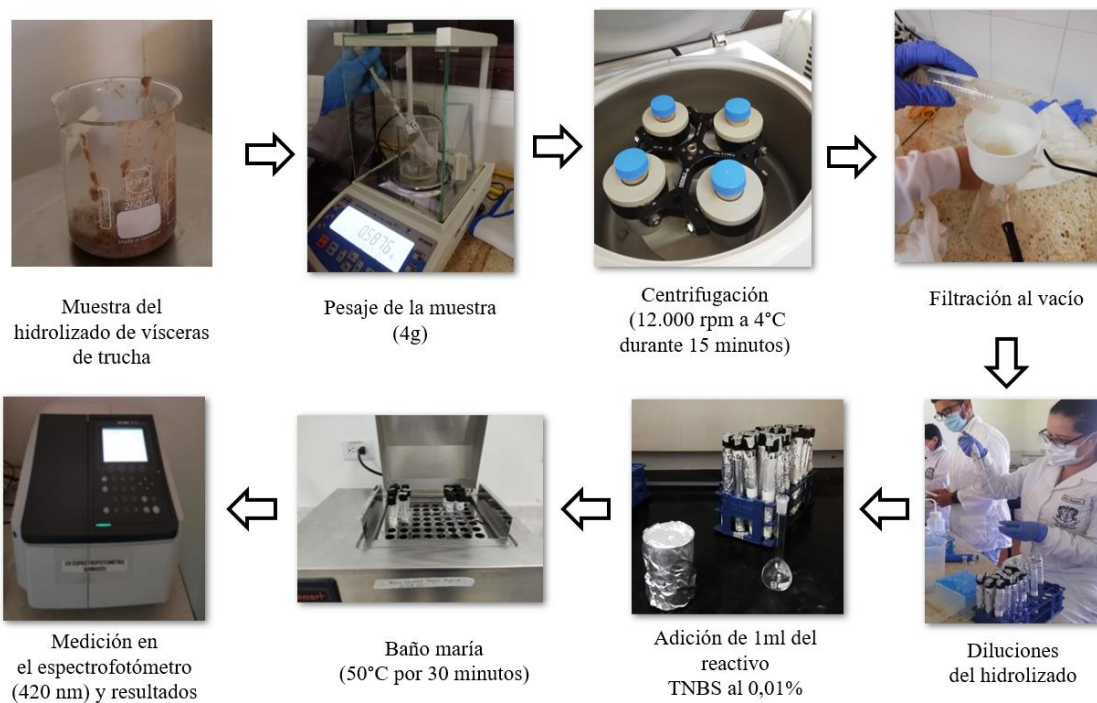
$$\%GH = \frac{P_1 - P_0}{P_T - P_0} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde,

P1= Concentración de aminoácidos liberados expresados como mg Leu/g de proteína en la muestra seca.

PT= Concentración de aminoácidos totales expresados como mg Leu/g de proteína en la muestra seca.

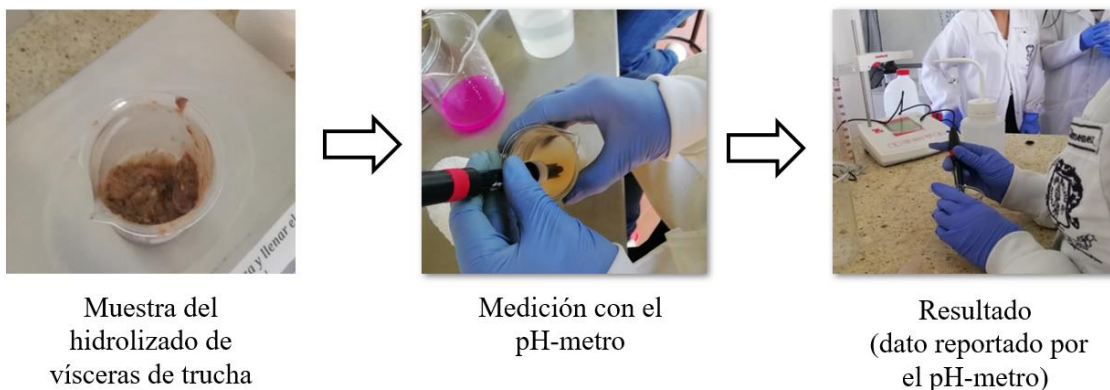
P0= Concentración de aminoácidos iniciales expresados como mg Leu/g de proteína en la muestra seca.

Figura 4*Medición Del Grado De Hidrólisis Del Hidrolizado****Potencial De Hidrógeno (pH)***

Se efectuó cada tres días, desde el inicio del proceso de hidrólisis (día 0) hasta el día 9. El seguimiento se realizó mediante el método del potenciómetro, utilizando un pH-metro de sólidos D-51E con precisión de 0,01 (Figura 5), el cual permitió realizar directamente la medición (Perea *et al.*, 2017).

Figura 5

Registro Del pH Del Hidrolizado

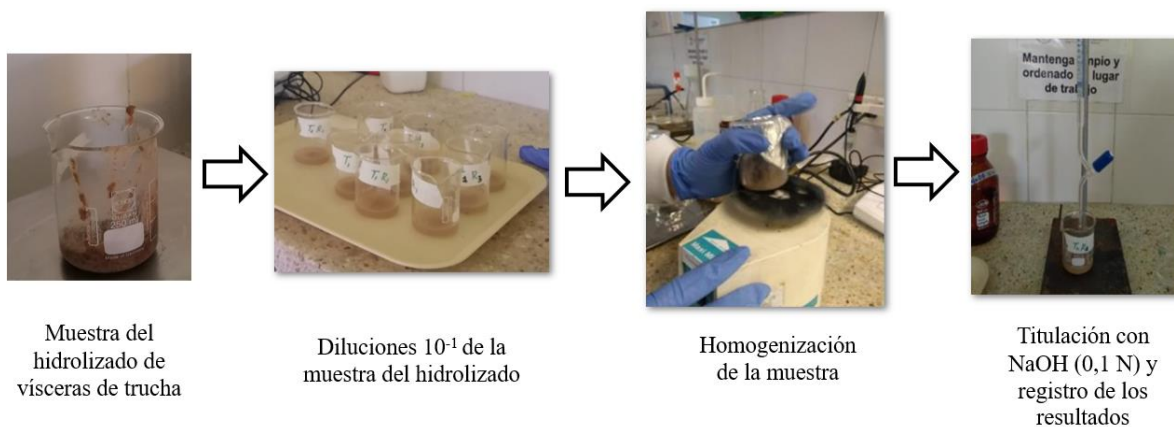


Acidez Titulable

Se tomó cada tres días, al igual que el pH, desde el día 0 (cero) donde empezó la hidrólisis hasta el día 9 (nueve). Para ello, se realizó una dilución 10^{-1} de la muestra del hidrolizado y se tituló con NaOH 0,1 N (Figura 6), hasta alcanzar un pH de 8,2 (Agudelo *et al.*, 2010)

Figura 6

Titulación Con NaOH 0,1 N Para Medición De Acidez Titulable Del Hidrolizado

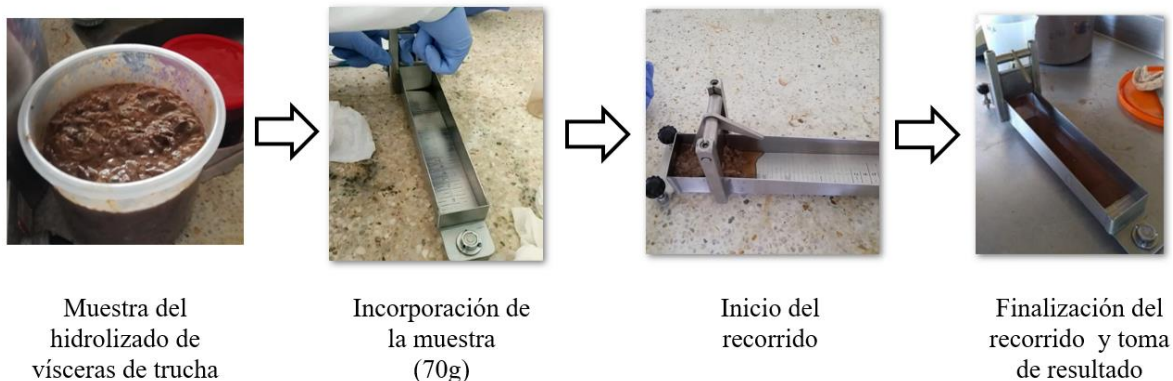


Consistencia

De la misma manera que el pH y la acidez titulable, la medición de la consistencia se realizó cada tres días; para esto, se homogenizó la muestra del hidrolizado y se tomó 70 g, luego se colocó en el consistómetro y se esperó 30 segundos para registrar la distancia recorrida (Perea *et al.*, 2017) (Figura 7).

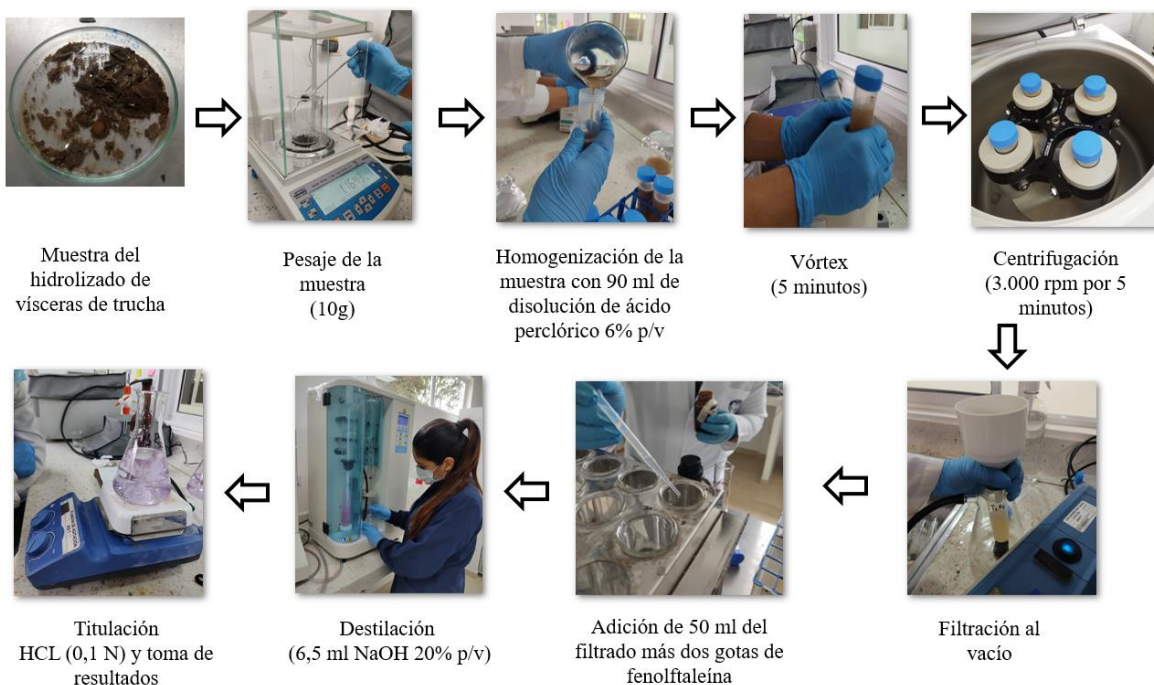
Figura 7

Medición De La Consistencia Del Hidrolizado

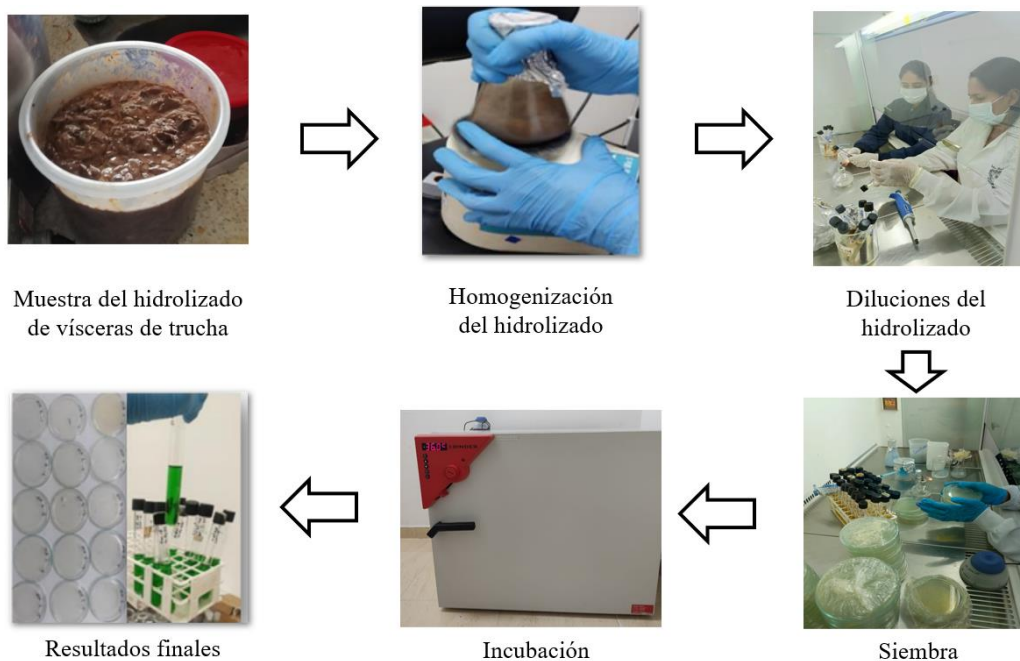


Nitrógeno Volátil Total

Se realizaron mediciones al inicio (día 0) y al final de la hidrólisis (día 8). Se tomaron 10 g del hidrolizado y se homogenizaron con 90 mL de ácido perclórico 6% (p/v) durante 10 minutos. Luego, se centrifugó a 3.000 rpm durante 5 minutos y se filtró. A continuación, se añadieron 50 mL del filtrado a un tubo de destilación, junto con dos gotas de fenolftaleína. Este tubo se colocó en el equipo de destilación, donde se añadieron 6,5 mL de NaOH 20%. El destilado se recogió en 100 mL de ácido bórico 3%. Finalmente, la disolución recogida se tituló con HCl 0,1 N, según lo establecido en el reglamento (CE) N° 1022/2008 (CE, 2008) y la NTC 3644- 2 (NTC, 1998) (Figura 8).

Figura 8*Determinación Del Nitrógeno Volátil Del Hidrolizado****Perfil Microbiológico***

Se realizaron mediciones microbiológicas al inicio (día 0) y al final (día 8) de la hidrólisis, evaluando aerobios mesófilos, mohos, levaduras y coliformes totales, siguiendo las Normas Técnicas Colombianas. El recuento de aerobios mesófilos se hizo en Agar Plate Count (PCA) a 35°C por 48 horas (NTC 4519, 2009), el de mohos y levaduras en Potato Dextrosa Agar (PDA) a 25°C por 3 a 5 días (NTC 4132, 1997), y el de coliformes totales mediante el método del Número Más Probable (NMP) en caldo Brilla a 35°C por 24 a 48 horas (NTC 4516, 1998). Las pruebas se realizaron por triplicado (Figura 9).

Figura 9*Perfil Microbiológico Del Hidrolizado***Estabilización De Los Hidrolizados**

En los días 6, 7 y 8 del seguimiento del hidrolizado, se alcanzaron los tres grados de hidrólisis proteica requeridos (42,47%; 50,67% y 60,26%). En cada uno de estos días, el hidrolizado se tamizó con malla de 30 y 40 μ m para retirar impurezas. Adicionalmente, se detuvo el proceso de hidrólisis mediante secado en horno a una temperatura de 60°C durante 4 horas, hasta alcanzar la estabilización del producto (Villamil *et al.*, 2017) (Figura 10).

Figura 10

Tamizado Y Estabilizado Del Hidrolizado



Caracterización Nutricional De Los Hidrolizados Proteicos Enteros De Visceras De Trucha Obtenidos

Se realizó un análisis proximal del hidrolizado con muestras de los tres grados de hidrólisis obtenidos. La materia seca se determinó según el método AOAC 934.01 mediante secado a 105°C. La determinación de proteína se realizó por el método Kjeldahl mediante digestión ácida y destilación de nitrógeno, siguiendo la metodología de la AOAC 920.105. El extracto etéreo se realizó mediante recirculación continua de éter de petróleo en Soxhlet, según el método 920.39 de la AOAC. El contenido de cenizas se determinó según el método 942.05 de la AOAC, se llevó a cabo por incineración en mufla a 450°C. El contenido de fibra se analizó con ácido-base en el equipo Fibertest según el método 962.09 de la AOAC (AOAC, 1990-2006). La determinación del extracto no nitrogenado se calculó indirectamente mediante la ecuación (2). La energía bruta se determinó en la bomba calorimétrica CAL2k® (Carmona *et al.*, 2012) (Figura 11).

$$\%ENN = 100 - (\%C + \%G + \%Pc + \%Fc) \text{ (Ec. 2)}$$

En donde,

$\%C$ = Porcentaje de cenizas

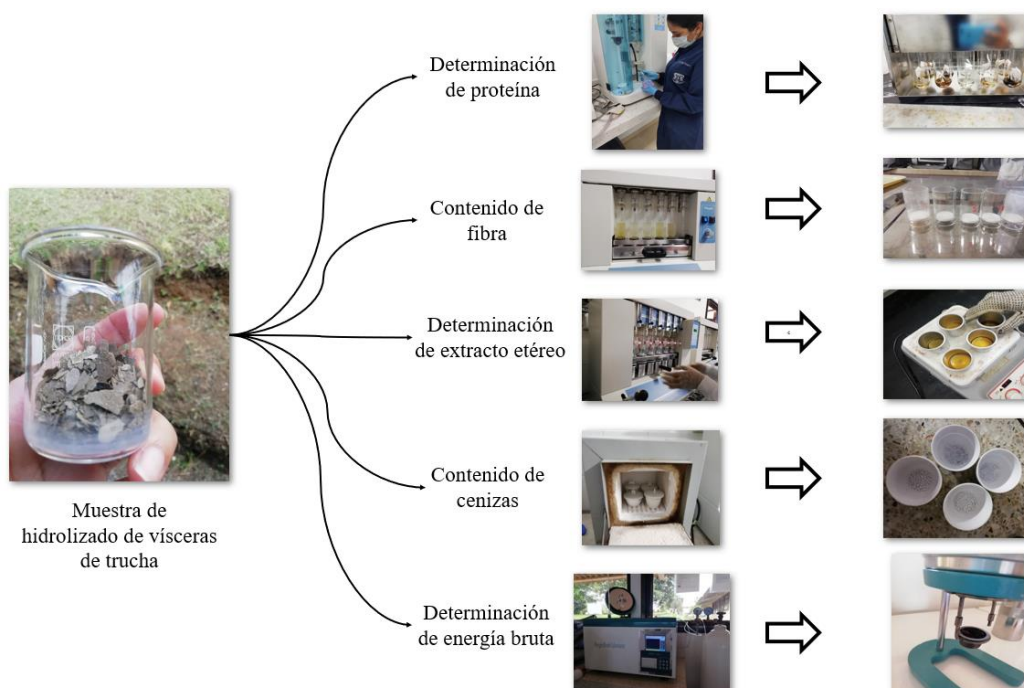
$\%G$ = Porcentaje de grasa

$\%Pc$ = Porcentaje de proteína cruda

$\%Fc$ = Porcentaje de fibra cruda

Figura 11

Análisis Proximal Del Hidrolizado



Obtención De Concentrado Proteico A Partir De Hidrolizado Vísceras De Trucha Mediante Procesos De Separación Mecánica

Una vez alcanzados los tres grados de hidrólisis, se llevaron a cabo dos procesos de separación mecánica: separador centrífugo y un proceso combinado de separador centrífugo con centrifuga para obtener el concentrado proteico hidrolizado. Inicialmente, el hidrolizado se calentó a baño maría a 50°C durante 15 minutos para mejorar la eficiencia del proceso. En el

primer paso, se concentró la proteína utilizando el separador centrífugo, separando los líquidos inmiscibles de diferentes densidades y sedimentando los sólidos. Posteriormente, la fase más densa fue centrifugada a 3.800 rpm para separar agua, aceite y sólidos, y el concentrado proteico obtenido se secó en horno a 60°C durante 4 horas para reducir su contenido de humedad.

(Santos, 2023; Durán *et al.*, 2021) (Figura 12). A continuación, se describen los tratamientos evaluados para determinar la mayor eficiencia en la separación y obtención del concentrado proteico hidrolizado

T1= Hidrolizado con grado de hidrólisis de 42,47% separada con separador centrífugo

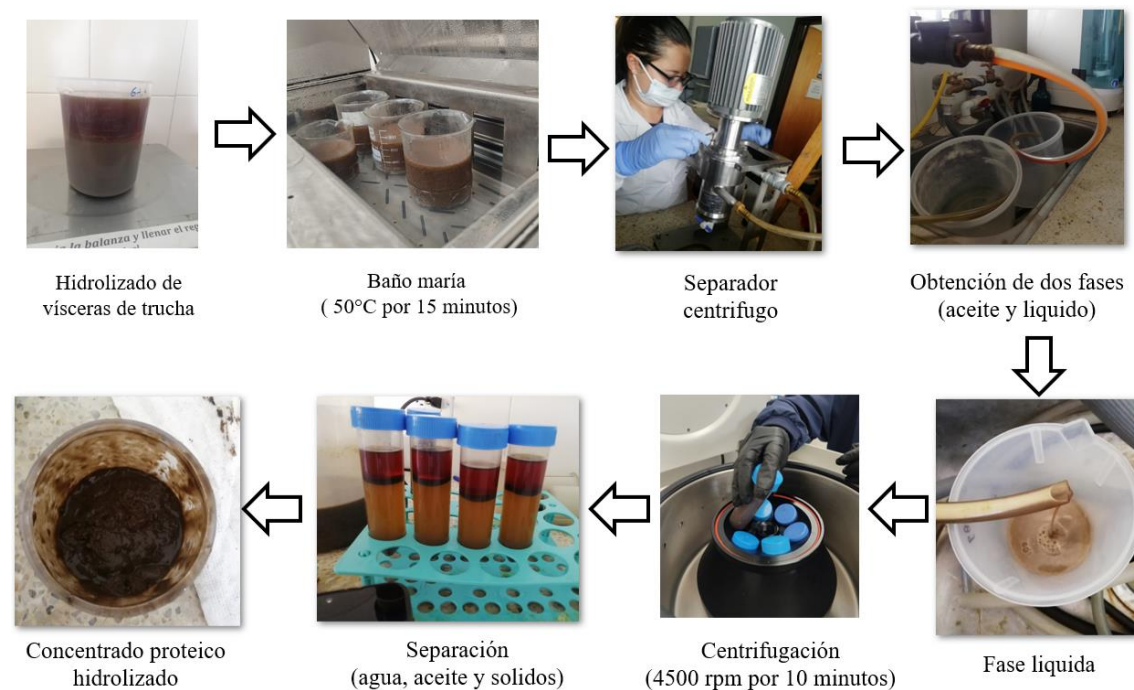
T2= Hidrolizado con grado de hidrólisis de 42,47% separada con separador centrífugo + Centrifuga

T3= Hidrolizado con grado de hidrólisis de 50,67% separada con separador centrífugo

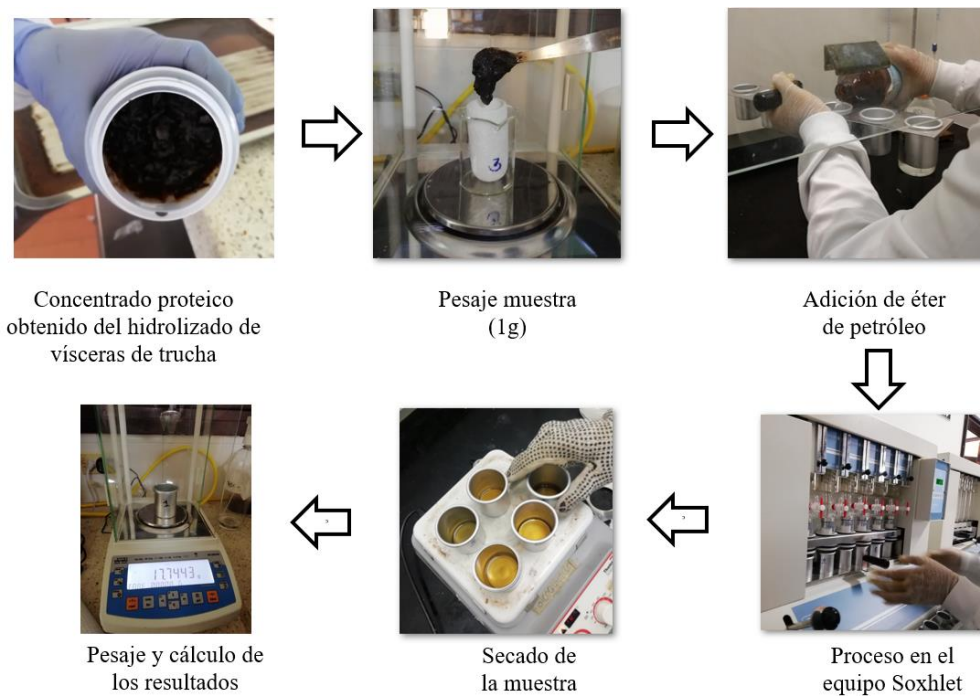
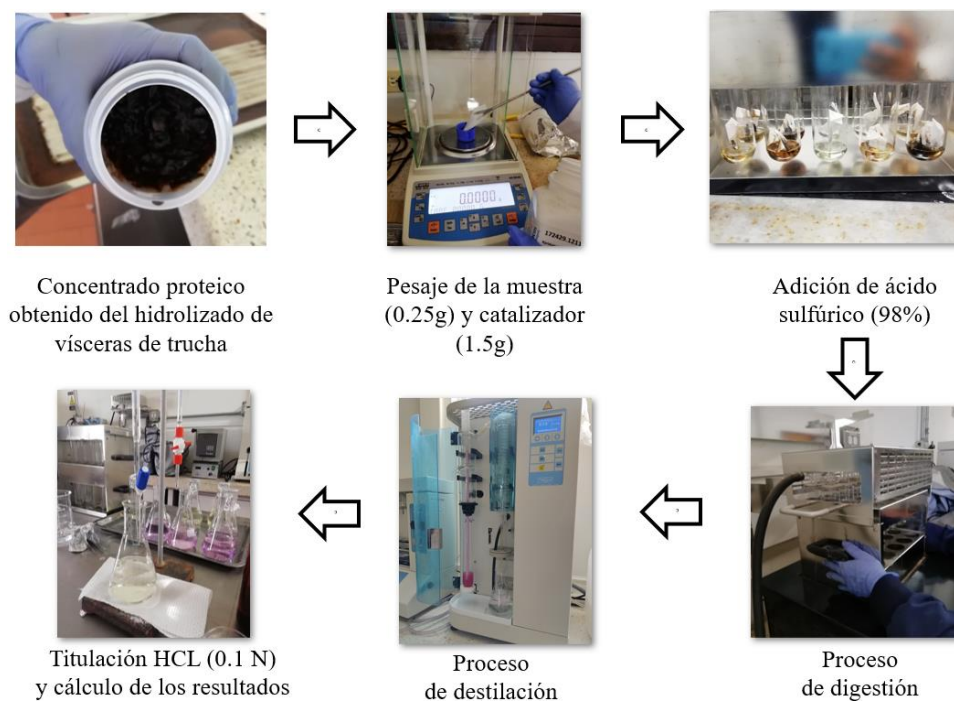
T4= Hidrolizado con grado de hidrólisis de 50,67% separada con separador centrífugo + Centrifuga

T5= Hidrolizado con grado de hidrólisis de 60,26% separada con separador centrífugo

T6= Hidrolizado con grado de hidrólisis de 60,26% separada con separador centrífugo + Centrifuga

Figura 12*Obtención De Concentrado Proteico Hidrolizado**Determinación De Proteína Y Grasa Total*

Se determinó el contenido de proteína y lípidos utilizando los métodos oficiales AOAC 920.39 para lípidos (Figura 13) y AOAC 920.105 para proteínas (Figura 14) (AOAC, 1990-2006), aplicando el mismo protocolo en todas las muestras del concentrado proteico.

