

**EVALUACIÓN DE HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO EN
DIETAS EXTRUIDAS PARA CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*
Cuvier 1818).**



**DUVAN ESTIBEN ALBAN MENESES
PABLO ALEJANDRO FUELANTALA ESTACIO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2022**

**EVALUACIÓN DE HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO EN
DIETAS EXTRUIDAS PARA CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*
Cuvier 1818).**

**DUVAN ESTIBEN ALBAN MENESES
PABLO ALEJANDRO FUELANTALA ESTACIO**

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación como requisito parcial
para optar al título de Ingenieros Agropecuarios.**

Directores:

**PhD Crispulo Perea Román
PhD Nelson José Vivas Quila**

Codirector (a):

M. Sc. Marly Andreina Jiménez Chamorro

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2022**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados han leído el presente trabajo, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

PhD Crispulo Perea Román

PhD Nelson José Vivas Quila

Presidente del jurado

Jurado

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Primero a Dios, por darme el regalo de la vida y la fortaleza para cumplir esta meta, a mis padres Luz Mary Meneses Muñoz y Fernando Alban Carvajal, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me dieron todo para llegar hasta este punto, a mi hermana Lina Marcela, a mis sobrinos Santiago y Samuel, por ser mi motivación, fuente de inspiración y por brindarme el apoyo en todo momento, finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis compañeros de carrera, por apoyarme cuando más los necesite, por extender su mano en momentos difíciles y por el afecto brindado cada día.

Duvan Estiben Alban Meneses.

A Dios por haberme brindado la vida, darme fuerza y voluntad para no desistir nunca en el camino que quiero forjar. A mi padre Pablo Hernando Fuelantala y a mi madre Marcela Isabel Estacio por el tiempo aportado durante mi crianza, por los valores inculcados para formar una personalidad y por todo el esfuerzo que han hecho para que hoy pueda estar donde estoy. A mi hermana Nathaly Cristina y a mi prima Yaneth Carolina por su compañía incondicional y apoyo permanente. A mi sobrino Joel Alejandro quien es mi motor para seguir adelante. A mi tía Miryam Estacio y a mi abuela Rosalba Peña quienes me apoyaron desde mi infancia y me enseñaron lo bueno y lo malo de la vida. Al señor Luis Alberto Aza por sus grandes consejos y por compartir su conocimiento conmigo. A mis amigos y compañeros quienes siempre estuvieron presentes con palabras de aliento y expresando su apoyo de la mejor manera.

Pablo Alejandro Fuelantala Estacio.

AGRADECIMIENTOS

Primero dar gracias Dios por la vida y salud, por ser nuestra fortaleza y guía en nuestros momentos de dificultad,

A nuestros padres y familiares por ser el motor y fuente de admiración, que sin su apoyo, sacrificios, consejos y amor no sería posible terminar esta anhelada meta.

A nuestros directores: PhD Crispulo Perea Román y PhD Nelson José Vivas Quila por su acompañamiento, dedicación, por enriquecer nuestra vida con conocimiento y por haber depositado su confianza en nosotros para esta investigación.

A nuestra codirectora y asesora M. Sc. Marly Andreina Jiménez Chamorro, por su paciencia y dedicación para compartirnos su conocimiento y su apoyo constante durante todo el proceso de investigación.

A los grupos de investigación ASUBAGROIN y NUTRIFACA de la facultad de ciencias agrarias, por su disponibilidad, apoyo, fraternidad y por permitirnos hacer uso de sus equipos y materiales de trabajo.

A nuestra alma mater la Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, profesores y administrativos, por el aprendizaje, por ser parte de nuestras vidas durante estos años, por fortalecernos académicamente y hacer de nosotros personas integrales con valores y principios.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto nutricional de un hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HVP) en dietas extruidas para alimentación de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus* Cuvier 1818) fase de levante; para lo cual, se utilizaron 144 juveniles de cachama con un peso promedio de $65,67 \pm 0,48$ g, los cuales se distribuyeron en cuatro tratamientos T0 (dieta de referencia, 0% de inclusión de HVP), T1 (10% de inclusión de HVP), T2 (20% de inclusión de HVP) y T3 (30% de inclusión de HVP) y tres réplicas por cada uno, en un diseño experimental completamente al azar, los peces se alimentaron hasta saciedad aparente por 42 días, durante los cuales se evaluaron los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes: digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), digestibilidad aparente de la proteína cruda (DAPC) y de la energía digestible (ED), parámetros de crecimiento: incremento de peso (IP), incremento de talla (IT) y tasa de crecimiento diario (TCD), parámetros de aprovechamiento nutritivo: índice de conversión alimenticia (ICA), tasa de eficiencia de la proteína (TEP) y tasa de eficiencia de la energía (TEE) e índices económicos: índice de conversión económica (ICE) e índice de rentabilidad económica (IRE). Para la DAMS, DAPC y ED, no se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$), los valores obtenidos fueron superiores al 93,5%, 87,2% y 2.162,17 Kcal/Kg respectivamente. En los parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo, se evidenciaron diferencias significativas ($P < 