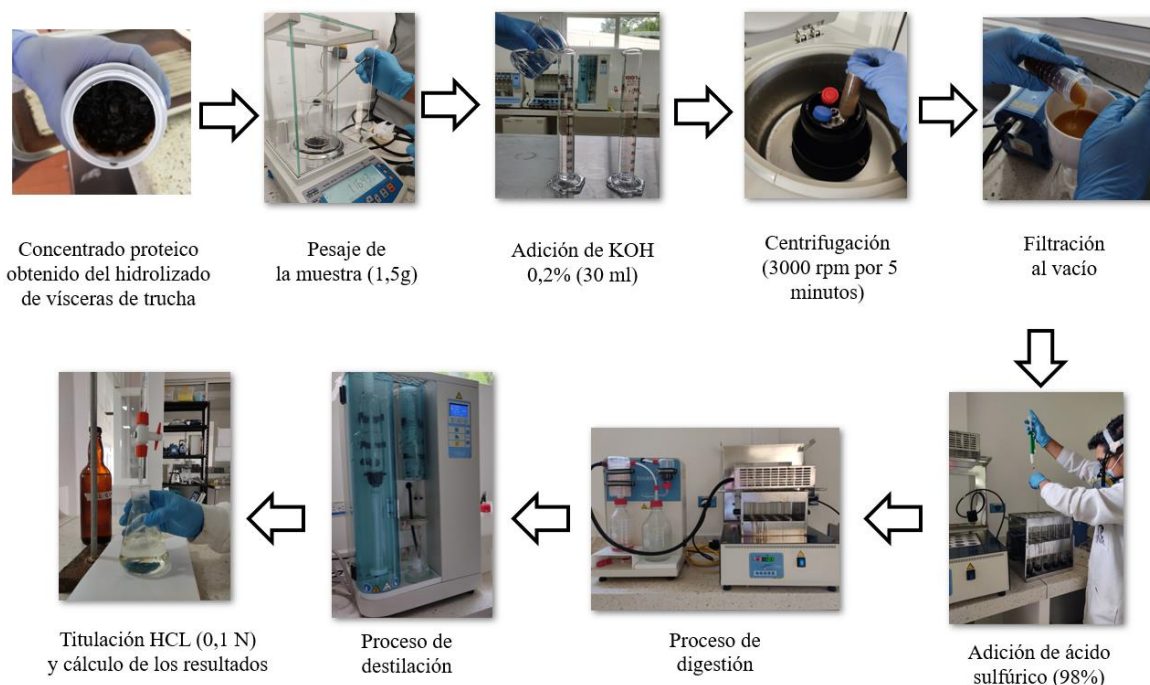
Figura 13*Grasa Total Del Concentrado Proteico Hidrolizado***Figura 14***Proteína Total Del Concentrado Proteico Hidrolizado*

Determinación De Proteína Soluble

Se determinó la proteína soluble siguiendo la NTC 4860. Para ello, se tomó una muestra de 1,5 g, a la cual se le añadieron 75 ml de KOH y se agitó durante 20 minutos. Luego, se centrifugó a 3.000 rpm durante 5 minutos y se filtró. A continuación, se tomaron 15 ml del filtrado, que se transfirieron a un tubo de digestión para su destilación. Finalmente, se calcularon los resultados correspondientes a cada una de las muestras de los tratamientos (NTC, 2000) (Figura 15).

Figura 15

Proteína Soluble Del Concentrado Proteico Hidrolizado



Determinación De Nitrógeno Volátil Total

La determinación se realizó de acuerdo con el procedimiento referenciado anteriormente (Figura 8).

Diseño Experimental Y Análisis Estadístico

Para la obtención de concentrado proteico hidrolizado partir de hidrolizado de vísceras de trucha mediante procesos de separación mecánica, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2*3, evaluando dos procesos de separación y tres grados de hidrólisis proteica. De esta manera, se obtuvo seis tratamientos y se evaluó tres réplicas por cada uno. Cada una de las variables fueron analizadas mediante la aplicación de un análisis de varianza ($p < 0,05$). Se utilizó Test de Tukey para la comparación de medias, un valor de ($p < 0,05$) se usó como diferencia significativa para destacar cual o cuales de los tratamientos evaluados es mejor que los demás. Para lo cual, se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4

Caracterización Nutricional Y Microbiológica Del Tratamiento Seleccionado

Con base a los tratamientos evaluados; se seleccionó el tratamiento T4 (Hidrolizado con grado de hidrólisis de 50,67%, separado con separador centrifugo + centrífuga), en el cual se logró una mayor eficiencia para la concentración de la proteína. Adicionalmente, se le realizó un análisis nutricional y microbiológico complementarios. También se determinó el índice de peróxidos o rancidez oxidativa y la digestibilidad *in vitro*.

Análisis Nutricional Tratamiento T4

Se realizó un análisis bromatológico (materia seca, proteína, grasa, cenizas, fibra y energía) de acuerdo con la metodología establecida anteriormente AOAC 934.01, 920.105, 920.39, 942.05 y 962.09 (AOAC, 1990-2006) y el calcio y fósforo de acuerdo con lo establecido en la AOAC 985.35 y 995.11 (AOAC, 2005; AOAC, 2012) (Figura 11).

Índice De Peróxidos E Índice De Anisidina O TBA

Para el análisis, las muestras fueron enviadas a un laboratorio certificado. Se realizó teniendo en cuenta lo establecido en la AOAC 965,33 (AOAC, 1969).

Digestibilidad In Vitro Del Tratamiento T4 En La Fase Gástrica Utilizando Pepsina

La determinación de digestibilidad *In Vitro* se realizó según la metodología de Ly (2008), Mora et al. (2020) y Perea et al. (2016). Se pesaron 0,5 g de muestra y se mezclaron con 25 ml de solución tampón fosfato. Luego, se añadió 10 ml de HCl y se ajustó el pH a 2.0. A continuación, se incorporaron 1 ml de pepsina y 0,5 ml de solución de chloramphenicol, y la mezcla se colocó a baño maría a 39°C durante 2 horas con agitación constante. Después, se filtró, lavó el residuo con etanol al 96% y acetona al 99,5%, y se secó a 60°C hasta peso constante. Finalmente, se aplicó la ecuación 3 para calcular el porcentaje de digestibilidad *In Vitro* del concentrado proteico hidrolizado.

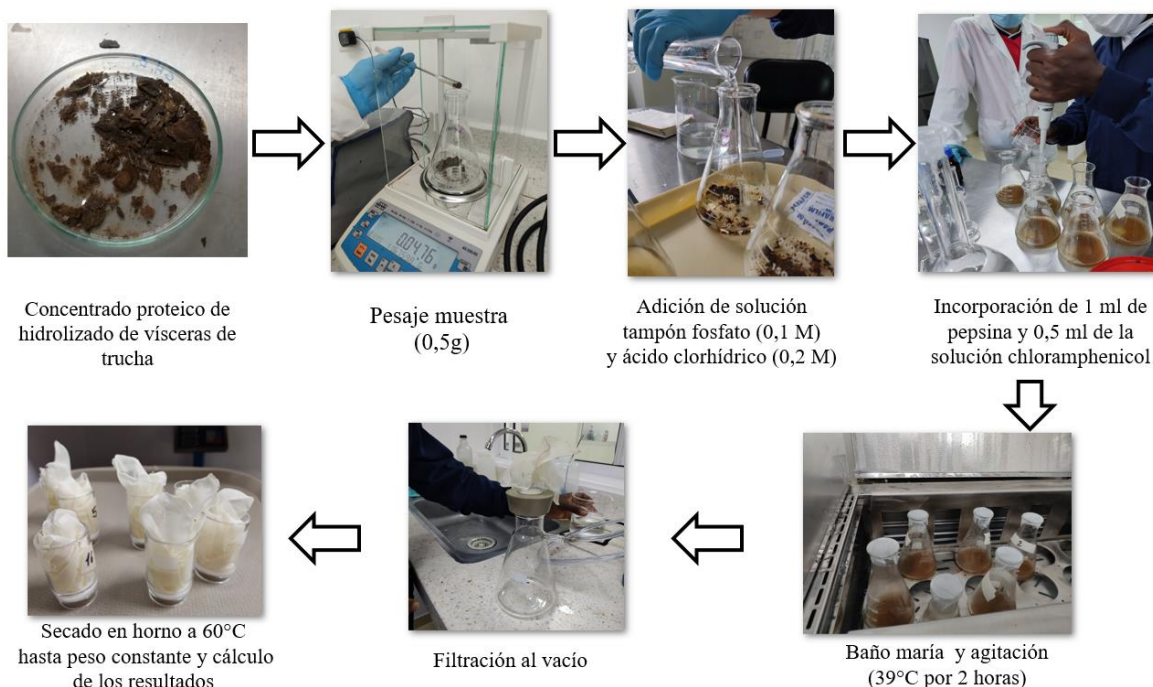
$$\%DivMS = \frac{(Pm*MS) - ((Crisol + Residuos) - Crisol)}{(Pm*MS)} * 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

%DivMS = Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Pm= Peso de la muestra

MS= Materia seca de la muestra

Figura 16*Digestibilidad In Vitro Del Concentrado Proteico Hidrolizado (T4)**Análisis Microbiológico Realizado Al Concentrado Proteico Hidrolizado*

Se realizó recuento de aerobios mesófilos, mohos, levaduras y coliformes totales, como se estableció anteriormente (Figura 9).

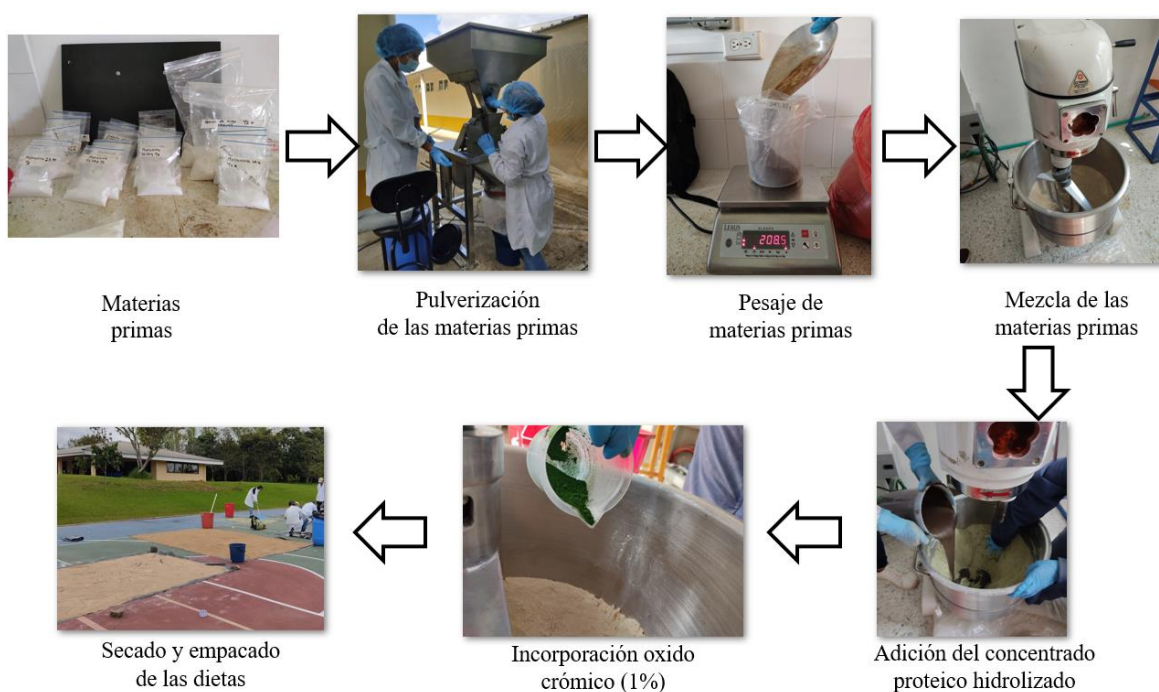
Formulación Y Mezclado Para La Preparación De Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado

Luego de realizar los análisis complementarios de caracterización nutricional y microbiológica del concentrado proteico hidrolizado obtenido mediante separación mecánica, se procedió a la formulación (Tabla 3) y el mezclado para la preparación de las dietas. Para ello, se utilizó una dieta de referencia (sin inclusión de concentrado proteico hidrolizado), que fue preparada con materias primas como harina de pescado, torta de soya, harina de maíz, harina de yuca, moggola de trigo, harina de trigo, premezcla de vitaminas y minerales, entre otras; y cuatro

dietas con inclusión de concentrado proteico hidrolizado para la sustitución o reemplazo del 25, 50, 75 y 100 % de inclusión de la harina de pescado para ser evaluada en la fase de engorde de tilapia, fueron homogenizadas en una mezcladora Kitchen Aid con capacidad para 10 kg; se empacó en bolsas de polipropileno y se almacenó por 24 horas a 10°C para equilibrar la humedad. Las dietas contaron con el mismo nivel de proteína y energía digestible (Perea *et al.*, 2018) (Figura 17).

Figura 17

Preparación De Las Dietas



En relación con lo anterior, las dietas preparadas para la evaluación de la Tilapia roja fase engorde fueron las siguientes:

T1 = 100% harina de pescado (HP) (CONTROL)

T2 = 75% harina de pescado (HP) + 25% concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT)

T3 = 50% harina de pescado (HP) + 50% concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT)

T4 = 25% harina de pescado (HP) + 75% concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT)

T5 = 100% concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT)

Tabla 3

Formulación De Las Dietas (g/Kg de peso seco)

Materias Primas	T1	T2	T3	T4	T5
Harina De Pescado	222	165	111	55	0
Harina Trigo	1	1	1	1	0,4
Aceite Vegetal	71	64,5	71	67,5	59,9
Fosfato Bicálcico	10,6	17,1	31,4	37,4	47,5
DL-Metionina	1,3	1	1	1	1
Premix ¹	20	20	20	20	20
Triptofano	2,9	3,4	3,8	4,3	4,7
Salvado De Maíz	45	71,9	119,8	180	274,8
Torta De Soya	140	140	140	140	140
Harina De Maíz Amarillo	140	100	15	10	0,5
Mogolla De Trigo	227,8	200	166,8	114,2	33,4
Harina De Yuca	66,3	124,8	177	172,6	163,1
Carbonato De Calcio	22	6,3	1,2	2	2,7
Bentonita	10	10	10	10	10

Concentrado	Proteico	0	55	111	165	222
Hidrolizado De VT						
Sal		10	10	10	10	10
Cr2O3		10	10	10	10	10
Total		1000	1000	1000	1000	1000

Composición Química de la Dieta

PB %	26,18	26,18	26,18	26,18	26,18
EE %	10,76	10,17	10,94	11,01	10,92
CHO %	42,33	45,2	44,77	45,5	46
FB %	2,26	2,23	2,19	2,09	1,95
Cenizas %	10,13	8,8	7,58	6,18	4,83
ED/Kcal/Kg	3.100,9	3.100,9	3.100,9	3.100,9	3.100,9
Ca %	1,9	1,9	1,9	1,91	2
P %	1	1,18	1,5	1,65	1,9
Metion. Min%	0,73	0,71	0,72	0,74	0,77
Lisin. Min%	1,7	1,79	1,78	1,97	2,19
Triptof. Min%	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Treon. Min%	0,64	0,79	0,96	1,1	1,27

Nota. ¹ Premezcla de vitaminas minerales y adictivos (Biomix SA©) (composición por kilogramo de producto): vitamina A (800.000 UI) vitamina D3 (300.000 UI) vitamina E (11,0 g) vitamina K (2,2 g) vitamina B12 (0,01 g) tiamina (0,6 g) riboflavina (3,6 g) piridoxina (5,6 g) biotina (0,08 g) ácido pantoténico (6,8 g) niacina (5,6 g) ácido fólico (1,0 g) vitamina C (25,0 g)

cloruro de colina (70,0 g) yodo (0,3 g) selenio (0,05 g) hierro (6,0 g) cobre (1,2 g) zinc (16,0 g) manganeso (7,0 g) cobalto (0,1 g) y antioxidante (30,0 gramo).

Extrusión De Las Dietas

Las dietas obtenidas en la fase de formulación y mezclado fueron procesadas en un extrusor de tornillo doble compacto, marca Haake Polylab OS de Alemania. Una vez obtenidos los pellets, se sometió a un proceso de secado en un secador Centricol Ltda serie 0827 a 50°C durante 4 horas o hasta alcanzar un 8% de humedad (Berman 2007) (Figura 18).

Figura 18

Proceso De Extrusión De Las Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado



Evaluación De Las Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado En Juveniles De Tilapia Roja

La evaluación duró 45 días, incluyendo 15 días de adaptación. Durante este tiempo, se suministraron cinco dietas experimentales: una dieta control y cuatro con concentrado proteico hidrolizado. Los peces fueron distribuidos al azar en 15 tanques cilíndricos cónicos de 250 litros,

con tres réplicas por tratamiento. En cada tanque se colocaron 12 animales, equipados con termostatos para mantener la temperatura adecuada para la especie.

Plan De Manejo

Antes de la evaluación, se desinfectaron pisos, paredes, tanques y equipos con hipoclorito de sodio a 100 ppm. Durante los primeros cinco días, los peces recibieron un tratamiento profiláctico con una solución de azul de metileno a 1 g/L, añadiendo 100 mL en cada tanque (Figura 19). Se realizaron recambios diarios del 80% de agua y cambios totales periódicos. Durante los cambios totales, el agua se trató con sal marina (7 kg/4000 L) como anti-estresante y preventivo de enfermedades, además de hiposulfito (17 g/4000 L) para inactivar el cloro (Perea *et al.*, 2017). (Figura 20).

Figura 19

Plan De Manejo Al Inicio De La Evaluación

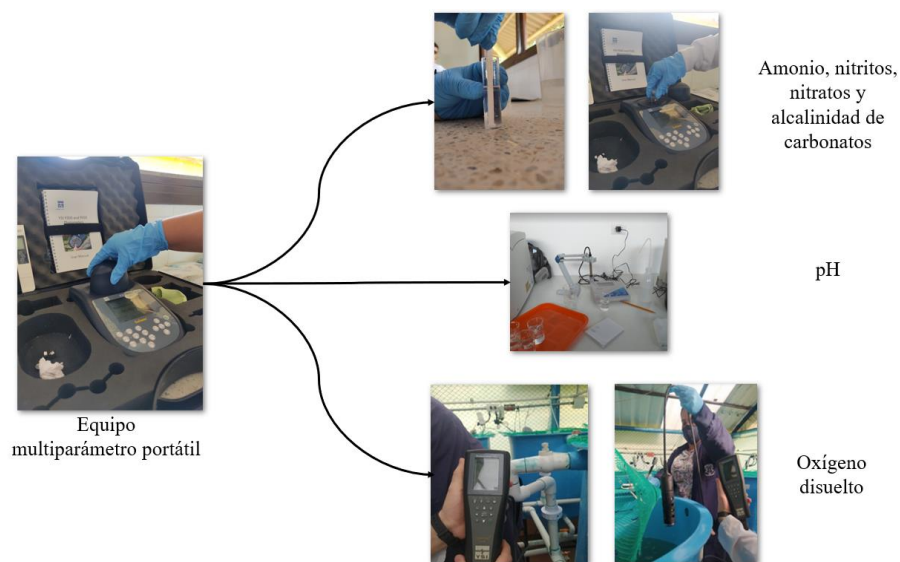


Figura 20*Recambio Parcial Y Total Del Agua De Las Jaulas De Los Peces*

La calidad fisicoquímica del agua fue monitoreada cada 15 días por la metodología NANOCOLOR® con el PHOTOMETER PF-11, verificando su cumplimiento de acuerdo con los requerimientos de la especie. Los parámetros evaluados fueron: oxígeno disuelto, pH, alcalinidad de carbonatos, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno amonio nitritos y nitratos (Perea *et al.*, 2011) (Figura 21).

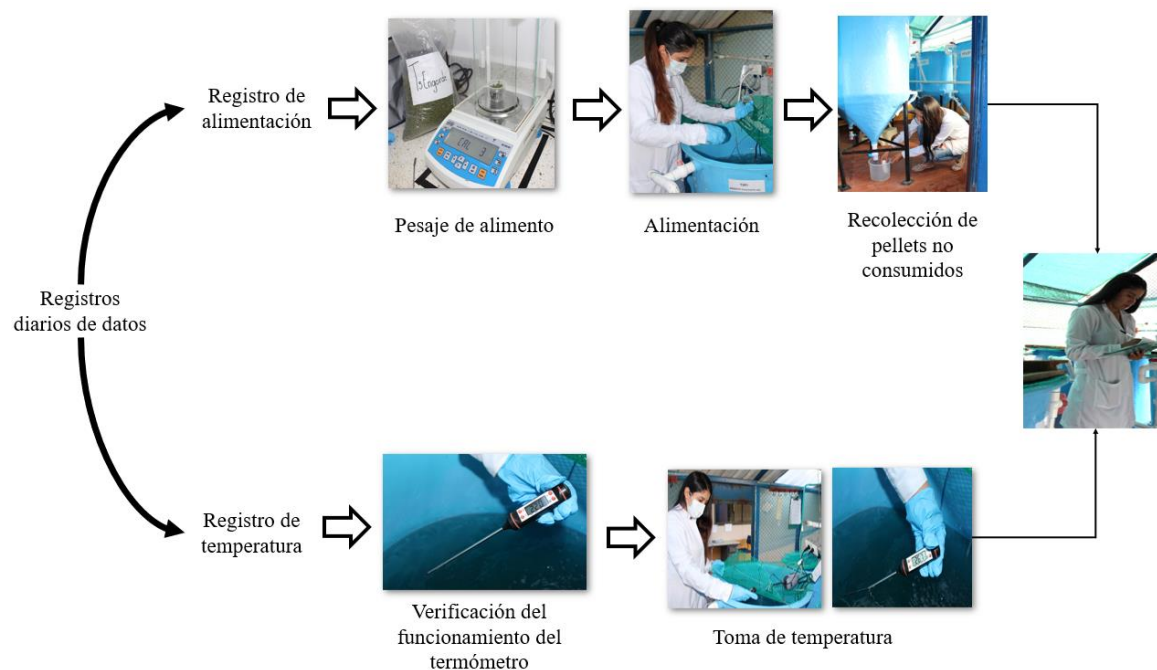
Figura 21

Medición De Calidad Fisicoquímica Del Agua De Las Jaulas



Registro Diario De Alimentación Y Temperatura

Los peces fueron alimentados según su peso corporal, ajustando las porciones con la ecuación (Ec. 4) (Lupatsch, 2012), La alimentación se realizó tres veces al día (8:00h, 12:00h y 16:00h), y los pellets no consumidos fueron recogidos: los del fondo por sifoneo y los de la superficie con un cedazo, para determinar el consumo exacto. Los datos se registraron según los formatos de los Apéndice A y B (Rodríguez, 2023). Además, la temperatura se monitoreó diariamente con un termómetro digital y se reguló constantemente mediante termostato (Figura 22).

Figura 22*Alimentación De Los Peces Y Toma De Temperatura Al Agua De Las Jaulas*

$$\text{Ingesta de alimento g/pez/día} = 0,15 * W^{0,600} \text{ (Ec. 4)}$$

W: Peso del animal en gramos.

Determinación De Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo

Para evaluar los parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo, se realizaron dos biometrías: la primera a los 15 días de adaptación y la segunda a los 30 días, al finalizar la evaluación. Se midieron el peso y la talla de todos los animales (180), utilizando una balanza digital y un ictiómetro, respectivamente. La longitud de los peces se midió desde la cabeza hasta la región caudal.

Durante el manejo, los peces fueron anestesiados con aceite de clavo al 5% disuelto en agua para facilitar su manipulación y reducir el estrés, usando baldes, termostatos, bombas de aire, red de captura y guantes (Figura 23). Se analizaron parámetros de crecimiento como el incremento de peso (IP) (Ec. 5), tasa de crecimiento diaria (TCD) (Ec. 6) e incremento de talla

(IT) (Ec. 7), y de aprovechamiento nutritivo como el índice de conversión alimenticia (ICA) (Ec. 8), tasa de eficiencia proteica (TEP) (Ec. 9) y tasa de eficiencia de la energía (TEE) (Ec. 10), siguiendo la metodología de Perea (2016). Los formatos para registrar las biometrías se presentan en el Apéndice C.

$$IP = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$TCD = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Tiempo (días)}} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$IT = \text{Talla final (cm)} - \text{Talla inicial (cm)} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$ICA = \frac{\text{Ingesta total de alimento (g)}}{\text{Incremento de peso (g)}} \quad (\text{Ec. 8})$$

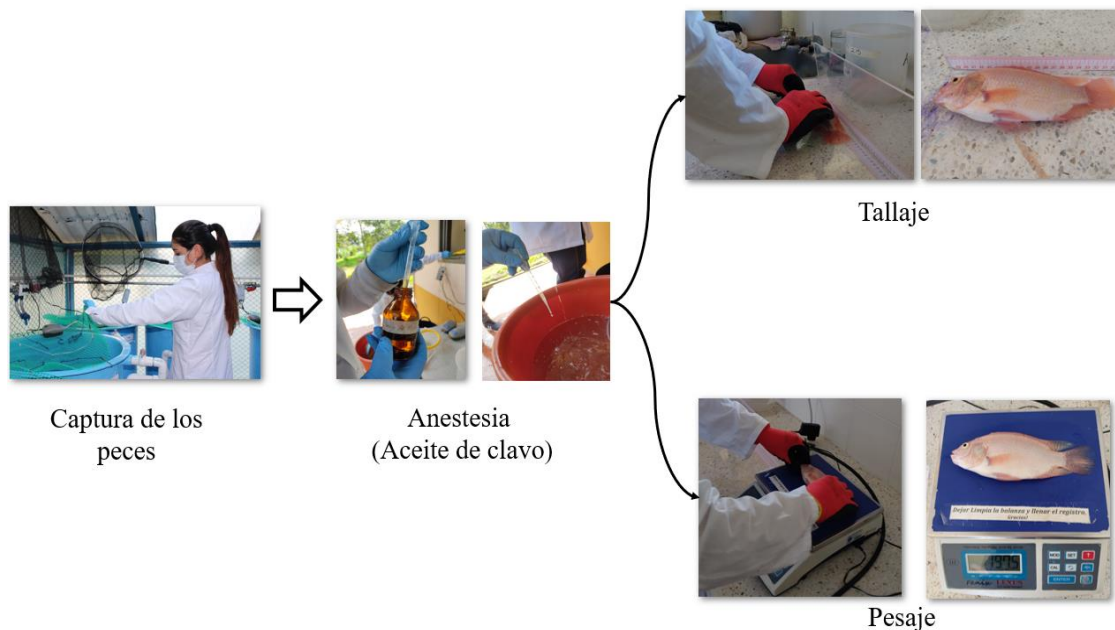
$$TEP = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$TEE = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Energía consumida (g)}} \quad (\text{Ec. 10})$$

Figura 23

Biometrías Para La Determinación De Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento

Nutritivo



Análisis Económico De La Efectividad De Las Dietas

La evaluación del beneficio económico y costo de las dietas con sustitución de harina de pescado por concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) se llevó a cabo al final del estudio, utilizando los índices descritos por (Garcés *et al.*, 2015): costo de la dieta (Ec.11), índice de conversión económica (Ec.12) e índice de rentabilidad económica (Ec.13).

$$\text{Costo de dieta} (\$/\text{Kg}) = \text{Costo de materias primas} (\$) \times \% \text{ de inclusión en el balance} \quad (\text{Ec.11})$$

$$\text{ICE} (\$/\text{Kg}) = \text{Índice de conversión alimenticia} \times \text{Precio de la dieta} (\$) \quad (\text{Ec.12})$$

$$\text{IRE} \left(\frac{\$}{\text{Kg}} \right) = (\text{Peso final} (\text{Kg}) \times \text{Precio de venta} (\$)) - (\text{ICE} \times \text{Incremento de peso} (\text{Kg})) \quad (\text{Ec.13})$$

Resultados Y Discusión

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización química, microbiológica y nutricional del hidrolizado entero y del concentrado proteico hidrolizado obtenido a partir de vísceras de trucha; además de la evaluación del efecto de la inclusión del concentrado proteico hidrolizado por separación mecánica en dietas como alternativa de alimentación para Tilapia roja.

Seguimiento Al Proceso De Hidrólisis Proteica Endógena De Las Vísceras De Trucha

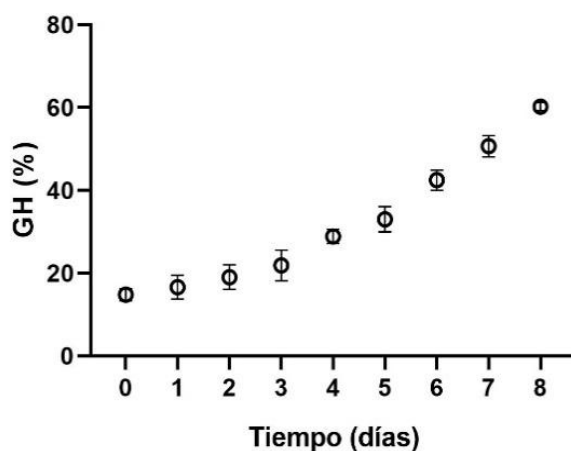
Los resultados obtenidos del seguimiento fisicoquímico y microbiológico del hidrolizado de vísceras de trucha se presentan a continuación

Grado De Hidrólisis Proteica

En la Figura 24, se presentan los valores obtenidos del grado de hidrólisis Vs el tiempo.

Figura 24

Grado De Hidrólisis Del Hidrolizado De Vísceras De Trucha



Los grados de hidrólisis obtenidos en este estudio, dentro de los rangos establecidos, se registraron en los días 6, 7 y 8, alcanzando valores de $42,47 \pm 2,45$ %, $50,67 \pm 2,57$ % y $60,62 \pm 1,00$ %, respectivamente. Estos resultados, presentados en la Figura 24, muestran un aumento

progresivo en la fragmentación de las proteínas en péptidos de menor peso molecular, en función del tiempo transcurrido. Este incremento en el grado de hidrólisis mejora la solubilidad de los hidrolizados y facilita su dispersión en medios acuosos (Vega, 2022). Este fenómeno se debe principalmente a la acción de las enzimas endógenas, especialmente la pepsina, que opera eficazmente en condiciones ácidas, con un pH controlado por debajo de 4 durante el proceso (Olías *et al.*, 2022). La actividad de la pepsina, junto con otras enzimas proteolíticas presentes en las vísceras de trucha, favorece la ruptura de los enlaces peptídicos, lo que incrementa la concentración de péptidos en la solución de manera progresiva a lo largo del tiempo (Hoyos *et al.*, 2018).

El aumento del GH también mejora propiedades funcionales importantes de los hidrolizados, como su capacidad de difusión y absorción en medios líquidos, lo que resulta ventajoso en aplicaciones de alimentación animal, como la mejora de la textura de los alimentos o la estabilidad de emulsiones (Cardoza *et al.*, 2021). En este sentido, los péptidos generados tienen un mayor potencial para ser utilizados en la formulación de alimentos balanceados, ya que, debido a su bajo peso molecular, tienen una mayor capacidad de absorción y dispersión, lo que facilita su integración en dietas líquidas (Gómez & Zapata, 2022).

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Hoyos *et al.* (2018), quienes observaron un grado de hidrólisis (GH) de 62,95% en harina proteica de pescado y superan ampliamente los valores obtenidos por Naghdi *et al.* (2023) en hidrolizados de cabeza de atún los cuales utilizaron diferentes enzimas y alcanzaron valores de GH de 44,45%, 38,36% y 33,00% para alcalasa, protamex y pancreatina respectivamente. Además, los resultados obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por Alahmad *et al.* (2022), quienes

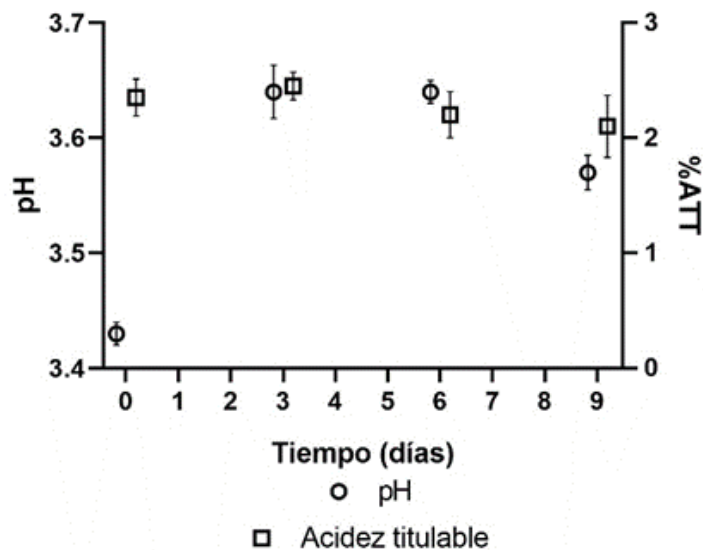
evaluaron hidrolizados de proteína de *Hypophthalmichthys nobilis* utilizando ficina, logrando un GH de solo 20,15% después de 6 horas de hidrólisis.

Potencial De Hidrogeno (Ph) Y Acidez Titulable (ATT)

Los resultados obtenidos de potencial de hidrogeno (pH) y Acidez titulable (ATT) del hidrolizado de vísceras de trucha se presentan en la Figura 25.

Figura 25

Valores De pH Y Acidez Titulable Del Hidrolizado De Vísceras De Trucha



Durante el período de evaluación, comprendido entre el día 0 y el día 9, el hidrolizado de vísceras de trucha presentó valores de pH consistentemente por debajo de 4,0, con registros de $3,44 \pm 0,01$, $3,65 \pm 0,02$, $3,63 \pm 0,01$ y $3,57 \pm 0,01$ para los días 0, 3, 6 y 9, respectivamente. Por otro lado, la acidez titulable se mantuvo siempre por debajo de 3,0, con valores de $2,45 \pm 0,16$, $2,58 \pm 0,12$, $2,31 \pm 0,20$ y $2,16 \pm 0,27$ para los días 0, 3, 6 y 9, respectivamente (Figura 25). Estos valores se atribuyen a la adición de ácido fórmico que al disolverse en agua libera protones reduciendo así el pH de la solución (Arce *et al.*, 2020). Esta condición favorece la estabilidad del producto, inhibiendo el crecimiento de microorganismos indeseables que podrían causar

putrefacción, dado que muchas bacterias patógenas prosperan en un rango de pH de 5 a 7 (Domínguez *et al.*, 2024; Gómez & Zapata, 2022).

Además, mantener los valores de pH y acidez titulable por debajo de 4,0 asegura un proceso de hidrólisis proteica óptimo ya que en este rango de acidez se favorece la actividad de enzimas endógenas proteolíticas como la pepsina, cuya acción es más efectiva en un entorno ácido. Esto facilita la liberación de aminoácidos y péptidos, compuestos esenciales para la producción del hidrolizado (De la Cruz *et al.*, 2022). Además, un pH bajo contribuye a reducir la formación de compuestos volátiles indeseables, evitando sabores no deseados y garantizando un perfil sensorial más estable y agradable (Barriga *et al.*, 2019).

En consecuencia Barriga *et al.* (2019) señalan que durante la hidrólisis se activa un mecanismo de autorregulación que mantiene el pH dentro de un rango óptimo tanto para la hidrólisis proteica eficiente como para el control del crecimiento bacteriano lo que contribuye a la estabilidad microbiológica y sensorial del producto. A medida que la hidrólisis avanza se generan compuestos nitrogenados como péptidos aminoácidos, aminos y amonio los cuales alteran la capacidad amortiguadora del producto, provocando un leve aumento en el pH. Este cambio crea un ambiente favorable para el crecimiento de bacterias ácido-lácticas que, al fermentar los azúcares presentes producen ácido láctico, lo que reduce nuevamente el pH (De la Cruz *et al.*, 2022).

En comparación con otros estudios, los valores de pH obtenidos en esta investigación fueron más bajos que los reportados para el ensilado cárnico (pH de 4,7) (Hoyos *et al.*, 2018) y para el ensilaje biológico de trucha arcoíris (pH de 4,6) (Barriga *et al.*, 2019). Sin embargo, estos resultados fueron similares a los observados en el ensilaje ácido de residuos de peces, donde se registró un pH de 3,82 (Ozyurt *et al.*, 2020). En cuanto a la acidez titulable los valores obtenidos

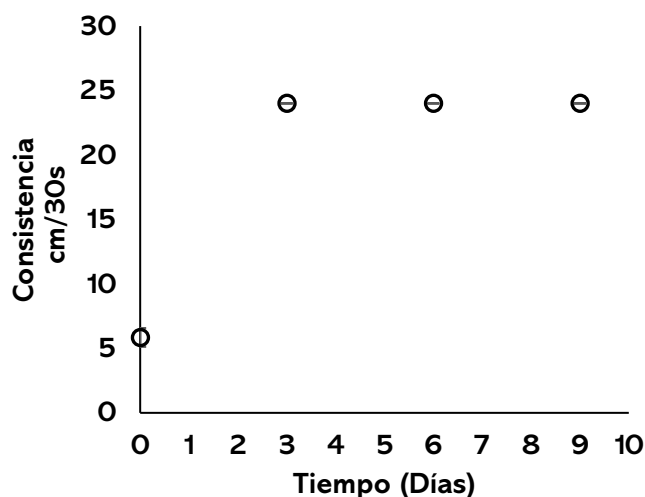
en esta investigación fueron inferiores a los reportados en hidrolizados de vísceras de *Piaractus brachyomus* (acidez titulable de 3,16) (Perea *et al.*, 2021) pero similares a los encontrados en el ensilaje fermentado de subproductos de tilapia con una acidez titulable de 2,43 (Bringas *et al.*, 2018).

Consistencia

En la Figura 26, se presentan los resultados obtenidos en cuanto la consistencia del hidrolizado de vísceras de trucha la cual se midió cada tres días desde el día 0 hasta el día 9.

Figura 26

Consistencia Del Hidrolizado De Vísceras De Trucha



Los resultados obtenidos mostraron que, al inicio del proceso de hidrólisis se registró un valor de consistencia de $5,85 \pm 0,73$ cm/30s, reflejando la estructura firme inicial de las vísceras. Sin embargo, a partir del tercer día, la consistencia aumentó significativamente, alcanzando $24 \pm 0,00$ cm/30 s y manteniéndose en este valor hasta el noveno día, momento en el que se estabilizó. Este incremento en la consistencia puede atribuirse a la acción rápida y efectiva de las enzimas proteolíticas presentes en las vísceras, las cuales descomponen las proteínas de manera eficiente (Mudarra, 2022). Dado que la trucha es una especie carnívora, sus vísceras contienen una alta

cantidad de enzimas proteolíticas activas (Rosado *et al.*, 2023). Además, los lípidos presentes en las vísceras son predominantemente insaturados lo que contribuye a su estado líquido y facilita la hidrólisis (Perea *et al.*, 2021).

Comparando estos resultados con otros estudios, los valores obtenidos en esta investigación fueron superiores a los reportados para hidrolizado de vísceras de pollo, que alcanzaron 17,9 cm/30s, y al hidrolizado de vísceras de cerdo, con un valor de 10,3 cm/30s (Perea *et al.*, 2021). Por otro lado, los valores observados son similares a los encontrados en un estudio sobre el hidrolizado de vísceras de trucha que reportó una consistencia de 20,10 cm/30 s (Perea *et al.*, 2017).

Nitrógeno Volátil Total

Los resultados del contenido de nitrógeno total volátil de las vísceras y del hidrolizado se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Nitrógeno Total Volátil Del Hidrolizado De Vísceras De Trucha

Hidrolizados De Vísceras De Trucha	Nitrógeno Total Volátil (Mg/100g)
VT ^I	22,43 ± 0,03
GH1 ^{II}	0
GH2 ^{III}	0
GH3 ^{IV}	0

Nota.^I VT vísceras de trucha (Día 0) ^{II}GH1 hidrolizado de vísceras de trucha con 42,47% de hidrólisis proteica (Día 6) ^{III}GH2 hidrolizado de vísceras de trucha con 50,67% de hidrólisis

proteica (Día 7) ^{IV}GH3 hidrolizado de vísceras de trucha con 60,26% de hidrólisis proteica (Día 8).

En la Tabla 4 se presentan los resultados del contenido de nitrógeno básico volátil (NBV) en las vísceras de trucha y en los hidrolizados obtenidos durante el proceso de hidrólisis. Al inicio del estudio, en el día cero, el contenido de NBV en las vísceras de trucha fue de 22,43 mg/100 g. Este valor refleja la presencia inicial de microorganismos responsables de la degradación de las proteínas y la formación de compuestos volátiles, como la trimetilamina (TMA) y la dimetilamina (DMA), productos típicos de la acción bacteriana sobre los aminoácidos y nucleótidos presentes en las vísceras (Enríquez, 2022). A pesar de la presencia de estos compuestos, el valor de NBV registrado se encuentra significativamente por debajo de los límites críticos establecidos para los subproductos pesqueros, que no deben superar los 150 mg/100 g de NBV (Yeganeh *et al.*, 2022). Esto indica que, al inicio del proceso, no existe un riesgo inmediato de deterioro de la calidad sensorial del producto, aunque se observa un comienzo de la actividad microbiana.

En cuanto al grado de hidrólisis alcanzado en los días 6, 7 y 8 que fue del 42,47%, 50,67% y 60,62% respectivamente, no se detectaron niveles de nitrógeno volátil. Este fenómeno podría estar relacionado con el uso de ácido fórmico en el proceso de hidrólisis, el cual disminuye el pH del medio a valores inferiores a 4 (Arce *et al.*, 2020). Este descenso del pH crea un ambiente desfavorable para la proliferación de microorganismos, lo que contribuye a la inhibición de la formación de compuestos volátiles. Como resultado, el proceso de hidrólisis no solo favorece la descomposición controlada de las proteínas, sino que también mejora la estabilidad microbiológica y la calidad química del producto, extendiendo su vida útil y reduciendo el riesgo de deterioro.

Comparando estos resultados con estudios previos, los niveles de NBV encontrados fueron inferiores a los reportados por Pereira et al. (2020) para hidrolizados proteicos derivados de desechos de la industria pesquera, que presentaron valores cercanos a 25 mg/100 g. Además, los niveles fueron significativamente menores que los reportados por Hoyos et al. (2018) para harina de proteína hidrolizada de *Oncorhynchus mykiss* que presentaron un valor de 109,4 mg/100 g.

Perfil Microbiológico

En la Tabla 5, se evidencian los resultados obtenidos del perfil microbiológico realizado a las vísceras de trucha y a los hidrolizados obtenidos con tres grados diferentes de hidrólisis: 42,47% (GH1), 50,67% (GH2) y 60,26% (GH3) alcanzados en los días 6,7 y 8 respectivamente.

Tabla 5

Perfil Microbiológico De Las Visceras De Trucha Y Del Hidrolizado Con Diferentes Grados De Hidrólisis

Hidrolizados	Mesófilos	Mohos Y	Coliformes
De Vísceras	Aerobios	Levaduras	Totales
De Trucha	(UFC/G)	(UFC/G)	NMP/G
VT ^I	1,69 X 10 ⁶	2,27 X 10 ⁴	> 11000
GH1 ^{II}	0	0	0
GH2 ^{III}	0	0	0
GH3 ^{IV}	0	0	0

Nota. ^I VT vísceras de trucha (Día 0) ^{II}GH1 hidrolizado de vísceras de trucha con 40,47% de hidrólisis proteica (Día 6) ^{III}GH2 hidrolizado de vísceras de trucha con 50,67% de hidrólisis

proteica (Día 7) ^{IV}GH3 hidrolizado de vísceras de trucha con 60,26% de hidrólisis proteica (Día 8).

En la Tabla 5 se presenta el perfil microbiológico de las vísceras de trucha y los hidrolizados generados a partir de diferentes grados de hidrólisis. El análisis microbiológico inicial de las vísceras de trucha reveló recuentos significativos de microorganismos, con valores de $1,69 \times 10^6$ UFC/g para mesófilos aerobios $2,27 \times 10^4$ UFC/g para mohos y levaduras, y niveles de coliformes totales superiores a 11000 NMP/g. Estos recuentos sugieren que, en el momento de su recepción, la calidad microbiológica de las vísceras no era óptima, lo que probablemente se debió al tiempo prolongado de almacenamiento y transporte desde la estación piscícolas hasta el laboratorio (Iahnke, 2022). Este retraso en la cadena de suministro generó condiciones favorables para la proliferación microbiana, debido a la muerte del pez y la consiguiente pérdida de las barreras biológicas las vísceras se volvieron vulnerables a la invasión microbiana (Camaño *et al.*, 2021).

La proliferación de microorganismos, como se observó en el recuento de mesófilos, llevó a la descomposición de las proteínas y otros componentes celulares en las vísceras (Enríquez, 2022). Este proceso de degradación resultó en la liberación de compuestos volátiles, tales como amoníaco, trimetilamina (TMA) y dimetilamina (DMA), que son conocidos por contribuir a los olores y sabores desagradables típicos del deterioro de productos pesqueros (Camaño *et al.*, 2021).

Sin embargo, a partir del tratamiento con ácido fórmico al inicio del proceso de hidrólisis, se observó una mejora significativa en la calidad microbiológica (Iahnke, 2022). La reducción del pH, logrado mediante la adición de ácido fórmico, creó un ambiente desfavorable para el crecimiento microbiano, inhibiendo la proliferación bacteriana y fúngica (Soares & Santana,

2020). Los hidrolizados generados, denominados GH1, GH2 y GH3, no mostraron recuentos detectables de microorganismos, lo que indica un control efectivo sobre la microbiota tras el tratamiento ácido.

Comparando los resultados obtenidos con estudios previos, los recuentos microbiológicos de las vísceras de trucha en este estudio fueron considerablemente más altos que los reportados por Gómez & Zapata (2022) para vísceras de *Oreochromis* spp, donde se registraron 5200 UFC/g para mesófilos aerobios, 450 NMP/g para coliformes totales y 200 UFC/g para mohos y levaduras. En cuanto a los hidrolizados, los recuentos obtenidos en este estudio fueron más bajos que los reportados por los mismos autores quienes indicaron 370 UFC/g para mesófilos aerobios, 45 NMP/g para coliformes totales y 10 UFC/g para mohos y levaduras en sus hidrolizados.

Caracterización Nutricional De Los Hidrolizados Proteicos Enteros De Vísceras De Trucha

A continuación, en la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización nutricional de los hidrolizados proteicos de vísceras de trucha con respecto a las variables materia seca, proteína, extracto etéreo, energía, cenizas, fibra y extracto no nitrogenado.

Tabla 6*Caracterización De Los Hidrolizados Con Tres Diferentes Grados De Hidrólisis*

Análisis	Grado De Hidrólisis		
	GH1 (42,47%)	GH2 (50,67%)	GH3 (60,26%)
Materia Seca (% M/M)	29,92 ± 0,06	27,87 ± 0,42	29,36 ± 0,47
Proteína (% M/M)	41,24 ± 0,13	42,74 ± 0,80	38,21 ± 0,16
Extracto Etéreo (% M/M)	48,02 ± 2,08	46,22 ± 1,13	47,89 ± 0,92
Cenizas (% M/M)	5,38 ± 0,61	5,86 ± 0,41	4,65 ± 0,12
Fibra (% M/M)	0,06 ± 0,03	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
ENN (% M/M)	5,23 ± 2,71	6,04 ± 1,31	9,32 ± 1,04
Energía Bruta (Kcal/Kg)	4797,80 ± 368,70	4533,4 ± 227,30	5070,4 ± 125,50

Materia Seca (MS)

Los resultados presentados en la Tabla 6 indican que los tres grados de hidrólisis evaluados muestran valores de materia seca cercanos al 29%. Este valor refleja que el hidrolizado tiene una consistencia acuosa, ya que, a medida que avanza el proceso de hidrólisis, la descomposición de las proteínas en péptidos más pequeños y aminoácidos libres favorece la liberación de agua. Además, el aumento en la solubilidad de las proteínas durante la hidrólisis contribuye a esta liberación de agua (Gómez & Zapata, 2022). Aunque la hidrólisis facilita una mayor solubilidad del producto, el contenido de materia seca no fue bajo. Esto sugiere una concentración de sólidos que podría indicar que el alimento tiene un contenido significativo de nutrientes útiles para el animal, tales como proteínas, lípidos y minerales (Torres & Torres, 2024).

Al comparar estos datos con los obtenidos en otros estudios, se observa que son similares a los reportados por Ramírez et al. (2020), quienes encontraron un 29,72% al evaluar desechos

de pescado. Sin embargo, son superiores a los resultados de Auqui et al. (2022), que caracterizaron las vísceras de trucha como suplemento alimenticio, alcanzando un 42,11%. También se destacan los hallazgos de Lozano (2023), quien documentó un contenido de hasta un 97% en harina de vísceras de trucha. Este alto valor, en comparación con los obtenidos en este estudio, se debe a que la harina de vísceras de trucha debe pasar por un proceso de secado más extenso, a diferencia del hidrolizado. Por otro lado, Perea et al. (2017) obtuvieron ensilajes de residuos piscícolas con un contenido del 38,43%.

Proteína Total (PT)

En la Tabla 6 se pudo observar que el contenido proteico se mantuvo alrededor del 40% en los diferentes grados de hidrólisis evaluados, lo que está relacionado con la liberación de aminoácidos esenciales derivada de la ruptura de enlaces peptídicos, mejorando así la disponibilidad de nutrientes. Este proceso no solo facilita la liberación de aminoácidos, sino que también potencia la capacidad antioxidante de los hidrolizados, incrementando su actividad reductora, como se observa en los estudios Riyadi et al. (2019). La liberación de péptidos y aminoácidos libres, que típicamente contienen entre 2 y 20 aminoácidos, contribuye de manera significativa a la actividad funcional y biológica del hidrolizado, destacando su potencial como fuente nutricional de alto valor (Martínez *et al.*, 2022).

En particular, los hidrolizados de vísceras de trucha sobresalen por su perfil de aminoácidos equilibrado, alta digestibilidad y características que favorecen la absorción eficiente de nutrientes. Su textura agradable, viscosidad adecuada y tamaño de partícula pequeño optimizan su funcionalidad, lo que mejora su aprovechamiento por el organismo (Benavides & Macías, 2021; Cardoza *et al.*, 2021).

No obstante, como se evidencia en los resultados, un mayor grado de hidrólisis no siempre se traduce en una mayor concentración de proteína. Este fenómeno podría estar relacionado con la formación de emulsiones, durante las cuales los péptidos liberados tienden a unirse a la fase lipófila, lo que reduce la cantidad de proteína disponible y afecta la concentración final del contenido proteico, tal como lo sugieren Zapata et al. (2019).

Comparando estos resultados con otros estudios, se encontró que los valores obtenidos en este estudio fueron inferiores a los reportados por Riyadi et al. (2019), quienes encontraron un 62,81% en hidrolizados de vísceras de *Oreochromis* spp, y a los de Nugroho et al. (2020), con un 56,04% en proteínas de hidrolizados de vísceras de *Thunnus* spp. No obstante, los resultados de este estudio fueron superiores a los reportados por Perea et al. (2021), quienes informaron un 24,98% en hidrolizados de vísceras de *Oncorhynchus mykiss*.

Extracto Etéreo (EE)

Los resultados presentados en la Tabla 6 muestran que el contenido de lípidos en los hidrolizados de vísceras de trucha se mantuvo consistentemente alto, superando el 45% en todos los grados de hidrólisis evaluados. Este elevado porcentaje de lípidos probablemente se deba a la significativa cantidad de grasa presente en las vísceras y los órganos internos de los peces, los cuales, en comparación con otras partes del cuerpo, tienen un contenido de grasa mucho más pronunciado (Auqui, 2022).

Los lípidos presentes en estas vísceras están conformados por una mezcla de ácidos grasos saturados, como el palmítico y el oleico, y ácidos grasos poliinsaturados, entre los cuales los más predominantes son el linoleico y el linolénico, siendo este último el más abundante (Hoyos *et al.*, 2018). Esta composición lipídica convierte a los hidrolizados de vísceras de trucha en una fuente rica en ácidos grasos esenciales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un

alto contenido de lípidos no siempre garantiza una ventaja nutricional. Un exceso de grasa podría afectar negativamente la digestibilidad y el balance de nutrientes en las formulaciones de la dieta (Garcés *et al.*, 2021).

Adicionalmente, se observó que las diferencias en los resultados entre los diversos grados de hidrólisis podrían estar vinculadas con el comportamiento estructural de las membranas celulares durante el proceso de hidrólisis. En ciertos grados de hidrólisis, las membranas celulares podrían haberse aglutinado y formado burbujas que no se disolvieron por completo, lo que resultó en una mayor liberación de grasa atrapada dentro de estas estructuras (Riyadi *et al.*, 2019). Este fenómeno sugiere que la liberación de lípidos no solo depende del grado de hidrólisis, sino también de la interacción entre las membranas celulares y las fases lipofílicas durante el proceso.

Comparando estos resultados con los obtenidos en otros estudios, se observa que los valores de lípidos encontrados en esta investigación son notablemente superiores a los reportados por Yeganeh *et al.* (2022) en hidrolizados de vísceras de *Oncorhynchus mykiss*, que oscilaron entre 21% y 22%, y a los obtenidos por Riyadi *et al.* (2019) en hidrolizados de vísceras de *Oreochromis niloticus*, que mostraron un contenido de grasa de 16%. Además, el contenido de lípidos en los hidrolizados varía considerablemente según la especie de pez. Por ejemplo, en *Hypophthalmichthys nobilis*, los hidrolizados presentaron un contenido de grasa bajo, con valores entre 3% y 5% (Riyadi *et al.*, 2019) mientras que en *Thunnus* spp el contenido de grasa fue aún más bajo, con un valor reportado de 3,6% (Nugroho *et al.*, 2020).

Cenizas (CN)

En este estudio, los valores de cenizas se mantuvieron consistentes, alrededor del 5%, entre los diferentes grados de hidrólisis (Tabla 6). Este nivel puede atribuirse principalmente al

uso de ácidos orgánicos, como el ácido fórmico, durante el proceso de hidrólisis, ya que la acidez de estos ácidos favorece la solubilidad de los minerales, facilitando su liberación y posterior medición en el hidrolizado (Ormanza & Santos, 2024). Además, la composición de las vísceras de los peces también influye en el contenido de cenizas. En el caso de la trucha, una especie carnívora que consume presas que incluyen huesos y restos óseos de otras especies, es probable que una parte significativa de las cenizas provenga de estos residuos (García *et al.*, 2019; Perea *et al.*, 2021).

Al comparar estos resultados con investigaciones previas, se observa que los valores obtenidos en este estudio superan a los reportados por Zapata *et al.* (2019), quienes encontraron un 3,17% de hidrólisis enzimática de proteínas de vísceras de *Oncorhynchus mykiss*, y a los de Villamil *et al.* (2017), con un 1,14% en hidrolizados de proteínas de vísceras de pescado. Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio son inferiores a los reportados por Lamas y Massa (2022), quienes alcanzaron un 17,11% en la hidrólisis enzimática de residuos del procesamiento de *Trachurus lathami*. Esta diferencia podría explicarse por el hecho de que, en nuestro estudio, solo se utilizaron vísceras de trucha, mientras que en el trabajo de Lamas y Massa (2022) se combinaron las vísceras con las cabezas, las cuales contienen un mayor porcentaje de cenizas debido a su composición ósea.

Fibra Cruda (FC)

El contenido de fibra en los diferentes grados de hidrólisis se mantuvo por debajo del 0,1% (Tabla 6), lo que puede atribuirse a que el hidrolizado utilizado proviene de origen animal, careciendo así de los carbohidratos estructurales presentes en las materias primas vegetales, como polisacáridos y lignina, sustancias que son altamente resistentes a la hidrólisis enzimática (López & Salas, 2021). Sin embargo, el pequeño porcentaje de fibra presente podría estar

relacionado con los residuos alimenticios que permanecen en el tracto digestivo de los peces, como celulosa, hemicelulosa y lignina, que, aunque en cantidades mínimas, se encuentran en los hidrolizados de origen animal debido a la digestión parcial de estos compuestos (Perea *et al.*, 2017).

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observan valores superiores en otras investigaciones. Por ejemplo, Perea *et al.* (2021) reportaron un contenido de fibra cercano al 1% en hidrolizados de *Oncorhynchus mykiss*, mientras que Santana *et al.* (2023) encontraron un 1,4% en ensilaje de vísceras de pescado. Estos valores son considerablemente más altos que los obtenidos por López & Salas (2021), quienes hallaron un 0,35% de fibra en hidrolizados de pescado. Esta variabilidad en los resultados sugiere que el contenido de fibra puede variar dependiendo del tipo de materia prima utilizada y del proceso de hidrólisis empleado.

Extracto No Nitrogenado (ENN)

Los resultados presentados en la Tabla 6 muestran que el contenido de extracto no nitrogenado (ENN) varió entre un 5% y un 10% en los diferentes grados de hidrólisis. El mayor contenido de ENN se observó en el hidrolizado GH3, con un valor de 9,32%, mientras que el tratamiento GH1 presentó el menor contenido de ENN, alcanzando un 5,23%. Esto sugiere que el tratamiento GH1 podría tener una mayor concentración de otros nutrientes, como proteínas, lípidos y cenizas, en comparación con el hidrolizado GH3, que presenta un mayor porcentaje de ENN (Mariño & Vega 2021). El ENN incluye nutrientes como mono y disacáridos, fracción soluble de celulosa, pentosanas, hemicelulosa, almidón, inulina, ácidos orgánicos y otras sustancias solubles libres de nitrógeno. Estos compuestos, fácilmente asimilables por los organismos, contribuyen significativamente al valor nutricional del hidrolizado, lo que explica la variabilidad observada en los resultados. Así, la cantidad de ENN en los hidrolizados se

correlaciona con la presencia de estos nutrientes, que son clave para la calidad nutritiva del producto (Mariño & Vega, 2021).

Energía Bruta (EB)

Los resultados mostrados en la Tabla 6 indican que los valores de energía para los diferentes grados de hidrólisis se mantuvieron alrededor de 4.800 Kcal/kg de peso seco, lo cual es un valor favorable como ingrediente para la formulación de dietas para peces. Valores de energía demasiado altos pueden reducir el consumo de alimento, lo que, a su vez, disminuye la ingesta de nutrientes esenciales para un crecimiento saludable (Chu-Koo *et al.*, 2016). Por el contrario, niveles bajos de energía pueden obligar al animal a utilizar proteínas para satisfacer sus necesidades energéticas, limitando así la cantidad de proteína disponible para la síntesis de músculo y tejidos (Martínez *et al.*, 2018).

Estos resultados podrían estar relacionados con las variaciones en el contenido de grasa, proteína y cenizas de los hidrolizados. Las grasas son una fuente significativa de energía, por lo que los hidrolizados con mayor contenido graso presentan un mayor valor energético (Moscoso *et al.*, 2020). En contraste, los hidrolizados con mayor concentración de cenizas suelen tener un valor energético menor, ya que las cenizas no aportan energía metabólica (Gómez *et al.*, 2019). Esto explicaría por qué el hidrolizado con menor contenido de grasa y mayor concentración de cenizas mostró el valor energético más bajo

Los resultados obtenidos en este estudio fueron superiores a los reportados por Sary *et al.* (2017), quienes encontraron 3.676,5 Kcal/kg en hidrolizados de subproductos de tilapia, pero inferiores a los obtenidos por Da Silva *et al.* (2017), quienes reportaron 6.429 Kcal/kg en hidrolizado de proteína de pescado. No obstante, los valores encontrados en este estudio fueron

similares a los de Siddik et al. (2019), quienes documentaron 5.027,7 Kcal/kg en hidrolizados de atún.

Obtención Del Concentrado Proteico A Partir De Hidrolizado Vísceras De Trucha Mediante Procesos De Separación Mecánica

En la Tabla 7, se muestran los valores medios de proteína bruta, extracto etéreo, proteína soluble y nitrógeno volátil del concentrado proteico hidrolizado obtenido a partir de vísceras de trucha por separación mecánica.

Tabla 7

Valores Medios De Proteína Bruta Extracto Etéreo Proteína Soluble Y Nitrógeno Volátil Del Concentrado Proteico Hidrolizado

Variabes	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Valor P
Proteína Bruta (%)	71,48 ± 0,23 ^a	66,97 ± 0,22 ^{bc}	72,33 ± 0,78 ^a	67,66 ± 0,84 ^b	72,02 ± 0,20 ^a	65,62 ± 0,04 ^c	<,0001
Extracto Etéreo (%)	9,76 ± 0,22 ^{bc}	11,08 ± 0,08 ^a	8,93 ± 0,20 ^c	7,21 ± 0,25 ^d	10,60 ± 0,44 ^{ab}	10,85 ± 0,14 ^a	<,0001
Proteína Soluble En KOH (%)	94,36 ± 0,14 ^a	90,92 ± 1,07 ^b	95,46 ± 0,43 ^a	96,02 ± 1,07 ^a	95,07 ± 0,78 ^a	90,23 ± 0,31 ^b	0,0008
Nitrógeno Total Volátil	0	0	0	0	0	0	0

Nota. T1 (GH 40,47% separador centrifugo) T2 (GH 40,47% separador centrifugo + centrifuga)

T3 (GH 50,67% separador centrifugo) T4 (GH 50,67% separador centrifugo + centrifuga) T5

(GH 60,26% separador centrifugo). T6 (GH 60,26% separador centrifugo + centrifuga). Las

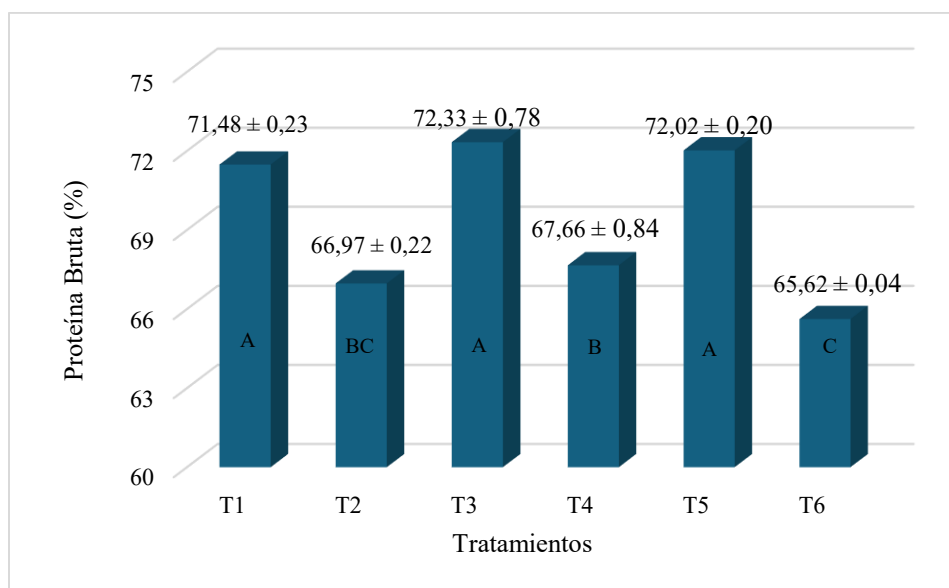
medias con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Proteína Bruta (PB)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), presentados en la Tabla 7, muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos analizados, con un nivel de confianza del 95%.

Figura 27

Proteína Bruta Del Concentrado Proteico Hidrolizado De Visceras De Trucha



Nota. T1 (GH 40,47% separador centrífugo) T2 (GH 40,47% separador centrifugado + centrifuga) T3 (GH 50,67% separador centrífugo) T4 (GH 50,67% separador centrifugado + centrifuga) T5 (GH 60,26% separador centrífugo). T6 (GH 60,26% separador centrifugado + centrifuga).

Los resultados presentados en la Figura 27 muestran que los tratamientos T1, T3 y T5 lograron los mejores rendimientos en cuanto a contenido proteico, seguidos por T4 y T2, mientras que T6 presentó los valores más bajos. Es importante señalar que los tres tratamientos con mejores resultados fueron obtenidos mediante separador centrífugo, lo que favoreció la concentración de nutrientes, especialmente proteínas. A pesar de las diferencias entre tratamientos, todos superaron

el 65% de contenido proteico, un valor similar al de la harina de pescado. Esto destaca la eficiencia del proceso combinado de hidrólisis y separación mecánica, que no solo descompone las proteínas en péptidos más pequeños, sino que también permite concentrarla (Mударra, 2022; Castelló *et al.*, 2021).

En relación con el proceso de hidrólisis, los resultados indican que este es fundamental para la obtención de péptidos de bajo peso molecular y aminoácidos libres. La ruptura de los enlaces peptídicos por acción de proteasas endógenas libera grupos amino y carboxilo, reduciendo el tamaño de los péptidos y modificando sus propiedades funcionales (Lavid, 2019). Los hidrolizados proteicos obtenidos suelen contener péptidos con un peso molecular entre 2 y 20 aminoácidos, lo que facilita su absorción y utilización por los organismos (Hleap & Gutiérrez, 2017).

Asimismo, Martínez *et al.* (2022) y Hoyos *et al.* (2018), mencionan que los hidrolizados proteicos tienen una mayor proporción de péptidos de bajo peso molecular en comparación con las fuentes de proteína como harina de pescado y torta de soya. En la harina de proteína hidrolizada, el 82% de las fracciones proteicas presentan masas moleculares entre 0,2 y 0,6 kDa, mientras que en la harina de pescado solo un 26% de las fracciones se encuentran en este rango. Esto sugiere que los hidrolizados proteicos contienen una mayor cantidad de péptidos de entre dos y cinco aminoácidos, lo que mejora tanto su digestibilidad como sus propiedades funcionales.

Estudios previos han demostrado que los péptidos de bajo peso molecular, en especial los dipéptidos y tripéptidos, son más fácilmente absorbidos por el tracto gastrointestinal que las proteínas intactas o los aminoácidos libres (Abdelhedi & Nasri 2019; Lamas & Massa, 2022). Esto se debe a que los dipéptidos y tripéptidos tienen mayor permeabilidad intestinal, lo que les permite ser absorbidos de manera más eficiente (Xu *et al.*, 2019). En particular, los péptidos que contienen aminoácidos como la prolina y la cisteína son más resistentes a la degradación por las

enzimas digestivas y poseen una alta capacidad de permeabilidad intestinal. Estos efectos pueden ser beneficiosos para la salud y el crecimiento de los organismos que consumen estos hidrolizados, como los peces (Castelló *et al.*, 2021; Fitzgerald & Meisel, 2000; Vásquez, 2020)

De este modo, la hidrólisis no solo facilita la solubilización de las proteínas y la eliminación de material insoluble, lo que mejora significativamente la calidad proteica (Villamil *et al.*, 2017), sino que también hace que la proteína sea más accesible y eficiente para su utilización por los peces (Martínez *et al.*, 2022).

Por otro lado, la separación mecánica de las vísceras, que se realiza a través de la fuerza centrífuga, también juega un papel importante en la mejora de la calidad proteica. Esta técnica reduce el porcentaje de extracto etéreo y concentra las proteínas, eliminando partículas no solubles y aumentando el contenido de proteína en el hidrolizado (Castelló *et al.*, 2021).

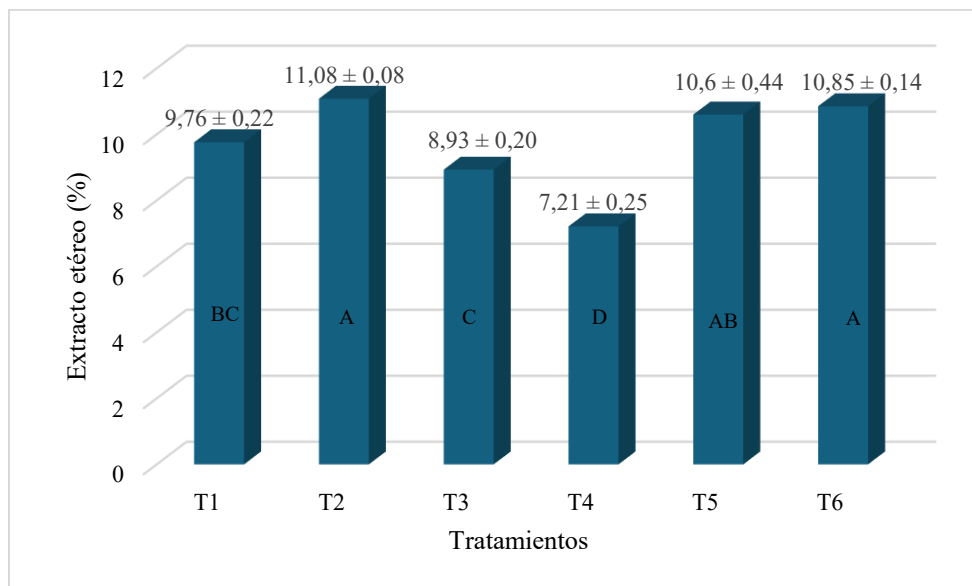
Estos resultados son consistentes con los reportes de Vázquez *et al.* (2022), quienes encontraron un grado de hidrólisis del 44,8% y un contenido proteico del 63,2%. Además, son superiores a los resultados obtenidos por Garcés *et al.* (2021), quienes reportaron un contenido proteico del 5,18% en concentrado proteico hidrolizado a partir de residuos animales utilizado como alternativa alimenticia para *Piaractus brachypomus*. Por otro lado, Sarria *et al.* (2018) encontraron un contenido proteico de 22,05% en ensilajes de vísceras de trucha. Estos resultados resaltan la efectividad del proceso combinado de hidrólisis y separación mecánica para obtener hidrolizados de alta calidad.

Extracto De Etéreo (EE)

A partir del análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias estadísticas significativas, entre los tratamientos evaluados de acuerdo con el nivel de sustitución de la harina de pescado por el concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (Tabla 7).

Figura 28

Extracto De Etéreo Del Concentrado Proteico Hidrolizado De Visceras De Trucha



Nota. T1 (GH 40,47% separador centrifugo) T2 (GH 40,47% separador centrifugado + centrifuga) T3 (GH 50,67% separador centrifugo) T4 (GH 50,67% separador centrifugado + centrifuga) T5 (GH 60,26% separador centrifugo). T6 (GH 60,26% separador centrifugado + centrifuga).

En la Figura 28, se observan los valores de extracto etéreo obtenidos de los diferentes tratamientos, los cuales fueron bajos, con porcentajes cercanos al 10%. El tratamiento T4 se destacó como el más eficiente, alcanzando un contenido de extracto etéreo de 7,21%. Este resultado se atribuye al uso del separador centrifugado + centrifuga, que facilitó la eliminación de fracciones insolubles del concentrado (Castelló *et al.*, 2021). Además, el tratamiento T4 tuvo el grado de hidrólisis más bajo, con un 50,67%, lo que también contribuyó a obtener el menor contenido de extracto etéreo (Tabla 6). La combinación de hidrólisis y separación mecánica permitió obtener un producto con menos grasa, mejorando su calidad para uso nutricional

La disminución en el contenido de extracto etéreo representa una ventaja significativa, dado que la alta concentración de grasa en los subproductos de vísceras de trucha ha sido un factor limitante para su inclusión en dietas animales. En la caracterización previa de los hidrolizados, el contenido de grasa fue de 47%, cifra que se redujo considerablemente hasta un 7,21% en el tratamiento T4. Este descenso del extracto etéreo indica la eficacia de los procesos utilizados en esta investigación para mejorar la calidad del concentrado proteico y hacerlo más adecuado para su inclusión en dietas de animales acuáticos y otras aplicaciones alimentarias.

En términos de procesos, el separador centrífugo y separador centrifugado + centrifuga demostraron ser efectivos en la eliminación de lípidos. La fuerza centrífuga generada en estos equipos permitió separar líquidos inmiscibles de diferente densidad, eliminando los lípidos de manera eficiente y, en consecuencia, disminuyendo la concentración de extracto etéreo en el concentrado proteico hidrolizado (He *et al.*, 2013). Esta optimización del proceso contribuyó directamente a mejorar el perfil nutricional del producto final (Garcés *et al.* 2021).

Además, la reducción de los niveles de extracto etéreo tiene implicaciones positivas desde el punto de vista nutricional, ya que el extracto etéreo, compuesto principalmente por ácidos grasos, aunque esencial para los organismos, puede representar un desafío debido a su susceptibilidad a la oxidación (Aires *et al.*, 2005; Freiria, 2017 Mariño & Roa, 2021). Los ácidos grasos poliinsaturados y saturados, que se encuentran en los subproductos piscícolas, son propensos a oxidarse, lo que puede comprometer la calidad del producto al generar compuestos inestables como peróxidos, aldehídos y cetonas, los cuales afectan negativamente las propiedades sensoriales del producto (sabor, aroma, textura y color) (Oliveira & Lahnke, 2022; Mariutti & Bragagnolo, 2017). En este estudio, al reducir el contenido de extracto etéreo, se mitigaron los riesgos de oxidación, lo que mejora la estabilidad del producto y su vida útil.

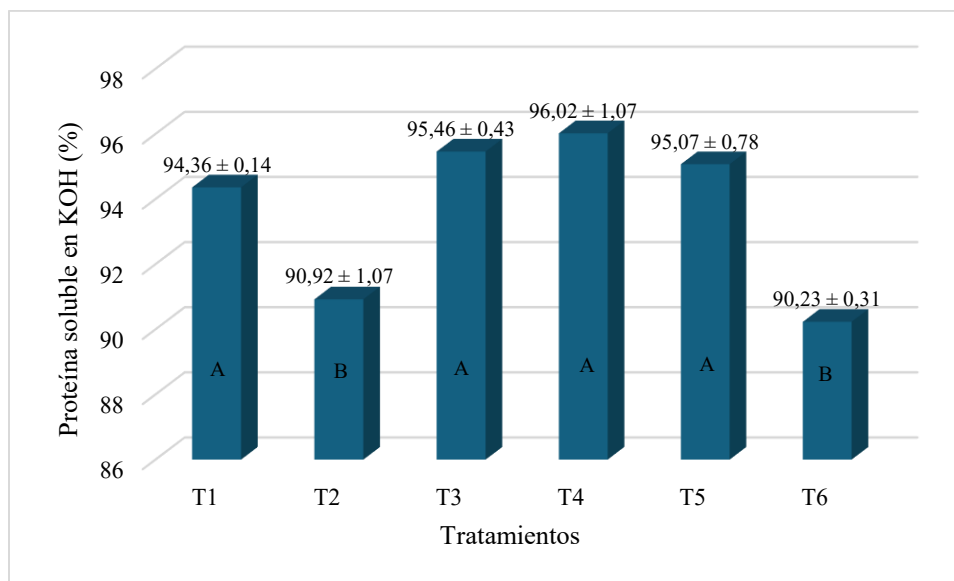
Comparando con otros estudios, Garcés et al. (2021) encontraron valores de 11,51% en concentrados proteicos hidrolizados de residuos animales, lo que es similar a los resultados de este estudio. Por otro lado, Hoyos et al. (2018) reportaron valores inferiores en harina de proteína hidrolizada de subproductos de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) con un 6,81%. Asimismo, Gómez & Zapata (2022) documentaron un contenido aún menor de 1,88% en hidrolizados enzimáticos de vísceras de Tilapia roja (*Oreochromis* sp), indicando una mayor eficiencia en la reducción de grasa en estos estudios.

Proteína Soluble (PS)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), presentados en la Tabla 7, indican que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos evaluados.

Figura 29

Proteína Soluble Del Concentrado Proteico Hidrolizado De Vísceras De Trucha



Nota. T1 (GH 40,47% separador centrifugo) T2 (GH 40,47% separador centrifugado + centrifuga) T3 (GH 50,67% separador centrifugo) T4 (GH 50,67% separador centrifugado + centrifuga) T5 (GH 60,26% separador centrifugo). T6 (GH 60,26% separador centrifugado + centrifuga).

En la Figura 29 se muestra que los tratamientos T4, T3, T5 y T1 tuvieron valores cercanos al 95%, lo que indica un mejor comportamiento. En cambio, los tratamientos T2 y T6 presentaron valores más bajos, alrededor del 90%, lo que sugiere un rendimiento inferior.

Estos resultados indican que hay una relación directa entre el contenido total de proteína y la cantidad de proteína soluble, como también señalan Hamed et al. (2022). A medida que aumenta el contenido de proteína, también lo hace la solubilidad, debido al proceso de hidrólisis, que descompone las proteínas en moléculas más pequeñas. Esto hace que se liberen aminoácidos polares que interactúan mejor con el agua (Martínez *et al.*, 2022).

Además, la solubilidad depende del tipo de proteína y del tamaño de los péptidos que se forman durante la hidrólisis. Según Montero, (2021) y Naghdi et al. (2023), los péptidos más pequeños tienen una mayor solubilidad. Abdollahi et al. (2018) indican que los hidrolizados de pescado tienen alta solubilidad debido a su pequeño tamaño molecular y a la liberación de grupos polares, lo que mejora su interacción con el agua. Esto podría explicar por qué todos los tratamientos evaluados presentaron valores de proteína soluble superiores al 90%.

Los resultados obtenidos en este estudio superaron los reportados por Martínez (2023), quien encontró valores del 60% en hidrolizados proteicos derivados de subproductos agroalimentarios, y los de Hamed et al. (2022), quienes reportaron valores cercanos al 80% en hidrolizados de *Diplodus anularis*. Además, los resultados fueron similares a los encontrados por Wald et al. (2016) en su estudio sobre hidrolizados enzimáticos de subproductos de trucha arcoíris, donde se alcanzaron porcentajes cercanos al 92%.

Nitrógeno Total Volátil (NV)

En este estudio, no se detectó nitrógeno total volátil (NTV) en ninguno de los tratamientos evaluados (Tabla 7). Este resultado positivo sugiere una adecuada conservación del

producto durante el proceso de hidrólisis. La ausencia de NTV puede ser atribuida al uso de ácido fórmico en el tratamiento, que reduce el pH a valores inferiores a 4, dificultando la proliferación de microorganismos y evitando la formación de compuestos volátiles como trimetilamina, dimetilamina y amoníaco, que son indicadores de degradación (López, 2022). Además, los hidrolizados fueron sometidos a una temperatura controlada de 60°C, lo que detuvo la hidrólisis en su punto óptimo y previno la desaminación de los aminoácidos, contribuyendo así a la estabilidad del producto final (Perea *et al.*, 2021).

La determinación de nitrógeno total volátil (NTV) es un parámetro clave para evaluar la calidad de los productos pesqueros, ya que los compuestos volátiles formados durante la degradación proteica indican el grado de frescura y calidad de la materia prima utilizada (Espinoza *et al.*, 2021). En productos pesqueros, los niveles de NTV aceptables suelen estar entre 25 y 35 mg/100 g, dependiendo de la especie y las condiciones de procesamiento (López, 2022). En este estudio, la ausencia de NTV en los hidrolizados resalta la efectividad del proceso utilizado para preservar la calidad del producto, garantizando que los compuestos indeseados no se formaran (García *et al.*, 2019). Esto sugiere que la combinación de ácido fórmico, control de temperatura y el proceso de hidrólisis son estrategias eficaces tanto para mejorar la solubilidad y funcionalidad de las proteínas como para asegurar la seguridad y frescura del producto final.

Los valores obtenidos en esta investigación fueron inferiores a los reportados por Lamas & Massa (2022), quienes encontraron resultados alrededor de 25 mg/100 g en la hidrólisis enzimática de residuos de *Trachurus lathami*. De manera similar, los resultados fueron más bajos que los presentados por Valerio *et al.* (2023), con 15 mg/100 g en hidrolizados de *Engraulis ringens*, y los obtenidos por Yeganeh *et al.* (2022), quienes reportaron valores de

aproximadamente 40 mg/100 g en proteínas hidrolizadas de vísceras de trucha arcoíris, superando el límite permitido para este tipo de materias primas.

Selección Del Mejor Tratamiento

Considerando los resultados obtenidos para cada uno de los tratamientos evaluados (Tabla 7), se eligió el tratamiento que mostró el mejor desempeño en cuanto a la mayor separación de extracto etéreo. En este sentido, se seleccionó el tratamiento T4, que presentó un grado de hidrólisis del 50,67% y una separación mediante separador centrifugado + centrifuga. Este tratamiento alcanzó un 7,21% de extracto etéreo y un 67,66% de proteína, lo que lo convierte en una excelente opción para su consideración como materia prima en la formulación de dietas para peces. Además, a continuación, se realizó un análisis proximal y microbiológico.

Caracterización Nutricional Y Microbiológica Del Concentrado Proteico Hidrolizado Seleccionado

A continuación, en la Tabla 8 se presenta los resultados de la caracterización química y microbiológica del tratamiento seleccionado T4 (GH 50,67% separador centrifugado + centrifuga)

Tabla 8

Composición Química Y Microbiológica De La Proteína Hidrolizada Concentrada GH 50,67% Separador Centrifugado + Centrifuga (Tratamiento Seleccionado)

Composición Química	Valores
Materia Seca (%)	27,29 ± 0,35
Proteína (%)	67,66 ± 0,84
Extracto Etéreo (%)	7,21 ± 0,25
Cenizas (%)	10,42 ± 0,38

Fibra (%)	0,6 ± 0,01
Energía Bruta Kcal/Kg	4118,45 ± 87,2
Extracto No Nitrogenado (%)	14,10 ± 0,83
Digestibilidad <i>In Vitro</i> (%)	90,71 ± 0,56
Índice De Rancidez Oxidativa	5,65 ± 0,08
Mesófilos Aerobios (UFC/G)	0
Mohos Y Levaduras (UFC/G)	0
Coliformes Totales (NMP/G)	0

En la Tabla 8, se presentan los resultados de la caracterización química y microbiológica del tratamiento seleccionado (T4), los cuales destacan la calidad del hidrolizado como materia prima para la formulación de dietas piscícolas. Este producto, derivado de subproductos piscícolas, ofrece un contenido nutricional elevado, lo que lo convierte en una fuente crucial de nutrientes fácilmente aprovechables por los peces (Hleap & Gutiérrez, 2017).

El hidrolizado presentó un contenido proteico del 67%, lo que destaca su potencial como sustituto de la harina de pescado en dietas para peces. Este alto valor se debe, en parte, al uso de técnicas de separación como el separador centrifugado + centrifuga, que permite eliminar eficientemente los lípidos y concentrar las proteínas, mejorando así la calidad del producto (Castelló *et al.*, 2021). Además, el proceso de hidrólisis genera péptidos de cadena corta y aminoácidos libres fácilmente asimilables, lo que optimiza la digestión en los peces (Garcés *et al.*, 2021). También se liberan aminoácidos no polares que aumentan la biodisponibilidad de los nutrientes y aportan propiedades bioactivas, como mayor permeabilidad celular y actividad. También se liberan aminoácidos no polares que aumentan la biodisponibilidad de los nutrientes y

aportan propiedades bioactivas, como mayor permeabilidad celular y actividad antimicrobiana (Hoyos *et al.*, 2018).

El contenido lipídico del hidrolizado fue bajo (7,21%), lo que resulta ventajoso para su inclusión en las dietas acuícolas. Esta reducción en la fracción lipídica se logra mediante un proceso de separación mecánica que elimina los componentes insolubles (González *et al.*, 2016; Hoyos *et al.*, 2018). Varios estudios han señalado que un alto contenido de lípidos puede limitar el uso de hidrolizados como fuente proteica alternativa en la alimentación animal (Perea *et al.*, 2021; Garcés *et al.*, 2021), por lo que este bajo nivel de lípidos en el hidrolizado constituye una característica favorable.

El contenido de cenizas del hidrolizado fue del 10,42%, lo que refleja la cantidad de minerales presentes en el producto. Este valor es significativamente más bajo que el de la harina de pescado, que suele tener un contenido de cenizas entre el 20% y el 25% (Hoyos *et al.*, 2018). El valor registrado en este estudio es adecuado, ya que las cenizas son un residuo inorgánico que resulta de la eliminación de los compuestos orgánicos, y su cantidad depende del origen de la materia prima. Un exceso de cenizas puede afectar la calidad del producto, alterando su sabor y textura, e interfiriendo con la absorción de otros nutrientes, lo que reduce la eficiencia de la dieta (Osuna *et al.*, 2024).

La digestibilidad *In Vitro* del hidrolizado en la fase gástrica con pepsina superó el 90%, lo que indica una alta eficiencia en la digestión del producto. Este alto valor se debe a la ruptura de las proteínas y la generación de cadenas polipeptídicas de diferentes longitudes, así como aminoácidos libres, lo que facilita su absorción por los peces (Hleap & Gutiérrez, 2017; Amorim *et al.*, 2016).

El índice de rancidez oxidativa fue bajo en este hidrolizado, lo que es un factor positivo en cuanto a la estabilidad y calidad sensorial del producto. La rancidez oxidativa ocurre cuando los radicales libres oxidan los dobles enlaces de los ácidos grasos, generando compuestos volátiles como aldehídos y cetonas que alteran las propiedades organolépticas del producto, como el sabor, aroma y color (Segurondo & Cortez, 2020). En este caso, la baja rancidez se puede atribuir al uso de antioxidantes, como el Butilhidroxitolueno, que previenen la oxidación durante la elaboración del hidrolizado (Enriquez *et al.*, 2024).

Finalmente, el análisis microbiológico reveló la ausencia de mesófilos aerobios, mohos, levaduras y coliformes totales en el producto, lo que indica un resultado positivo en cuanto a la calidad microbiológica. Este efecto se atribuye a la adición de ácido fórmico, que reduce el pH de las vísceras de trucha, creando un entorno desfavorable para el crecimiento microbiano. Además, el ácido fórmico favorece la acción de la pepsina, lo que contribuye adicionalmente a la inhibición del crecimiento de microorganismos (Hoyos *et al.*, 2018; Sarmiento *et al.*, 1996).

En conjunto, estos resultados reflejan la alta calidad del hidrolizado obtenido a partir de los subproductos de trucha, tanto en términos nutricionales como microbiológicos. La combinación de hidrólisis, separación mecánica y control de la oxidación garantiza un producto estable y altamente digerible, apto para ser utilizado como fuente proteica en la alimentación acuícola.

Evaluación De Las Dietas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado En Juveniles De Tilapia Roja (*Oreochromis spp*)

Durante el desarrollo de la evaluación, no se presentó mortalidad. Los peces mostraron aceptabilidad a las dietas formuladas. Las condiciones fisicoquímicas del agua permanecieron dentro de los rangos recomendados para *Oreochromis spp*, con una temperatura promedio del

agua de $26,5 \pm 1,1$ °C; pH de $6,6 \pm 0,9$; oxígeno disuelto $4,4 \pm 1,06$ mg/L; la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO5) fue de $1,5 \pm 0,0$ y $3,98 \pm 0,1$ mg/L respectivamente; sólidos disueltos $1,17 \pm 0,61$ mg/L; nitritos $0,62 \pm 0,0$ mg/L; nitratos $0,65 \pm 0,0$ mg/L; amonio $0,1 \pm 0,029$ mg/L y la alcalinidad de $85,4 \pm 19,5$ mg/L.

Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo En Tilapia Roja Alimentadas Con Dietas Extruidas A Partir De La Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado

En la Tabla 9, se muestran los resultados obtenidos para las variables de los parámetros de crecimiento evaluados: incremento de peso (IP), incremento de talla (IT), tasa de crecimiento diaria (TCD), y con respecto a parámetros de aprovechamiento nutritivo: el índice de conversión alimenticia (ICA), tasa de eficiencia de la proteína (TEP) y tasa de eficiencia de la energía (TEE), los cuales indican que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$).

Tabla 9

Parámetros De Crecimiento Y Aprovechamiento Nutritivo Obtenidos En Oreochromis spp Fase De Engorde Al Incluir Concentrado Proteico Hidrolizado En Su Alimentación

Variables	T1	T2	T3	T4	T5	Valor P
IP ^I (g)	$19,25 \pm$	$24,98 \pm$	$25,61 \pm$	$23,93 \pm$	$21,13 \pm$	<,0001
	0,22 ^b	0,85 ^a	0,32 ^a	0,54 ^a	1,18 ^b	
IT ^{II} (cm)	$1,16 \pm$	$1,27 \pm$	$1,14 \pm$	$1,06 \pm$	$1,09 \pm$	0,0349
	0,11 ^{ab}	0,07 ^a	0,04 ^{ab}	0,03 ^b	0,03 ^{ab}	
TCD ^{III} (g/día)	$0,87 \pm$	$1,13 \pm$	$1,16 \pm$	$1,08 \pm$	$0,96 \pm$	<,0001
	0,01 ^b	0,03 ^a	0,01 ^a	0,02 ^a	0,05 ^b	

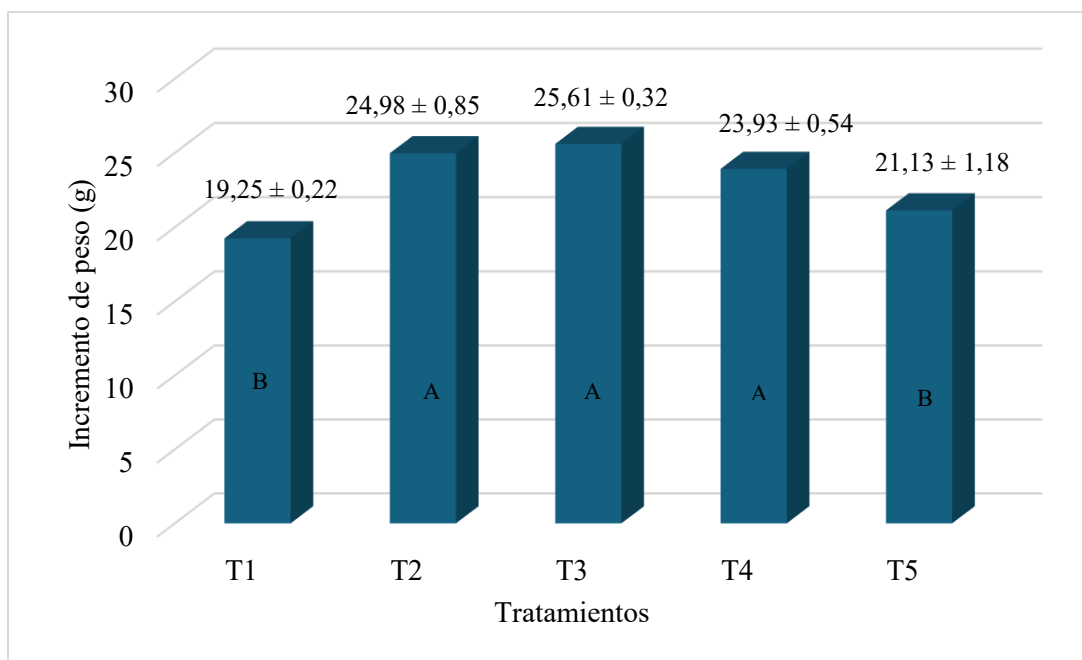
ICA ^{IV}	1,85 ±	1,61 ±	1,53 ±	1,63 ±	1,83 ±	0,0065
	0,13 ^a	0,02 ^{ab}	0,17 ^b	0,08 ^{ab}	0,96 ^a	
TEP ^V	2,07 ±	2,36 ±	2,49 ±	2,33 ±	2,08 ±	0,0032
	0,14 ^b	0,03 ^{ab}	0,04 ^a	0,05 ^{ab}	0,14 ^b	
TEE ^{VI}	0,17 ±	0,19 ±	0,21 ±	0,19 ±	0,17 ±	0,0031
	0,01 ^b	0,00 ^{ab}	0,00 ^a	0,00 ^{ab}	0,01 ^b	

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT). Letras diferentes en la misma fila difieren

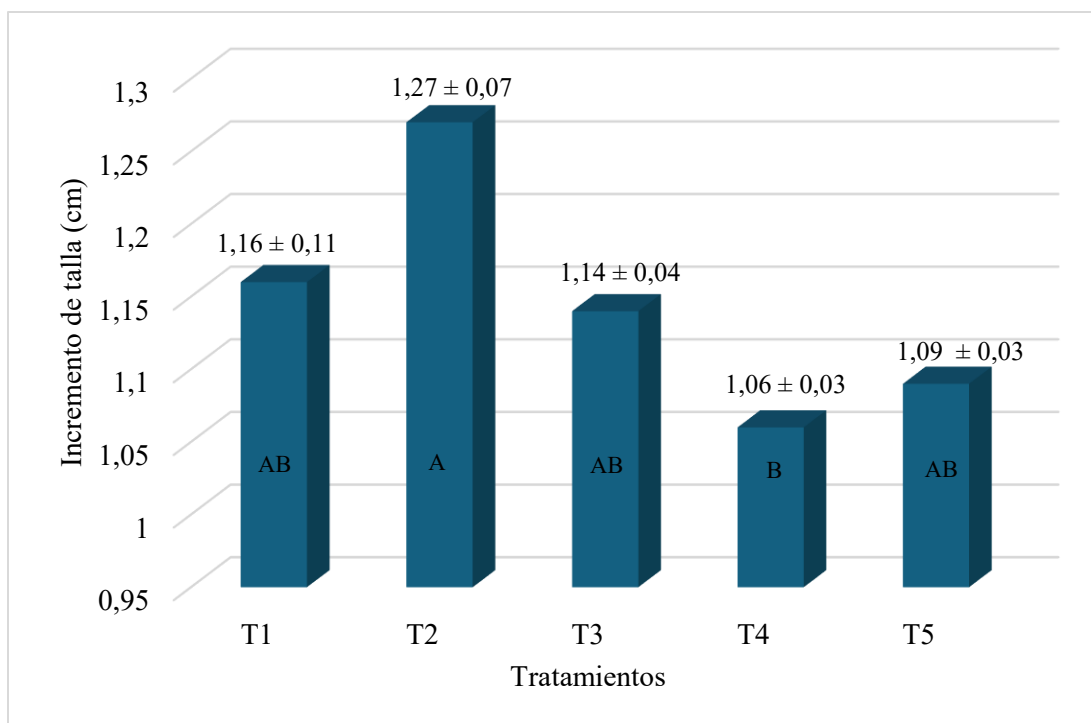
estadísticamente ($p < 005$). ^IIncremento de peso ^{II}Incremento de talla ^{III}Tasa diaria de crecimiento ^{IV}Índice de conversión alimenticia ^VTasa de eficiencia de la proteína ^{VI}Tasa de eficiencia de la energía.

Incremento De Peso (IP) E Incremento De Talla (IT)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En cuanto al incremento de peso (IP), los tratamientos T4, T3 y T2 obtuvieron los mejores valores, sin diferencias significativas entre ellos, mientras que T1 y T5 registraron los valores más bajos, también sin diferencias notables entre sí. Para el incremento de talla (IT), el tratamiento T2 destacó con el mejor rendimiento, seguido por T1, T3 y T5, cuyos resultados fueron similares, mientras que T4 presentó el valor más bajo (Tabla 9, Figura 30 y 31).

Figura 30*Incremento De Peso*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Figura 31*Incremento De Talla*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Estos resultados sugieren que la inclusión de CPHVT en la dieta, hasta un 75%, favoreció el incremento de peso en los juveniles de *Oreochromis* spp. Sin embargo, en términos de incremento de talla, una inclusión más baja, de hasta un 25%, resultó ser más adecuada. La inclusión de CPHVT hasta el 25% en la dieta no solo mejoró el incremento de peso y talla, sino que también evidenció una sustitución parcial de harina de pescado que no afectó negativamente el desarrollo de los peces. De hecho, los valores obtenidos fueron superiores a los del tratamiento control, lo que sugiere que el reemplazo de harina de pescado por CPHVT en este rango de proporciones no compromete el rendimiento ni el crecimiento de los juveniles

Uno de los posibles mecanismos detrás de este efecto beneficioso podría ser el alto contenido de péptidos de cadena corta y aminoácidos libres presentes en el CPHVT. Estos

compuestos facilitan la absorción de nutrientes en el intestino delgado y reducen el gasto energético asociado con los procesos metabólicos (Hleap & Gutiérrez, 2017). Además, el CPHVT es una fuente rica en aminoácidos esenciales como metionina y lisina, que son fundamentales para el crecimiento y rendimiento productivo de los peces (Hoyos *et al.*, 2018). La alta biodisponibilidad de estos hidrolizados asegura que los juveniles de tilapia puedan absorber eficientemente los nutrientes, favoreciendo su desarrollo (Vásquez, 2020).

Además, los péptidos, debido a su fácil absorción, favorecen una digestión eficiente y la asimilación de nutrientes. Estos péptidos estimulan la secreción de enzimas digestivas y tienen un efecto antioxidante en las células intestinales (Javaherdoust *et al.*, 2020). A su vez, los suplementos de proteínas hidrolizadas no solo mejoran la digestibilidad de los alimentos, sino que también aumentan su palatabilidad, lo que contribuye al crecimiento (Acosta & Camacho 2023)

En relación con la palatabilidad, un estudio de Acosta & Camacho (2023) evaluó dietas para alevines de *Oreochromis* spp utilizando proteína hidrolizada concentrada de vísceras de trucha (PHCVT). Los resultados mostraron que hasta un 75% de sustitución de harina de pescado por PHCVT fue bien aceptado por los peces, destacando la influencia positiva de los aminoácidos libres como ácido glutámico, glicina y leucina en la aceptación del alimento (Da Silva *et al.*, 2017). Estos aminoácidos son altamente atractivos para el sistema gustativo de los peces, lo que mejora la aceptación de la dieta.

Sin embargo, se observó que cuando la sustitución de harina de pescado por CPHVT superó el 75%, se produjo una disminución en el incremento de peso y, cuando superó el 50%, también se redujo el incremento de talla. Este descenso en la aceptación podría atribuirse a un cambio en la palatabilidad, causado por un aumento en la concentración de péptidos amargos o

compuestos lipídicos, los cuales afectan negativamente la aceptación del alimento (Alves *et al.*, 2019). Este fenómeno ha sido documentado por varios estudios (Alves *et al.*, 2019; Quinto *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2017), que concluyen que los péptidos amargos tienen un impacto negativo en la palatabilidad de las dietas para peces.

La percepción de amargor en los péptidos depende del grado de hidrólisis, el peso molecular y la secuencia de aminoácidos de estos. Los péptidos con aminoácidos hidrófobos voluminosos, como triptófano, fenilalanina, tirosina y valina, son conocidos por inducir una mayor percepción de amargor (Fu *et al.*, 2019). Estos péptidos tienden a unirse a los receptores de sabor amargo en los peces, intensificando la sensación de amargor cuando las unidades de unión y estimulador coexisten en el mismo péptido. Sin embargo, en grados bajos de hidrólisis, donde los péptidos son más grandes, las proteínas no se vinculan tan fácilmente con estos receptores, lo que reduce la percepción de amargor (Acosta & Camacho, 2023).

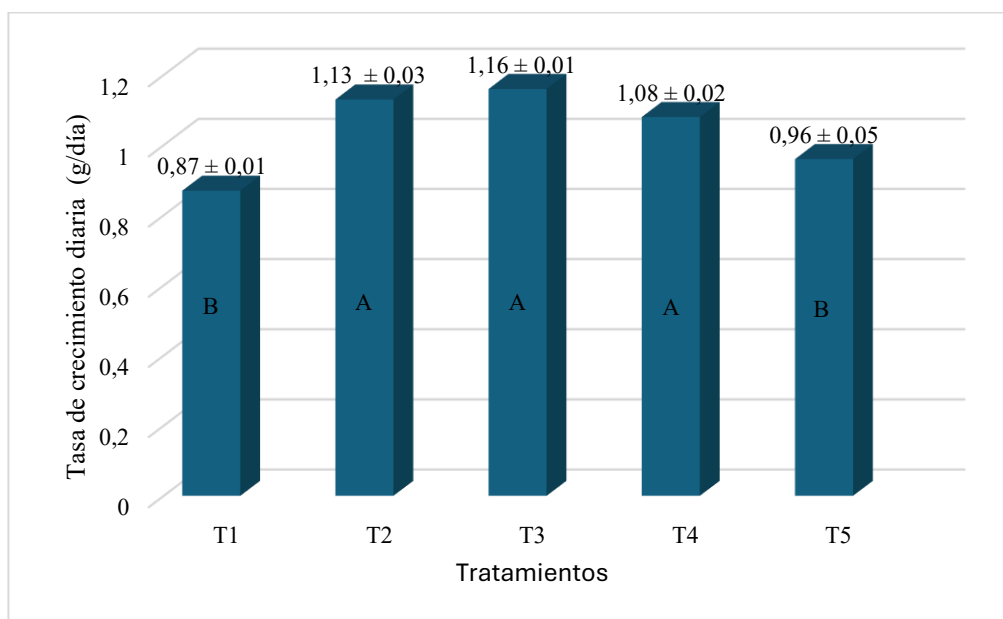
Los resultados obtenidos en este estudio para el incremento de peso (IP) son consistentes con los reportados por Benavides *et al.* (2023), quienes evaluaron el efecto del hidrolizado de vísceras de trucha arcoíris en dietas isoprotéicas e isoenergéticas con inclusiones del 10%, 15% y 20%. En su estudio los valores de IP fueron 19,4 g 21,7 g y 29,02 g respectivamente. En cuanto al incremento de talla (IT), los resultados fueron ligeramente inferiores alcanzando 3,2 cm 3,39 cm y 3,72 cm. Amaringo *et al.* (2022) por su parte, reportaron valores más bajos en su evaluación del hidrolizado proteico en doncella; estos autores obtuvieron un IP de 21,0 g y un IT de 3,12 cm después de 30 días de evaluación. Similarmente, López & Salas (2021) hallaron resultados comparables en IP con 21,7 g, 25,23 g y 29 g, mientras que para IT los valores fueron superiores promediando 3,27 cm, 3,39 cm y 3,72 cm respectivamente.

Tasa De Crecimiento Diario (TCD)

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos T2, T3 y T4 registraron los valores más altos de crecimiento diario, sin diferencias significativas entre ellos, mientras que T1 (dieta control) y T5 (100% CPHVT) presentaron los valores más bajos, también sin diferencias estadísticas entre sí (Tabla 9, Figura 32).

Figura 32

Tasa De Crecimiento Diario



Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Estos resultados indican que sustituir la harina de pescado por concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT) en niveles de hasta 75% favorece el crecimiento de juveniles de *Oreochromis* spp, superando incluso a la dieta control. Este efecto puede atribuirse a las propiedades nutricionales del CPHVT, que incluye un perfil equilibrado de aminoácidos

esenciales y péptidos de bajo peso molecular, lo cual mejora la digestibilidad y la absorción intestinal de los nutrientes. Esto permite una mayor eficiencia en el metabolismo proteico y energético de los peces, favoreciendo su crecimiento (Siddik et al., 2021). Una inclusión de hasta el 75% impulsó el desarrollo de juveniles de *Oreochromis* spp, superando incluso a la dieta control.

Sin embargo, cuando la inclusión supera este nivel, como en el tratamiento con 100% de CPHVT, se evidenció una disminución en el rendimiento. La absorción rápida de aminoácidos libres puede saturar los procesos de síntesis proteica, generando productos de desecho que incrementan el estrés metabólico (Barragán y López, 2021). Además, el exceso de proteína puede traducirse en energía no aprovechada, que se almacena como grasa, afectando negativamente el desarrollo de los peces.

El buen desempeño observado también depende del entorno en el que se desarrollan los peces. Factores como la calidad del agua, la temperatura y el manejo sanitario son determinantes para un crecimiento óptimo. De hecho, un ambiente inadecuado puede generar situaciones de estrés fisiológico, afectando el metabolismo de los aminoácidos y comprometiendo la homeostasis interna (Amaringo *et al.*, 2022). En este estudio, se garantizó un monitoreo continuo de los parámetros ambientales, lo cual permitió crear condiciones propicias para que los peces aprovecharan al máximo los beneficios de la dieta (Burgos *et al.*, 2023).

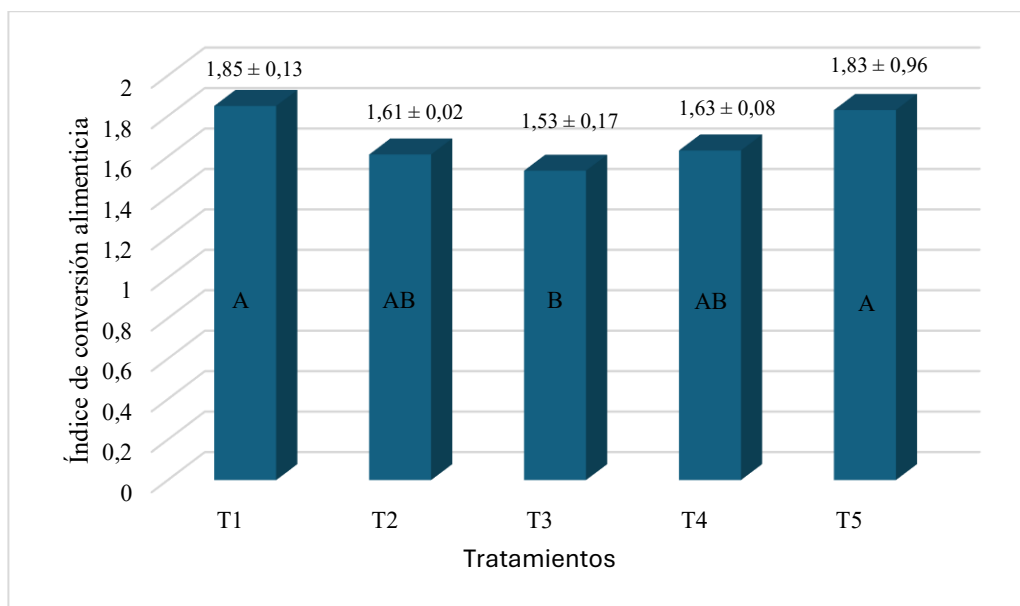
La estructura intestinal de la tilapia también influye en la eficiencia de la absorción. Esta especie posee un intestino largo y adaptativo, cuya estructura favorece una amplia superficie de absorción a través de vellosidades y microvellosidades intestinales (Ramírez *et al.*, 2018). Investigaciones como las de, Siddik et al. (2019) han demostrado que las dietas con proteínas hidrolizadas pueden inducir mejoras en la micromorfología intestinal, incrementando la altura de

los pliegues y la densidad de las microvellosidades. Estos cambios estructurales aumentan la eficiencia en la absorción de nutrientes, lo que se traduce en un mejor rendimiento productivo.

Los resultados obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por Amaringo et al. (2022), quienes evaluaron el efecto de la inclusión de hidrolizado proteico de pescado en la dieta sobre el crecimiento corporal y la composición proximal del músculo de *Pseudoplatystoma punctifer*, obteniendo 0,82 g/día. E inferiores a los reportados por Cárdenas & Panduro (2018), que evaluaron harina de vísceras de pollo en el crecimiento de alevinos de *Colossoma macropomum*, con niveles de inclusión del 5%, 10% y 15%, obteniendo resultados de 2,67, 2,68 y 2,80 g/día respectivamente. Finalmente, los resultados son similares a los de Llanes & Parisi (2020), quienes evaluaron hidrolizado de subproductos pesqueros en dietas para alevines de *Clarias gariepinus*, obteniendo valores de 0,93 y 1,00 g/día.

Índice De Conversión Alimenticia (ICA)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos T1 y T5 registraron los valores más bajos, sin diferencias significativas entre ellos. Por su parte, T4 y T2 presentaron valores intermedios, también sin diferencias entre ambos. En cambio, el tratamiento T3 destacó por mostrar el mejor desempeño en esta variable (Tabla 9 y Figura 33).

Figura 33*Índice De Conversión Alimenticia*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Los resultados obtenidos indican que la inclusión del 50% de concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT) en la dieta de juveniles de *Oreochromis* spp estimuló un mayor consumo de alimento, reflejado en un menor índice de conversión alimenticia (ICA). En este tratamiento, se necesitaron solo 1,53 gramos de alimento para lograr un incremento de un gramo en el peso corporal, lo cual evidencia una mayor eficiencia alimentaria en comparación con otros niveles de inclusión.

Sin embargo, al superar el 50% de inclusión de CPHVT, se observó un aumento en el ICA, lo que implica una menor eficiencia en la conversión del alimento en biomasa. Este fenómeno podría explicarse por un exceso de nutrientes disponibles, particularmente aminoácidos. Cuando los aminoácidos no son utilizados para la síntesis proteica, son desviados hacia rutas metabólicas secundarias, como la producción de energía o el almacenamiento de

grasa visceral (Paredes & Vega, 2024). Esta acumulación de grasa no contribuye al crecimiento estructural de los peces, sino que incrementa su peso total

Por otro lado, el CPHVT contiene compuestos como aminoácidos libres (ácido glutámico, glicina, arginina, entre otros) y nucleótidos que, al disolverse en el agua, pueden actuar como atractantes naturales para los peces, mejorando la palatabilidad del alimento. Estos compuestos estimulan los receptores gustativos, lo que aumenta la aceptación y el consumo del alimento, contribuyendo a una mayor ingesta en el tratamiento con un 50% de CPHVT (Pillaca, 2023).

Además, el CPHVT ha demostrado una alta digestibilidad, lo que favorece la absorción eficiente de nutrientes a través de la membrana intestinal. Esta eficiencia digestiva optimiza la descomposición de proteínas y la absorción de aminoácidos, reduciendo la interacción innecesaria entre las enzimas digestivas y los sustratos (Mudarra, 2022; Rojas, 2021). Como resultado, los nutrientes son utilizados de manera más eficiente, promoviendo un crecimiento más rápido y saludable en los peces

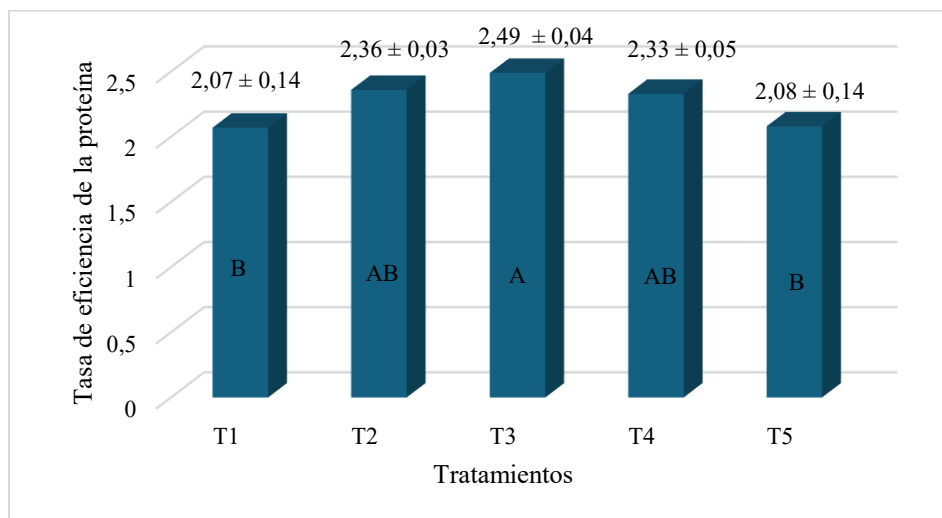
Como resultado, los nutrientes son aprovechados de forma más eficiente, lo que promueve un crecimiento más rápido y saludable. Por tanto, una inclusión de hasta un 50% de CPHVT no solo mejora la eficiencia alimentaria, sino que también maximiza la biodisponibilidad de nutrientes esenciales, traduciéndose en un mejor desempeño productivo (Cardoza *et al.*, 2021; Ha *et al.*, 2019).

Estos resultados son coherentes con estudios previos, como el de Amaringo *et al.* (2022), quienes evaluaron el hidrolizado proteico de pescado en *Pseudoplatystoma punctifer*, obteniendo un valor de ICA de 1,40. De manera similar, Llanes & Parisi (2020) reportaron valores de ICA de 1,18 y 1,15 en dietas con un 10% de hidrolizados de subproductos pesqueros. En contraste,

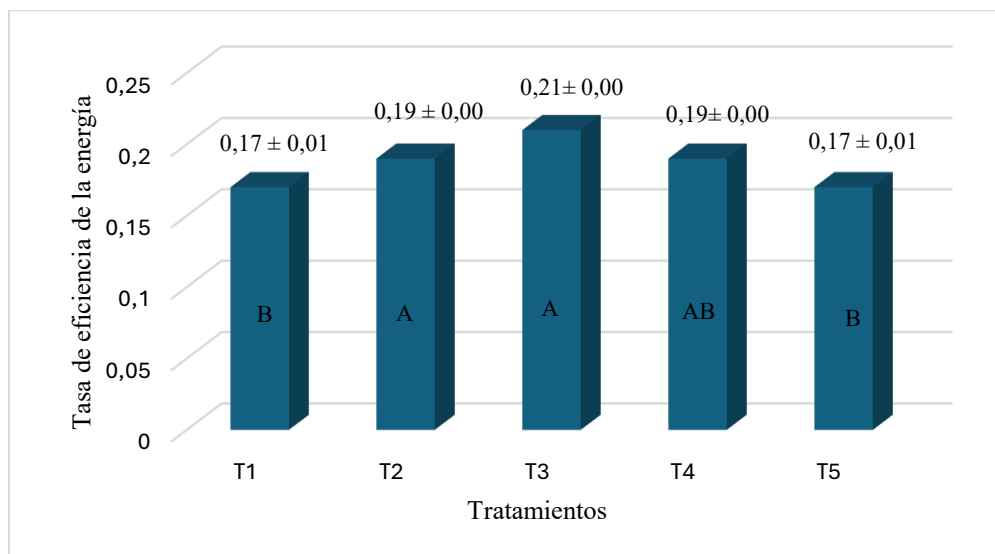
los resultados de este estudio superan los reportados por Terrones & Reyes (2018), quienes evaluaron hidrolizados de residuos de moluscos en la dieta de *Cryphiops caementarius* y *Oreochromis niloticus*, encontrando valores de ICA de 1,7 y 1,9 con una inclusión del 50% de hidrolizado. De igual forma, los resultados de este estudio son mejores que los obtenidos por Pillaca (2023), quien evaluó el uso de hidrolizados de subproductos del *Litopenaeus vannamei* sobre el estrés en juveniles de *Oreochromis niloticus* reportando un ICA de 1,93. Estos hallazgos indican que la inclusión de CPHVT en las dietas presenta una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia alimentaria en la acuicultura.

Tasa De Eficiencia De La Proteína (TEP) Y Tasa De Eficiencia De La Energía (TEE)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para las variables tasa de eficiencia de la proteína (TEP) y tasa de eficiencia de la energía (TEE) evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3 registró los valores más altos en ambas variables, seguido por los tratamientos T2 y T4, que mostraron resultados intermedios sin diferencias significativas entre ellos. Por su parte, los tratamientos T1 y T5 presentaron los valores más bajos, siendo los menos favorables en términos de eficiencia proteica y energética (Tabla 9, Figura 34 y 35).

Figura 34*Tasa De Eficiencia De La Proteína*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Figura 35*Tasa De Eficiencia De La Energía*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Los resultados obtenidos indican que la inclusión de hasta un 50% de concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT) en la dieta de juveniles de *Oreochromis* spp mejora significativamente la eficiencia del crecimiento, tanto en términos de aprovechamiento proteico (TEP) como energético (TEE). Sin embargo, niveles superiores a este porcentaje provocaron una disminución en ambas eficiencias, lo que sugiere que existe un umbral óptimo de inclusión para maximizar el rendimiento productivo sin comprometer el metabolismo de los peces.

En el caso de la TEP, esta mejora se asocia con los efectos positivos de la hidrólisis proteica, que facilita la liberación de aminoácidos esenciales como valina, leucina, isoleucina, entre otros, así como de péptidos de bajo peso molecular. Estos compuestos, altamente solubles y de fácil absorción, optimizan la digestión y aumentan la biodisponibilidad de nutrientes (Cardoza *et al.*, 2021; Hoyos *et al.*, 2018). Además, la presencia de dipéptidos y tripéptidos favorece una absorción más eficiente que la de los aminoácidos libres, gracias a su menor tamaño y menor presión osmótica, lo que acelera su transporte a través de la mucosa intestinal (Amaringo *et al.*, 2022).

También se ha descrito que la estructura funcional de los hidrolizados con grupos hidrofóbicos e hidrofílicos expuestos mejora la estabilidad en el tracto digestivo y facilita la interacción con enzimas digestivas, lo que se traduce en una mayor eficiencia de absorción (Montero, 2021). Esto permite una liberación más eficaz de nutrientes clave, acelerando su paso a través de los enterocitos y contribuyendo al crecimiento estructural y funcional de los peces (Gómez & Zapata, 2022).

Sin embargo, cuando la inclusión de CPHVT supera el 50%, la eficiencia proteica disminuye. Este fenómeno podría deberse al exceso de aminoácidos disponibles, los cuales, al no

ser utilizados para síntesis proteica, son desviados hacia procesos catabólicos que generan energía o se almacenan como grasa (Hernández, 2020). Esta conversión energética requiere gasto metabólico adicional y puede provocar una acumulación indeseada de lípidos viscerales, afectando negativamente el rendimiento biológico.

Asimismo, el aumento del contenido lipídico en dietas con altos niveles de CPHVT puede formar complejos proteína-lípido, interfiriendo en la acción enzimática sobre las proteínas y dificultando su hidrólisis (Sampedro *et al.*, 2019; Villamil *et al.*, 2017). Esto explicaría la disminución progresiva en la eficiencia observada en tratamientos con mayor inclusión de CPHVT (T4 y T5), en comparación con aquellos con niveles moderados.

Respecto a la TEE, el alto valor energético del CPHVT también contribuye a los resultados observados. Su contenido en ácidos grasos poliinsaturados, como oleico, palmítico y linoleico, ofrece una fuente energética eficiente que reduce la necesidad de catabolizar proteínas para obtener energía (Hoyos *et al.*, 2018; Montero, 2021). Estos lípidos, al ser fácilmente emulsionados gracias a la acción de los grupos funcionales presentes en el hidrolizado, favorecen la digestión lipídica y aumentan la absorción de energía a nivel intestinal (Gómez & Zapata 2022; Naso, 2021).

Este aprovechamiento óptimo de nutrientes no solo promueve una mayor ganancia de peso, sino que también respalda procesos metabólicos esenciales sin generar excesos de residuos nitrogenados. De esta forma, se mejora la salud del animal y se contribuye a la sostenibilidad del sistema productivo, al reducir el impacto ambiental (Martínez *et al.*, 2018; Miranda, 2018).

En conjunto, tanto la eficiencia proteica como la energética alcanzaron su punto más alto con una inclusión del 50% de CPHVT (T3), lo que sugiere que este nivel permite un equilibrio

adecuado entre aporte nutricional, biodisponibilidad y metabolismo. En cambio, sustituciones superiores redujeron progresivamente el aprovechamiento de nutrientes, posiblemente por saturación metabólica o efectos adversos sobre la digestibilidad.

Los datos obtenidos para la TEP en este estudio superan los reportados por Amaringo et al. (2022), quienes evaluaron el efecto de un hidrolizado proteico de pescado sobre el crecimiento y composición proximal del músculo de *Pseudoplatystoma punctifer* con un valor de 0,22. También son más altos que los encontrados por Rathore et al. (2018), que reportaron un valor de 1,75 al investigar un hidrolizado de pescado en *Clarias batrachus*. Sin embargo, son comparables a los obtenidos por Wei et al. (2021) en dietas con inclusión de hidrolizado de proteína de pescado para *Takifugu rubripes* donde se reportó un valor de 2,09 e inferiores a los reportados por Llanes y Parisi (2020), quienes evaluaron subproductos pesqueros hidrolizados en piensos para *Clarias gariepinus* con valores de 3,1 y 3,2.

Respecto a los resultados de la TEE se lograron datos similares a los obtenidos por Ruiz (2018), quien evaluó la inclusión de 10%, 20% y 30% de un concentrado proteico de hidrolizado de vísceras de pollo en dietas para *Oreochromis* spp. con valores de 0,18, 0,19 y 0,17 respectivamente. Sin embargo, estos resultados son inferiores a los reportados por Martínez et al. (2018), al estudiar el desempeño zootécnico de alevines de *Piaractus brachypomus* alimentados con dietas de diferentes niveles de energía, cuyos valores oscilaron entre 0,35 y 0,41 y a los obtenidos por Campo (2022), quien investigó los parámetros nutritivos en *Oreochromis* spp. alimentados con dietas que incluían 10% y 20% de hidrolizado de lombriz roja californiana, reportando valores de 2,75 y 2,74 respectivamente.

Análisis Económico De Dietas Extruidas Con Inclusión De Concentrado Proteico Hidrolizado De Vísceras De Trucha En La Alimentación De *Oreochromis spp*

En la Tabla 10 se muestra los resultados del análisis económico realizado en esta investigación, el cual reveló diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el costo de la dieta, así como en variables como el Índice de Conversión Económico (ICE) y el Índice de Rentabilidad Económico (IRE), en relación con los diferentes porcentajes de inclusión de concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha.

Tabla 10

Análisis Económico De Dietas Extruidas Con Concentrado Proteico Hidrolizado De Vísceras De Trucha Para Oreochromis spp

Variables	T1	T2	T3	T4	T5	ANOVA (Pr >F)
Precio De La Dieta (\$ ^I Kg-1)	3.921,83 ± 000 ^a	3.804,93 ± 000 ^b	3.728,23 ± 000 ^c	3.538,77 ± 000 ^d	3.324,92 ± 000 ^e	<,0001
ICE ^{II} (\$ Kg-1)	7.260,62 ± 511,80 ^a	6.155,11 ± 76,22 ^b	5.715,38 ± 102,17 ^b	5.794,14 ± 130,1 ^b	6.109,49 ± 420,38 ^b	0,0015
IRE ^{III} (\$ Kg-1)	1.311,39 ± 23,44 ^c	1.392,68 ± 18,33 ^{ba}	1.423,3 ± 19,25 ^a	1.441,72 ± 38,43 ^a	1.347,35 ± 44,73 ^{bc}	0,0069

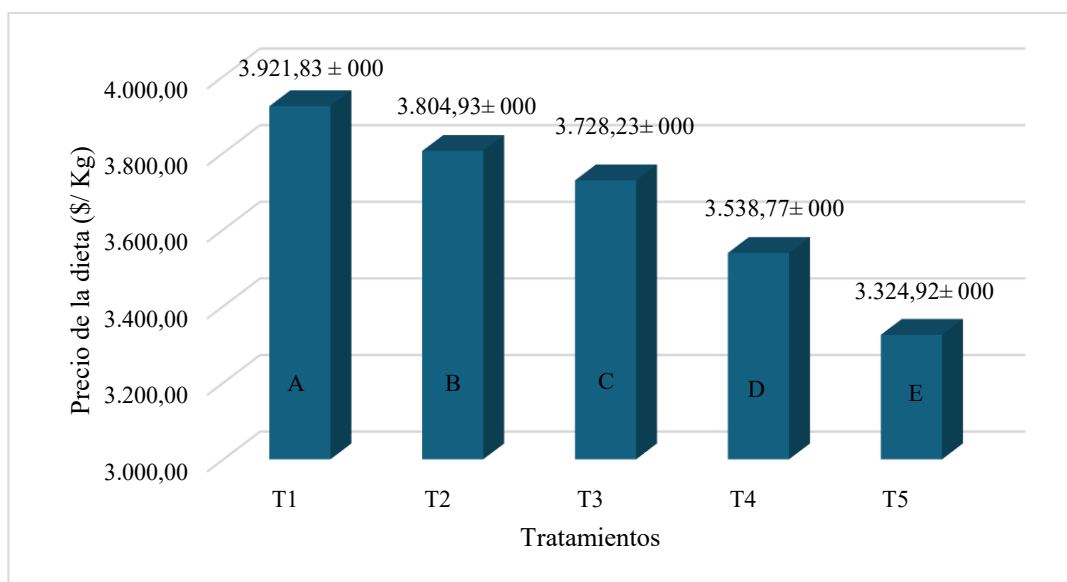
Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT). Letras diferentes en la misma fila difieren estadísticamente ($p < 0,05$) ^I\$(Pesos colombianos – COP) ^{II}Índice de conversión económica ^{III}Índice de rentabilidad económica.

Precio De La Dieta

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1 presentó el valor más desfavorable para esta variable, seguido por T2, T3 y T4. Finalmente, el tratamiento T5 mostró el resultado más favorable (Tabla 10 y Figura 36).

Figura 36

Precio De La Dieta



Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

El análisis estadístico evidenció que, a medida que se incrementaba el porcentaje de inclusión de CPHVT, el costo de las dietas disminuía de manera significativa. En este contexto, la dieta correspondiente al tratamiento T5 (100% de inclusión de CPHVT) resultó ser la más económica, seguida por las formulaciones con 75% (T4), 50% (T3) y 25% (T2) de inclusión. Por otro lado, la dieta control (T1), sin inclusión de CPHVT, presentó el costo más elevado

Estos resultados ponen de manifiesto una relación inversamente proporcional entre el costo de formulación y el nivel de inclusión de CPHVT, lo que sugiere que la sustitución progresiva de la harina de pescado por CPHVT representa una estrategia efectiva para reducir el costo de los alimentos destinados a juveniles de Tilapia roja. Específicamente, el tratamiento T2 (25% de CPHVT) logró una reducción del 2,98% en el costo por kilogramo de alimento (\$116,90), mientras que en T3 (50%) la disminución fue del 4,93% (\$193,60). T4 (75%) mostró una reducción del 9,76% (\$383,06), y T5 (100%) alcanzó la mayor disminución con un 15,22% (\$596,91) en comparación con el alimento comercial.

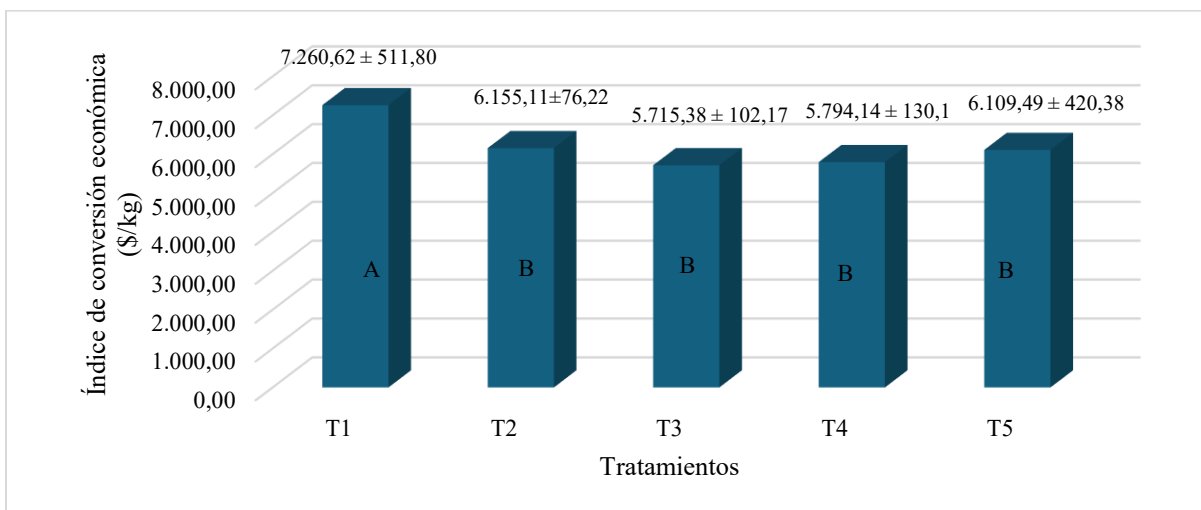
La disminución en el costo de las dietas se debe, en gran parte, a las ventajas económicas del CPHVT. Este ingrediente, obtenido a partir de subproductos de la industria pesquera, resulta más accesible que la harina de pescado y se presenta como una alternativa viable, sostenible y con buena calidad nutricional (Perea *et al.*, 2021). A diferencia de la harina de pescado uno de los insumos más costosos en acuicultura, tanto por su precio como por su limitada disponibilidad, el CPHVT permite reducir gastos sin comprometer el valor nutritivo del alimento (Hernández, 2023).

Conjuntamente, los resultados obtenidos demuestran que la inclusión de CPHVT en las dietas de juveniles de *Oreochromis* spp no solo reduce significativamente los costos de producción, sino que también abre nuevas perspectivas para la industria acuícola al ofrecer una alternativa económica a la harina de pescado. Esta sustitución no solo ayuda a reducir costos, sino que también aporta en términos ambientales. Al provenir de subproductos de la industria pesquera, el CPHVT se presenta como una fuente de proteína más accesible y sostenible, lo que lo convierte en una alternativa interesante frente a la harina de pescado (Hoyos *et al.*, 2018).

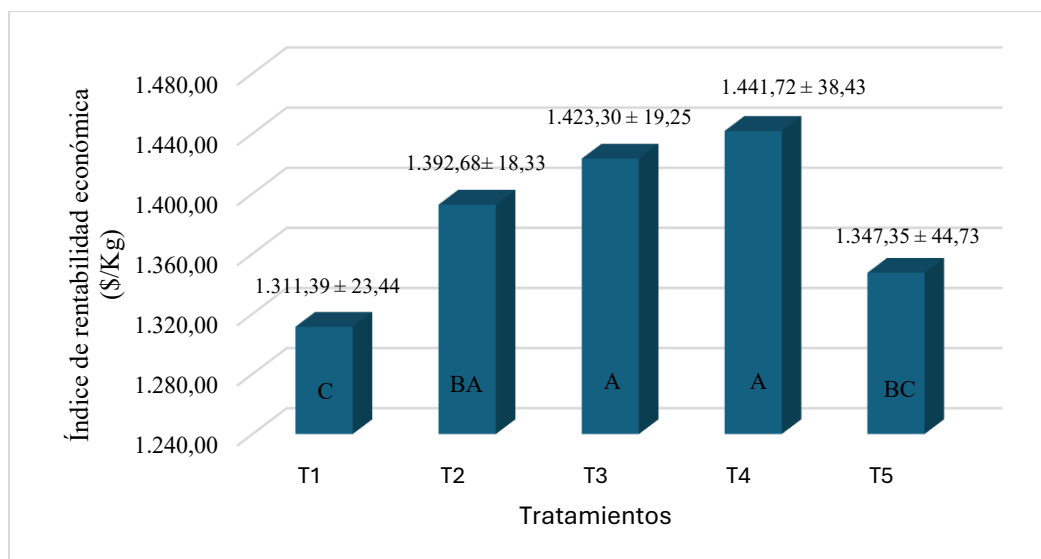
Este comportamiento es consistente con otros estudios que han evaluado el uso de subproductos pesqueros en la alimentación de peces. Rodríguez & Deza (2024), por ejemplo, reportaron resultados similares al sustituir la harina de pescado por harina de vísceras de *Octopus vulgaris* en dietas para alevines de *Oreochromis niloticus*. En este estudio, las inclusiones del 25%, 50% y 75% de harina de vísceras resultaron en reducciones de costo de \$383,58, \$789,72 y \$1162,02 por kilogramo respectivamente, en comparación con la dieta control. De igual forma, Llanes y Parisi (2020) encontraron una reducción del 31% en el costo de la dieta de *Clarias gariepinus* al sustituir la harina de pescado por ensilados pesqueros, con una diferencia de \$3.347 en el costo total. Rodríguez (2023) también evaluó el impacto de la proteína hidrolizada de trucha en dietas para *Oreochromis* spp, observando reducciones del 13,24%, 20,87% y 27,14% en el costo de la dieta con inclusiones de 25%, 50% y 75% respectivamente en comparación con la dieta control.

Índice De Conversión Económica (ICE) Y Índice De Rentabilidad Económica (IRE)

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado a las variables índice de conversión económica (ICE) e índice de rentabilidad económica (IRE) reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Para el ICE, el tratamiento T1 presentó el valor menos favorable, mientras que los tratamientos T2, T3, T4 y T5 mostraron resultados más positivos. En cuanto al IRE, los tratamientos T3 y T4 destacaron con los mejores desempeños, seguidos por T2 y T5, mientras que el tratamiento T1 registró nuevamente el valor menos favorable (Tabla 10, Figura 37 y 38).

Figura 37*Índice De Conversión Económica*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

Figura 38*Índice De Rentabilidad Económica*

Nota. T1 (CONTROL) T2 (75% HP + 25% CPHVT) T3 (50% HP + 50% CPHVT) T4 (25% HP + 75% CPHVT) T5 (100% CPHVT).

De acuerdo con los resultados obtenidos, tanto el índice de conversión económica (ICE) como el índice de rentabilidad económica (IRE) muestran mejoras significativas cuando se reemplaza hasta un 50% de la harina de pescado por concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha (CPHVT). Esta sustitución permite una reducción del 21,28% en el costo del alimento necesario para producir un kilogramo de carne, además de generar un incremento del 9,93% en la rentabilidad económica respecto a la dieta control.

Estos resultados evidencian una correlación positiva entre el uso de CPHVT y la eficiencia productiva, lo que refuerza su potencial como una alternativa económicamente viable. Esta mejora puede atribuirse a las características funcionales de la proteína presente en el CPHVT, obtenida mediante hidrólisis enzimática endógena, proceso que favorece una mayor digestibilidad y, en consecuencia, una mejor asimilación de aminoácidos y otros nutrientes esenciales (Cardoza *et al.*, 2021; López & Salas, 2021). La mayor eficiencia en la conversión de nutrientes en masa muscular contribuye directamente al rendimiento productivo y a la rentabilidad (Hleap & Gutiérrez, 2017). Asimismo, el CPHVT presenta una alta palatabilidad, lo cual estimula el consumo voluntario de alimento y mejora la conversión alimenticia, un factor determinante en la eficiencia económica de los sistemas de producción animal (Acosta & Camacho, 2023). En conjunto, estos hallazgos subrayan que el CPHVT no solo representa una alternativa nutricional efectiva, sino que también aporta ventajas económicas significativas, posicionándose como una opción sostenible frente a las fuentes proteicas como la harina de pescado y la torta de soya.

Diversos estudios respaldan estos resultados. Estrada (2022) reportó un beneficio económico de \$441,77 COP/kg al implementar inclusiones de ensilajes de eviscerados de trucha en un análisis técnico-económico sobre el procesamiento de residuos sólidos de la truchicultura.

Por su parte, Perea et al. (2018) evaluaron el uso de hidrolizado de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp y encontraron que al incluir un 20% de este hidrolizado se lograba una remuneración económica de \$1.824,86 por kilogramo de carne producido en relación con el costo de alimentación en comparación con la dieta control. Igualmente, Moutinho et al. (2017) analizaron el uso de harina de carne y huesos como sustituto parcial de la harina de pescado en dietas para juveniles de *Sparus aurata* obteniendo un costo de \$5.610,14 y unos ingresos de \$1.836,05 por kilogramo de alimento ofrecido.

Conclusiones

Las condiciones establecidas para la hidrólisis de las vísceras de trucha, caracterizadas por un pH ácido controlado, aumento de la consistencia, bajos niveles de nitrógeno volátil básico (NBV) y una acidez titulable estable, favorecieron la fragmentación proteica y limitaron el crecimiento microbiano, permitiendo obtener un hidrolizado con características fisicoquímicas y microbiológicas adecuadas para su aprovechamiento como subproducto.

La caracterización nutricional de los hidrolizados de vísceras de trucha mostró un perfil favorable, con un adecuado contenido de materia seca (~29%) y un alto nivel de proteínas (~40%). Sin embargo, se observó un nivel elevado de lípidos (>45%), lo que requiere ajustes para evitar desequilibrios en la formulación de dietas para animales. En contraste, el contenido de fibra fue muy bajo (<0,1%), lo que sugiere una buena digestibilidad, y la energía bruta alcanzó las 4.800 Kcal/kg, reflejando un alto valor energético del producto.

La implementación de procesos de separación mecánica permitió obtener un concentrado proteico hidrolizado a partir de vísceras de trucha, con alto valor nutricional. El tratamiento 4 presentó el mejor desempeño, al incrementar la concentración de proteínas en un $67,66\% \pm 0,84$ y reducir el contenido de extracto etéreo al $7,21\% \pm 0,25$, lo que lo convierte en un ingrediente atractivo para dietas de *Oreochromis* spp.

El uso de concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha en dietas para juveniles de *Oreochromis* spp resultó ser una opción viable. La inclusión de hasta un 50% favoreció el crecimiento y el aprovechamiento nutricional, mostrando un rendimiento superior en comparación con la dieta control.

Recomendaciones

Se recomienda estudiar los efectos de los concentrados proteicos en la morfología intestinal de *Oreochromis spp.*, enfocándose en la longitud de las vellosidades intestinales y la integridad de la mucosa intestinal. Además, es fundamental analizar la actividad de las enzimas digestivas, ya que esto permitirá evaluar cómo dichos concentrados afectan la eficiencia de la digestión y la absorción de nutrientes.

Se sugiere monitorear los cambios en la composición del microbiota intestinal de *Oreochromis spp.* al incorporar concentrados proteicos en su dieta, para evaluar cómo afecta la salud digestiva, el aprovechamiento de nutrientes y la modulación del sistema inmunológico.

Es recomendable investigar las propiedades bioactivas de los concentrados proteicos de vísceras de trucha, ya que podrían contener péptidos beneficiosos para la salud y el rendimiento de *Oreochromis spp.* Se sugiere evaluar su impacto en la respuesta inmune, la digestibilidad y la resistencia a enfermedades, lo que podría optimizar las dietas acuícolas,

Sería útil llevar a cabo una evaluación de las dietas en condiciones de campo para verificar si los resultados obtenidos en un ambiente controlado se replican en situaciones reales de producción. Esto permitirá validar la eficacia de las dietas y, en caso de confirmar los beneficios, poder recomendarlas de manera efectiva a los productores piscícolas

Por último, se recomienda implementar la producción industrial del concentrado proteico hidrolizado de vísceras de trucha, optimizando el proceso mediante un sistema automático de control de parámetros críticos, como el pH, el grado de hidrólisis y el tiempo.

Glosario De Términos

Vísceras de trucha: Órganos internos de la trucha (hígado, riñones, intestinos) utilizados como subproducto en la industria acuícola.

Hidrolizado de vísceras de trucha: Producto obtenido al descomponer las proteínas de las vísceras de trucha en péptidos y aminoácidos a través de hidrólisis, mejorando su digestibilidad.

Tasa de eficiencia de la proteína: Relación entre el aumento de peso y la cantidad de proteína consumida, indicando cuán eficazmente el animal utiliza la proteína.

Tasa de eficiencia de la energía: Relación entre el incremento de peso y la energía consumida, mostrando cuánta energía se usa para el crecimiento.

Índice de conversión alimenticia: Cantidad de alimento necesario para obtener un incremento de peso determinado. Un valor bajo indica mayor eficiencia alimentaria.

Incremento de peso: Aumento en el peso corporal de un organismo durante un período de tiempo.

Incremento de talla: Aumento en el tamaño o longitud de un organismo durante su crecimiento.

Índice de Conversión Económica: Relación entre el costo del alimento y el valor generado por el crecimiento del animal. Un ICE bajo indica mayor eficiencia económica.

Índice de Rentabilidad Económica: Relación entre los ingresos por ventas y los costos de producción. Un IRE alto indica mayor rentabilidad

Tasa de Crecimiento Diario: Aumento promedio de peso o tamaño de un organismo por día

Referencias Bibliográficas

- Ababouch, L. H., Souibri, L., Rhaliby, K., Ouahdi, O., Battal, M., & Busta, F. F. (1996). Quality changes in sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice and at ambient temperature. *Food Microbiology*, 13(1), 123-132.
<https://doi.org/10.1006/fmic.1996.0016>
- Abdel, F. E., & El-Sayed, A. (2020). Nutrition and feeding. In *Tilapia culture* (2nd ed., pp. 135-172). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816509-6.00007-0>
- Abdollahi, M., Rezaei, M., Jafarpour, A., & Undeland, I. (2018). Sequential extraction of gel-forming proteins, collagen and collagen hydrolysate from gutted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), a biorefinery approach. *Food Chemistry*, 242, 568-578.
- Acosta, C., & Camacho, I. (2023). Digestibilidad y palatabilidad de dietas con proteína hidrolizada de vísceras de trucha en alevines de *Oreochromis* spp. Universidad del Cauca.
- Agudelo, C., Ortega, R., & Hoyos, J. (2010). Determinación de parámetros cinéticos de dos inóculos lácticos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(56), 10-12.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117666>
- Aires, D., Capdevila, N., & Segundo, M. J. (2005). Ácidos grasos esenciales. *Offarm*, 24(4), 96-102.
- Alahmad, K., Xia, W., Jiang, Q., & Xu, Y. (2022). Effect of the degree of hydrolysis on nutritional, functional, and morphological characteristics of protein hydrolysate produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) using ficin enzyme. *Foods*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/foods11091320>

- Alves, D. R. S., Oliveira, S. R. D., Luczinski, T. G., Paulo, I. G. P., Boscolo, W. R., Bittencourt, F., & Signor, A. (2019). Palatability of protein hydrolysates from industrial byproducts for Nile tilapia juveniles. *Animals*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/ani9060311>
- Alzate, J. C. (2018). Prospectiva de la piscicultura en Colombia al 2030: Estudio a realizar en seis departamentos: Meta, Valle del Cauca, Cauca, Antioquia, Cundinamarca y Santander. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Amaringo, C., Núñez, L., Wong, D., Prada, D., Villanueva, C., Contreras, G., Bezada, S., Carcelén, F., & López, S. (2022). Effect of fish protein hydrolyzate inclusion in the diet on body growth and proximate muscle composition of spotted tiger shovelnose catfish (*Pseudoplatystoma punctifer*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, 33(5). <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i5.22232>
- Amorim, R. D., Deschamps, F. C., & Pessatti, M. L. (2016). Protein hydrolysate waste of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) as a way of adding value to fish and reducing the environmental liabilities of the fishing industry.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. (1990–2006). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Virginia (USA): Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (1969). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Peroxide value of oils and fats. Method number 965.33. Arlington, Virginia, USA.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (Method 985.35, pp. 15).
- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (Method 995.11 – “Phosphorus (Total) in Foods”, Colorimetric Method. Volume II). Editor: George W. Latimer, Jr. Chapter 45, pp. 50-52.

- Aparicio, L., Alvarado, L., & Avella, S. (2021). Proyecto de producción piscícola y comercialización sostenible en el municipio de Barrancabermeja, Santander. Universidad EAN.
- Arce, J., Roa, M., López, C., Ávila, E., Herrera, J., & Cortés, A. (2020). Empleo de ácidos orgánicos en el agua de bebida y su efecto en el desempeño productivo en pollos de engorda. *Abanico Veterinario*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.36>
- Auqui, J. J. (2022). Caracterización de vísceras de trucha y residuos de café para la obtención de un suplemento alimenticio.
- Barriga, M., Churacutipa, M., & Salas, A. (2019). Elaboración de ensilado biológico a partir de residuo crudo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)) en Puno, Perú. *Ecología Aplicada*, 18(1), 37. <https://doi.org/10.21704/rea.v18i1.1304>
- Belén, D., Moreno, M. J., García, D., Medina, C., & Sidorovas, A. (2007). Caracterización de un hidrolizado proteico enzimático obtenido del pez caribe colorado (*Pygocentrus cariba* Humboldt, 1821). *Interciencia*, 32(3), 188-194.
- Benavides, J. S., & Macías, J. L. (2021). Bioproducción de hidrolizados aplicados en la industria acuícola. *Boletín Informativo CEI*, 8(1), 192-193.
- Benavides, J. S., López, J. N., & Váquiro, H. A. (2023). Modelado matemático del efecto del hidrolizado de vísceras en el desempeño productivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Información Tecnológica*, 34(4), 45-56. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000400045>
- Barragán, E., & López, J. (2021). *Fisiopatología y nutrición*. Editorial Página Seis
- Berman, A. (2007). Optimización del proceso de extrusión para la elaboración de pelets para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano. Universidad Zamorano,

repositorio digital, 1-35. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5387/1/AGI-2007-T005.pdf>

- Botto, C. (2021). Propiedades bioactivas de péptidos de hez de malta y de algas *Pyropia columbina* y *Ulva* spp. luego de una digestión gastrointestinal simulada. En *Plant Foods for Human Nutrition* (Vol. 73, Número 3). <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0682-1>
- Bringas-Alvarado, L., Zamorano-Ochoa, A., Rojo-Rodríguez, J. B., Lizett González-Félix, M., Pérez-Velázquez, M., Luis Cárdenas-López, J., & Navarro-García, G. (2018). Evaluación del ensilado fermentado de subproductos de tilapia y su utilización como ingrediente en dietas para bagre de canal. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 10(2), 85-94. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/604/262>
- Buitrago, N. (2024). *Sostenibilidad ambiental, económica y social en la acuicultura latinoamericana*. Universidad Piloto de Colombia.
- Burgos, B., Nieto, C., Bosquez, A., Vera, W., & Rodríguez, J. (2023). Caracterización de la frecuencia de alimentación en diferentes raciones en juveniles de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*), con base en indicadores de crecimiento (longitud y peso). *Pentaciencias*, 2, 449-462.
- Camaño, J. A., Montes, J. R., & Zapata, J. E. (2021). Calidad microbiológica en función del tiempo en dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) elaboradas con ensilado de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* spp.). *Información Tecnológica*, 32(2), 29-40. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200029>
- Campo, Y. (2022). Determinación de parámetros nutritivos en tilapia roja (*Oreochromis* spp.) alimentada con dietas extruidas a partir de la inclusión de hidrolizado de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Universidad Antonio Nariño.

- Cárdenas, Z., & Panduro, P. (2018). Efecto de la harina de vísceras de pollo en el crecimiento de alevinos de gamitana *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Cardoza, A., Guerra, M., & Palomino, A. (2021). Uso de hidrolizados de pescado en la acuicultura: una revisión de algunos resultados beneficiosos en dietas acuícolas. *Manglar*, 18(2), 215-222. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.029>
- Carmona, J., Montoya, J., & Castaño, G. (2012). Digestibilidad aparente de cuatro concentrados empleados durante el levante de *Oreochromis* sp. *Boletín de Investigaciones de Unisarc*, 10(2), 15-21.
- Carvalho da Silva, T., & Boscolo, W. R. (2022). Desempeño productivo do híbrido Patinga (*Piaractus mesopotamicus* x *Piaractus brachypomus*) alimentado com ração de origem vegetal com diferentes níveis de hidrolisado proteico de pescado. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 30(4), 293-300. <https://doi.org/10.53588/alpa.300402>
- Castelló, M., Pérez, E., Betoret, N., & Grau, A. (2021). Centrifugación industrial. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cerdá, M. (2016). Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. *Aquatic*, 9, 1-11. <file:///o:/Mis%20documentos/documentos/separatas/3131.pdf>
- Chamorro, J. (2021). Evaluación de diferentes niveles de harina de lentejas de agua (*Lemma minor*) en la alimentación de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en la etapa de alevinaje.
- Chu-Koo, F. W., Camargo, W. N., Alván-Aguilar, M. A., Trushenski, J., & Kohler, C. C. (2016). Coefficients of energy and nutrient apparent digestibility of three raw and

cooked alternative plant ingredients for *Colossoma macropomum* and *Piaractus brachypomus* (Serrasalminidae). *Folia Amazónica*, 25(1), 83.

<https://doi.org/10.24841/fa.v25i1.389>

Churuchumbi, V. (2019). Evaluación de la dieta con harina de larva de cutzo (*Phyllophaga* spp.) en la alimentación de cría y juvenil de tilapia roja (*Oreochromis* sp.).

Comisión Europea - REGLAMENTO (CE) N° 1022/2008 DE LA COMISIÓN de 17 de octubre de 2008 por el que se modifica el Reglamento (CE) N° 2074/2005 en lo que respecta a los valores límite de nitrógeno básico volátil total (NBVT). Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2008/277/L00018-00020.pdf>

Cortegano, C. A. A., Montúfar, R. L. N., Bardales, D. M. W., Rojas, D. P., Chávez, C. A. V., Salazar, G. V. C., ... & Guerra, S. L. (2022). Effect of fish protein hydrolyzate inclusion in the diet on body growth and proximate muscle composition of spotted tiger shovelnose catfish (*Pseudoplatystoma punctifer*)

Cuencas, L., León, J., & López, S. (2024). Nadando entre peces y sus genes: ingeniería genética en piscicultura. *Revista de Divulgación Científica iBIO*, 6(3), 183-187.

Da Silva, T., Rocha, J., Moreira, P., Signor, A., & Boscolo, W. R. (2017). Fish protein hydrolysate in diets for Nile tilapia post-larvae. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 52(7), 485-492. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000700002>

De la Cruz, G., Perales, N., & Gamboa, P. (2022). Uso de subproductos acuícolas en la elaboración de ensilajes biológicos y químicos: una revisión. *Revista Ciencia Norandina*, 5(1), 74-92. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2021v5n1p74>

- Domínguez, H., Iñarra, B., Labidi, J., Mendiola, D., & Bald, C. (2024). Comparison of amino acid release between enzymatic hydrolysis and acid autolysis of rainbow trout viscera. *Heliyon*, 10(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27030>
- Durán, A. I., Arzola, F., Jorquera, R., & Espinoza, M. (2021). Modelo fluidodinámico de un separador centrífugo de disco de dos fases. *Mecánica Computacional*, 38, 805-812.
- Enríquez, M. (2022). Calidad de la carne por cambios post mortem en cinco especies de peces amazónicos. *Revista Espamciencia*, 13(2), 13-26.
- Enríquez, M., Serrano, G., Cuadrado, D., & Ricaurte, P. (2024). Efecto de los aceites esenciales de plantas aromáticas en la conservación de embutidos. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 29(1), 196-225. <https://doi.org/10.32480/rscp.2024.29.1.196>
- Espinoza, S., Paz, A., & Pérez, M. J. (2021). Evaluación de la calidad del pescado pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) refrigerado y congelado mediante pruebas organolépticas y físico-químicas. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Espinoza, V., & Valverde, H. J. (2022). Factores de factibilidad de mercado y ambientales para establecer una granja acuícola semi-tecnificada dedicada a la producción de *Oreochromis niloticus*. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 8(16), 1992-2006. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v8i16.15148>
- Estrada, L. J. (2018). Análisis técnico-económico de alternativas para el procesamiento de los residuos sólidos de la truchicultura en Belmira, Antioquia, con énfasis en el tratamiento de aguas residuales. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.3923/jfas.2018.1.11>
- FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la transformación azul*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.032>

FAO. (2024). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024*. FAO.

<https://doi.org/10.4060/cd0683es>

Feriz, D., Calvache, M., & Anacona, H. (2018). Generación de abonos orgánicos a base de residuos de fincas truchícolas en el municipio de Silvia, Cauca, Colombia. *Unidad de Investigación en Ecología Tropical (UNIET)*, 8, 48-63.

FitzGerald, R. J., & Meisel, H. (2000). Milk protein-derived peptide inhibitors of angiotensin-I-converting enzyme. *British Journal of Nutrition*, 84(S1), 33-37.

FitzGerald, R., & Meisel, H. (2000). Milk protein-derived peptide inhibitors of angiotensin-I-converting enzyme. En *British Journal of Nutrition* (Vol. 84, Número SUPPL. 1). CAB International. <https://doi.org/10.1017/s0007114500002221>

Fonseca, M. (2021). Estado actual de los métodos de estimación de la bioaccesibilidad in vitro de hierro y zinc en diferentes alimentos fortificados: una revisión. Universidad Nacional de Colombia.

Frederick, S. (2022). Descriptions of major farmed aquatic animal species - Chapter 1. In *Aquaculture Pathophysiology* (pp. 1-44). Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812211-2.00041-X>

Freiria, E. F. C. (2017). *Tecnología de alimentos*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional.

Fu, Y., Chen, J., Bak, K. H., & Lametsch, R. (2019). Valorisation of protein hydrolysates from animal by-products: Perspectives on bitter taste and debittering methods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 978-986.

- Garcés, Y., Perea, C., Valencia, N. F., Hoyos, J. L., & Gómez, J. A. (2015). Efecto nutricional del ensilado químico de subproductos piscícolas en la alimentación de pollos de engorde (*Gallus domesticus*). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(4), 503-508.
- Garcés, Y., Perea, C., Vivas, N., & Hoyos, J. L. (2021). Obtención y evaluación de concentrado proteico hidrolizado de residuos animales como alternativa de alimentación en *Piaractus brachypomus* (Cuvier 1818). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 68(3). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n3.99930>
- García, C., Scheuren, S., & Zamorano, J. (2019). Explorando diferentes subproductos considerados como residuos por la industria pesquera en México. *Biotecnia*, 2, 1-9. <http://biotecnia.unison.mx>
- Gómez, L. J., & Zapata, J. E. (2022). Caracterización fisicoquímica, tecnofuncional y calidad biológica de hidrolizados de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* spp.). *Información Tecnológica*, 33(3), 3-14. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000300003>
- Gómez, P., de la Fuente, M. Á., & Juárez, M. (2019). Trans fatty acids and conjugated linoleic acid in food: Origin and biological properties. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 479-486. <https://doi.org/10.20960/nh.2466>
- González, A., Pallares, L. E., & Escobar, R. (2016). Implementación de un dispositivo basado en Bluetooth y RFID para guía y posicionamiento en interiores de personas con incapacidad visual usando una APP en su dispositivo móvil. *Redes de Ingeniería*, 97-106.
- Gram, L. (1989). Identification, characterization, and inhibition of bacteria isolated from tropical fish (PhD thesis). *The Technological Laboratory of the Danish Ministry of Fisheries and The Royal Veterinary and Agricultural University*.

- Ha, N., Alves, G., Gonçalves, A., de Oliveira, N., Sugai, J., Pessatti, M., & Fabregat, T. (2019). Sardine (*Sardinella* spp.) protein hydrolysate as growth promoter in South American catfish (*Rhamdia quelen*) feeding: Productive performance, digestive enzymes activity, morphometry and intestinal microbiology. *Aquaculture*, 500, 99-106.
- Hamed, F., Elgaoud, I., Deracinois, B., Flahaut, C., Nedjar, N., & Barkia, A. (2022). Production of hydrolysates and peptides from a new protein source: *Diplodus annularis*. *Food Bioscience*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102129>
- He, S., Franco, C., & Zhang, W. (2013). Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing. *Food Research International*, 50(1), 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.031>
- Hernández, J. (2020). Efecto de la sustitución parcial de harina de pescado por un hidrolizado proteínico de intestinos de pollo sobre el crecimiento de juveniles de tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*). Universidad Politécnica de Sinaloa.
- Hernández, J. (2023). Evaluación de la sustitución parcial y total de la harina de pescado por harina de subproducto avícola, en juveniles de lobina rayada (*Morone saxatilis*): Efecto en el crecimiento, la actividad enzimática, digestibilidad y calidad nutrimental del músculo. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Hernández, M. (2021). Revisión bibliográfica de la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en Colombia. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

- Hernández, M. (2024). Evaluación del crecimiento y la salud en juveniles de *Seriola rivoliana* mediante la suplementación de taurina en la dieta [Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.]
- Hleap, J., & Gutiérrez, C. (2017). Hidrolizados de pescado: Producción, beneficios y nuevos avances en la industria. Una revisión. *Acta Agronómica*, 66(3), 311-322.
<https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52595>
- Hoyos, J. L., Villada, H. S., Quintero, A. F., & Bonilla, J. R. (2018). Chemical characterization of hydrolyzed protein meal obtained from trout (*Oncorhynchus mykiss*) by-products silage. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(16), 1-13.
<https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i16/118634>
- Jamalluddin, N., Ismail, N., Mutalib, S., & Sikin, A. (2022). Extracción Sc-CO₂ de pescado y subproductos de pescado en la producción de aceite de pescado y enzimas. *Bioresource and Bioprocessing*, 9(21).
- Jamdar, S. N., Rajalakshmi, V., Pednekar, M. D., Juan, F., Yardi, V., & Sharma, A. (2010). Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity and ACE inhibitory activity of peanut protein hydrolysate. *Food Chemistry*, 121(1), 178-184.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.027>
- Javaherdoust, S., Yeganeh, S., & Amirkolaie, A. K. (2020). Effects of dietary visceral protein hydrolysate of rainbow trout on growth performance, carcass composition, digestibility and antioxidant enzyme in juvenile *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Nutrition*, 26(1), 134-144. <https://doi.org/10.1111/anu.12975>

- Korkmaz, K., & Tokur, B. (2022). Optimization of hydrolysis conditions for the production of protein hydrolysates from fish wastes using response surface methodology. *Food Bioscience*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101312>
- Kumar, P. A., Moshiur, R. M., Mahabubur, R. M., & Shahanul, I. M. (2018). Effects of commercial feeds on the growth and carcass compositions of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 13(1).
- Lamas, D., & Massa, E. (2022). Hidrólisis enzimática de residuos del procesamiento de surel (*Trachurus lathami*): Caracterización de las fracciones obtenidas. *Revista Científica*, 30(2). <https://doi.org/10.54495/rev.cientifica.v30i2.277>
- Lavid Navarrete, C. E. (2019). Determinación de dosis de enzimas y tiempos óptimos de hidrólisis para mejorar la digestibilidad de las proteínas obtenidas de residuos de pescado. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López*.
- Llanes, J., & Parisi, G. (2020). Indicadores productivos y económicos de *Clarias gariepinus* alimentadas con subproductos pesqueros ensilados con los ácidos sulfúrico y fórmico. *Pastos y Forrajes*, 43(3), 184-189.
- López, F. (2022). Efecto de hidrolizados de *Dosidicus gigas* con propiedades bioactivas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de un embutido de calamar gigante durante su vida útil.
- López, J. (2021). Histología hepática en juveniles de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) con inclusión de β -glucano en dieta.
- López, J., & Salas, J. (2021). Efecto de harina de hidrolizado de vísceras en el crecimiento de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista MVZ Córdoba*, 26(1), 1-9.

- Lozano Fernández, J. E. (2023). *Composición química, digestibilidad y consumo voluntario de la harina de vísceras de trucha (Oncorhynchus mykiss)*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú]
- Lupatsch, I. (2012). *Formulación de alimentos y estrategias de alimentación*. Centro de Acuicultura Sostenible de la Universidad de Swansea, 1-6.
<http://www.aquafeed.co/formulacion-de-alimentos-y-estrategias-de-alimentacion-para-la-tilapia/>
- Ly, J. (2008). Predicción de la digestibilidad ileal de alimentos tropicales no convencionales para cerdos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 15(4), 329-333.
- MADR - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas, Cadena de la Acuicultura. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Marine Stewardship Council. (2023). Fishing and the Sustainable Development Goals: How the MSC program enables meaningful action and measurement towards delivering the SDGs.
- Mariño, I., & Roa, M. (2021). Parámetros productivos y digestibilidad de pollos, utilizando cayeno (*Hibiscus rosa-sinensis*) y probiótico (*Lactobacillus acidophilus*) más pectina. *Orinoquia*, 25(1), 35-46. <https://doi.org/10.22579/20112629.654>
- Mariutti, L., & Bragagnolo, N. (2017). Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food Research International*, 94, 90-100.
- Martínez, F., Crochet, P. A., Fahd, S., Geniez, P., Brito, J. C., & Velo-Antón, G. (2017). Integrative phylogeographical and ecological analysis reveals multiple Pleistocene

refugia for Mediterranean *Daboia* vipers in north-west Africa. *Biological Journal of the Linnean Society*, 122(2), 366-384.

Martínez, E. (2023). Caracterización y propiedades funcionales de hidrolizados proteicos obtenidos a partir de subproductos de la industria agroalimentaria. Dirigido y tutorizado por la Universidad de Burgos.

Martínez, E., Salazar, J., & Osuna, I. (2022). Proteínas y péptidos de residuos líquidos pesqueros: Obtención, bioactividad y uso en la alimentación acuícola.

Martínez, O., Chamorro, S., & Brenes, A. (2015). Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules with interest in animal feeding: A review. *Food Research International*, 73, 204-212.

Martínez, S., Quintero, L., & Peña, L. (2018). Evaluación del desempeño zootécnico de alevinos de *Piaractus brachypomus* alimentados con dietas que aporten diferentes niveles de energía. *Orinoquia*, 22(2), 215-223. <https://doi.org/10.22579/20112629.529>

Mejía, E., Mahecha, L., & Angulo, J. (2017). Consumo de materia seca en un sistema silvopastoril de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 389. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23561>

Méndez, Y., Pérez, Y., Torres, Y., & Reyes, J. J. (2018). State of the art of cultivation of red tilapia in the largest of Antilles island. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 20(2), 1-10. <http://biotecnia.unison.mx>

Miranda Gutiérrez, J. D. (2018). Digestibilidad de nutrientes y determinación del requerimiento energético de juveniles de paco (*Piaractus brachypomus*).

- Miranda, J. (2018). Digestibilidad de nutrientes y determinación del requerimiento energético de juveniles de paco (*Piaractus brachyomus*). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Mohanty, A., Vivekanandhan, S., Pin, J. M., & Misra, M. (2018). Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. *Science*, 362(6414), 536-542.
<https://doi.org/10.1126/science.aat9072>
- Montero, M. (2021). Protein hydrolyzed from byproducts of the fishery industry: Obtaining and functionality. *Agronomy Mesoamericana*, 32(2), 681-699.
<https://doi.org/10.15517/am.v32i2.41437>
- Mora-Maldonado, L. E., Maldonado-Santoyo, M., Padilla-Rizo, B., Estrada-Monje, A., Sánchez-Olivares, G., & Segoviano-Garfías, J. J. N. (2020). Reciclado de subproductos de origen animal: Composición y valor nutritivo del pelo bovino hidrolizado hidrotérmicamente. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 92-110.
<https://doi.org/10.15359/rca.54-2.5>
- Moscós, J., Gomez, O., & Guevara, V. (2020). Metabolizable energy and net energy content of corn, wheat bran, soybean meal, fish meal, and soybean oil for broilers. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 335-344. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.05>
- Moutinho, S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Oliva-Teles, A., & Peres, H. (2017). Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. *Aquaculture*, 468, 271-277.
- Mudarra, R. (2022). Funciones bioactivas de péptidos derivados de proteínas hidrolizadas de pescado: Aplicación en la nutrición porcina. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4.

- Murthy, L. N., Phadke, G. G., Unnikrishnan, P., Annamalai, J., Joshy, C. G., Zynudheen, A. A., & Ravishankar, C. N. (2018). Valorization of fish viscera for crude proteases production and its use in bioactive protein hydrolysate preparation. En *Waste and Biomass Valorization* (Vol. 9, Número 10, pp. 1735-1746). <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9962-5>
- Naghdi, S., Rezaei, M., Tabarsa, M., & Abdollah, M. (2023). Parallel extraction of sulfated polysaccharides and protein hydrolysate from skipjack tuna head and their bioactive and functional properties. *Food and Bioprocess Technology*, 1-11.
- Naso, N. (2021). Estudio de las interacciones entre las sales biliares y diferentes emulsionantes: Impacto en los mecanismos de lipólisis y bioaccesibilidad de ácidos grasos omega 3.
- Nicovita. (2013). *Manual de crianza Tilapia* (p. 49).
<http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Noriega, A., Rivas, D., Silva, R., & Hurtado, E. (2020). Crecimiento y sobrevivencia de juveniles de tilapia roja con dietas suplementadas de vitaminas C y E. *Ciencia Unemi*, 13(34), 16-27. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss34.2020pp16-27p>
- NTC - Instituto Colombiano de Normalización. (1997). *Microbiología. Guía general para el recuento de mohos y levaduras. Técnica de recuento de colonias 25°C* NTC 4132. Bogotá D.C.: El instituto.
- NTC - Instituto Colombiano de Normalización. (1998). *Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para la detección y enumeración de coliformes. Técnica del número más probable* NTC 4516. 1ra ed. Bogotá D.C.: El instituto.

- NTC - Instituto Colombiano de Normalización. (2000). *Determinación del contenido de proteína total y soluble* NTC 4860. Bogotá D.C.: El instituto.
- NTC - Instituto Colombiano de Normalización. (2009). *Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de bacterias mesofílicas de ácido láctico. Técnica de recuento de colonias a 30°C* NTC 4519. 1ra ed. Bogotá D.C.: El instituto.
- NTC, Norma Técnica Colombiana. (1998). *NTC 3644-2 Industrias alimentarias, pollo beneficiado*.
- Nugroho, G., Wilujeng Ekawati, A., & Kartikaningsih, H. (2020). Characteristics of tuna viscera (*Thunnus* sp.) hydrolysate protein fermented by *Bacillus licheniformis*. *Research Journal of Life Science*, 7(2), 101-107. <https://doi.org/10.21776/ub.rjls.2020.007.02.4>
- Olías, R., Delgado-Andrade, C., & Clemente, A. (2022). Protocolo Infogest, del conocimiento a la acción: Un método consensuado para la digestión gastrointestinal in vitro.
- Oliveira, A., & Lahnke, S. (2022). Principais aspectos de deterioração da qualidade de pescado e relação com a legislação brasileira: Uma breve revisão. *Ciência e Tecnologia do Pescado: Uma Análise Pluralista - Volume 4*, 4, 62-77. <https://doi.org/10.37885/220308322>
- Ollero, P. (2020). *Fundamentos de las operaciones de separación de transferencia de masa*. Universidad de Sevilla, 339.
- Ormanza, S., & Santos, E. (2024). Efecto del método de hidrólisis y temperatura de deshidratación en la calidad bromatológica, fisicoquímica y rendimiento de colágeno de patas de pollo. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López*.

- Ortiz, M. A. (2021). Revisión literaria: Alternativas alimenticias para la suplementación de *Oreochromis* sp. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Osuna, G., Lizárraga, C., Escobedo, A., & Hernández, C. (2024). Efecto de la inclusión dietética de hidrolizado de camarón sobre el crecimiento y eficiencia alimenticia del robalo blanco. *Revista Ipsumtec*, 7(1), 10-16.
<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i1.283>
- Ozyurt, C. E., Boga, E. K., Ozkutuk, A. S., Ucar, Y., Durmus, M., & Ozyurt, G. (2020). Bioconversion of discard fish (*Equulites klunzingeri* and *Carassius gibelio*) fermented with natural lactic acid bacteria; the chemical and microbiological quality of ensilage. *Waste and Biomass Valorization*, 11(4), 1435-1442. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0493-5>
- Parrado, Y. (2012). Historia de la acuicultura en Colombia: Introducción. *Revista AquaTIC*, 37, 60-77.
- Paredes Sisalema, N. V., & Vega Soliz, G. N. (2024). Evaluación de dos fuentes de metionina en diferentes dosis en la dieta de pollos broiler (*Gallus domesticus*) en el cantón Caluma [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia]
- Perea, C., Garcés, Y. J., Morales, Y. J., Jiménez, M. A., Hoyos, J. L., & Vivas, N. J. (2021). Digestibilidad de hidrolizados enzimáticos de vísceras de origen animal en *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 54-67. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1606>

- Perea, C., Garcés, Y., & Hoyos, J. (2011). Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de tilapia roja (*Oreochromis spp.*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 60-68.
- Perea, C., Garcés, Y., Muñoz, L. S., Hoyos, J. L., & Gómez, J. A. (2018). Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis spp.* *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 43.
[https://doi.org/10.18684/bsaa\(16\)43-51](https://doi.org/10.18684/bsaa(16)43-51)
- Perea, C., Hoyos, J. L., Garcés, Y. J., Muñoz, L. S., & Gómez, J. A. (2017). Evaluación de procesos para obtener ensilaje de residuos piscícolas para alimentación animal. *Ciencia en Desarrollo*, 8(2), 39-50.
- Pereira, N. de los Á., Fangio, M., Rodríguez, Y., Garbari, D., & Fernández, A. (2020). Obtención de hidrolizados proteicos a partir de desechos de la industria pesquera. Disponible en línea: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/141587>
- Pham, H. D., Siddik, M. A. B., Fotedar, R., Chaklader, M. R., Foysal, M. J., Nguyen, C. M., & Munilkumar, S. (2020). Substituting fishmeal with lupin (*Lupinus angustifolius*) kernel meal in the diets of cobia (*Rachycentron canadum*): Effects on growth performance, nutrient utilization, haemato-physiological response, and intestinal health. *Animal Feed Science and Technology*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114556>
- Pillaca, R. (2023). Efecto del hidrolizado de subproductos del langostino (*Litopenaeus vannamei*) sobre el estrés de juveniles de tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*). Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Quinto, B. P. T., Albuquerque, J. V., Bezerra, R. S., Peixoto, S., & Soares, R. (2018). Replacement of fishmeal by two types of fish protein hydrolysate in feed for postlarval shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, 24(2), 768-776.
- Ramírez, F., Orjuela, J., & Prieto, C. (2018). Uso de lisozima en tilapia roja (*Oreochromis* sp.) durante la etapa de masculinización.
- Rathore, S. S., Chandravanshi, A., Chandravanshi, P., Srinivasa, K. H., Rakesh, K., Mamun, M. A. A., & Nasren, S. (2018). Optimization of fish hydrolysate preparation and its effect on growth and feed utilization of Magur (*Clarias batrachus*). En *Pharmacology and Life Sciences Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*
- Ramírez-Ramírez, J., Loya-Olguín, J., Ulloa, J., Rosas-Ulloa, P., Gutiérrez-Leyva, R., & Silva-Carrillo, Y. (2020). Aprovechamiento de desechos de pescado y cáscara de piña para producir ensilado biológico. *Abanico Veterinario*, 10(1), 123-134
- Riyadi, P. H., Suprayitno, E., Aulanni'am, A., & Sulistiyati, T. D. (2019). Chemical characteristics and amino acids profile of protein hydrolysates of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) viscera. *Journal of World's Poultry Research*, 9(4), 324-328. <https://doi.org/10.36380/SCIL.2019.WVJ41>
- Rodríguez, P. (2023). Efecto de la proteína hidrolizada de vísceras de trucha en la respuesta productiva y económica de alevinos de *Oreochromis* spp. Universidad del Cauca.
- Rodríguez, R. (2022). Elaboración de harina de pescado. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- Rodríguez, V., & Deza, C. (2024). Efecto de la dieta con harina de vísceras de *Octopus vulgaris*, en reemplazo de la harina de pescado, en el crecimiento y supervivencia de

alevines de *Oreochromis niloticus*. Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ciencias.

Rojas, H. (2021). Evaluación del efecto de la concentración de proteasas en la hidrólisis de proteínas de la maca (*Lepidium meyenii* Walpers) ecotipo amarillo. [Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://uncpedu.sharepoint.com/sites/CANALDESUSTENTACINDEU.P.G>.

Rosado Puccini, R., Landines Parra, M. Á., Rodríguez Avella, D. A., González-Ruiz, Y. de los Á., Pimiento-Ortega, M. G., González-Gamboa, I., & Herrera-Martínez, Y. (2023). Inclusión de harina de cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en alimentación de alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(2), 131-151. <https://doi.org/10.22490/21456453.6154>

Ruiz, T. (2018). Evaluación nutricional de hidrolizado de vísceras de pollo en dietas para tilapia roja (*Oreochromis* spp.). Tesis de maestría, Universidad del Cauca.

Salazar, M. D. R., Hernández, I., Cuello, R., Martínez, I., & Vilarity, J. (2023). Obtención de ensilaje biológico a partir de fermentación láctica de residuos pesqueros [Obtaining biological silage from lactic fermentation of fish waste]. *BISTUA Rev. FCB*, 21(2), 13-17.

Sampedro, L. J. G., Grimaldos, N. A. G., Pereañez, J. A., & Montoya, J. E. Z. (2019). Lipids as competitive inhibitors of subtilisin Carlsberg in the enzymatic hydrolysis of proteins in red tilapia (*Oreochromis* sp.) viscera: Insights from kinetic models and a molecular docking study. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36(2), 647-655.

<https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190362s20180346>

- Sánchez, C., & Puentes, V. (2024). La pesca en pequeña escala de Colombia: Un enfoque de género al desarrollo sostenible. *Ciencia Pesquera*, 32, 15-1. www.gob.mx/inapesca
- Sánchez, N. (2017). Evaluación de la inclusión de fuentes proteicas vegetales a la harina de pescado y su efecto en parámetros de crecimiento y eficiencia nutritiva de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*). *En Diagonal*, 18(20). www.ucundinamarca.edu.co
- Santana, T. M., Dantas, F. de M., Monteiro dos Santos, D. K., Kojima, J. T., Pastrana, Y. M., De Jesus, R. S., & Gonçalves, L. U. (2023). Fish viscera silage: Production, characterization, and digestibility of nutrients and energy for tambaqui juveniles. *Fishes*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/fishes8020111>
- Santos, C. (2023). Diseño de un sistema de separación sólido-líquido del hidrolizado de harina de quinua como etapa intermedia del proceso de obtención de aditivos nutricionales para el municipio de Umala.
- Sarmiento, L., Belmar, R., Rosado, M., & Tamayo, M. (1996). Utilización del ácido fórmico en el tratamiento de los desechos de rastro como alimento para cerdos de engorde. *Computadorizada de Producción Porcina*, 3(2), 13837-13866.
- Sarria, J. A., Barrantes, C. A., & Cantaro, J. L. (2018). Evaluación de niveles de ensilado fijado y seco de vísceras de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en el crecimiento y engorde de cuyes (*Cavia porcellus*). *Anales Científicos*, 79(2), 443. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1252>
- Sary, C., de Paris, L. D., Bernardi, D. M., Lewandowski, V., Signor, A., & Boscolo, W. R. (2017). Hidrolizado proteico seco del residuo de fileteado de tilápias en dietas para larvas de tilapia del Nilo. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 39(1), 1-6. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i1.32805>

- Segurondo, R., & Cortez, V. (2020). Determinación de la rancidez en aceites usados en el proceso de frituras en establecimientos de expendio de comida rápida. *Revista Conciencia*, 8(2), 115-128.
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., & Fotedar, R. (2019). Beneficial effects of tuna hydrolysate in poultry by-product meal diets on growth, immune response, intestinal health and disease resistance to *Vibrio harveyi* in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Fish and Shellfish Immunology*, 89, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.03.042>
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., Fotedar, R., & Partridge, G. J. (2021). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: A review. En *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406-430. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Soares, L., & Santana, L. (2020). Predictive evaluation of in vitro growth of pathogenic bacteria under different conditions of pH, temperature and concentrations of sodium chloride and extracts of tamarind residues. *Research, Society and Development*, 9(7), 1-22.
- Terrones, S., & Reyes, W. (2018). Effect of diets with biological silage of mollusk residues on the growth of shrimp *Cryphiops caementarius* and tilapia *Oreochromis niloticus* in intensive co-culture. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 167-176. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.01>
- Tite, C. (2016). *Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales*. Identificación de las plagas en el cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) durante su desarrollo fenológico en la parroquia Eloy Alfaro (Chan), cantón Latacunga, provincia Cotopaxi. *Investigación*, 19-61.

- Torres, J., & Torres, F. (2024). Análisis de materia seca y compuestos bromatológicos de productos frutihortícolas del occidente de Honduras. *Nexo Revista Científica*, 37(01), 45-62. <https://doi.org/10.5377/nrc.v37i01.18323>
- Valenzuela, R., Martínez, P., & Arévalo, J. (2017). Evaluación preliminar de un sistema de recirculación para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). 32, 2-10.
- Vásquez, P. (2020). Obtención de hidrolizados de proteínas de vísceras de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) con propiedades bioactivas y/o funcionales.
- Vásquez, P., Zapata, J. E., Chamorro, V. C., García Fillería, S. F., & Tironi, V. A. (2022). Antioxidant and angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) viscera hydrolysates subjected to simulated gastrointestinal digestion and intestinal absorption. *LWT*, 154(June 2021). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112834>
- Vázquez, J. A., Pedreira, A., Durán, S., Cabanelas, D., Souto-Montero, P., Martínez, P., Mulet, M., Pérez-Martín, R. I., & Valcarcel, J. (2022). Biorefinery for tuna head wastes: Production of protein hydrolysates, high-quality oils, minerals and bacterial peptones. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131909>
- Vega, S. (2022). Identificación y caracterización de proteasas del músculo de pez león (*Pterois* sp.). Universidad Autónoma de Querétaro.
- Velasco, J., & Gutiérrez, M. (2019). Nutritional aspects of freshwater ornamental fish. *Revista Politécnica*, 15(30), 82-93. <https://www.redalyc.org/journal/6078/607867636008/html/>

- Velázquez, L. A. (2022). Factores asociados a la mortalidad atípica de tilapia (*Oreochromis* spp.) en la presa Netzahualcóyotl (Malpaso), Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Vera, A. (2023). Producción y comercialización de la tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en la provincia de Los Ríos. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Villamil, O., Váquiro, H., & Solanilla, J. F. (2017a). Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 224, 160-171. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.057>
- Villamil, O., Váquiro, H., & Solanilla, J. F. (2017b). Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. En *Food Chemistry* (Vol. 224, pp. 160-171). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.057>
- Wald, M., Schwarz, K., Rehbein, H., Bußmann, B., & Beermann, C. (2016). Detection of antibacterial activity of an enzymatic hydrolysate generated by processing rainbow trout by-products with trout pepsin. *Food Chemistry*, 205, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.002>
- Wei, Y., Wang, J., Zhang, X., Duan, M., Jia, L., Xu, H., Liang, M., & Liu, J. (2021). Fish protein hydrolysate supplementation in plant protein-based diets for tiger puffer (*Takifugu rubripes*) is an effective strategy of fish meal sparing. *Aquaculture Reports*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100720>
- Xu, B., & Chung, H. Y. (2019). Quantitative structure–activity relationship study of bitter di-, tri- and tetrapeptides using integrated descriptors. *Molecules*, 24(15), 2846.

Yathisha, U. G., Vaidya, S., & Sheshappa, M. B. (2022). Functional properties of protein hydrolyzate from ribbon fish (*Lepturacanthus savala*) as prepared by enzymatic hydrolysis. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 187-203.

<https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2027964>

Yeganeh, S., Nosratimovafagh, A., & Javaherdoust, S. (2022). The effect of using hydrolyzed protein prepared from the viscera of rainbow trout on the fish diet and its shelf life at ambient temperature. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 21(3), 798-815.

<https://doi.org/10.22092/ijfs.2022.127244>

Zapata, J. E., Moya, M., & Figueroa, O. A. (2019). Enzymatic hydrolysis of protein of rainbow trout viscera (*Oncorhynchus mykiss*): Effect of type of enzyme, temperature, pH, and stirring speed. *Información Tecnológica*, 30(6), 63-72. [https://doi.org/10.4067/S0718-](https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600063)

[07642019000600063](https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600063)

Apéndices

Apéndice A. Registro De Alimentación

Tesis:							
Registro de alimentación							
Fecha de estudio:			Especie:			# peces iniciales:	
Edad de peces:			Peso promedio inicial:			# peces por repetición:	
Fecha	Hora	Tratamientos					

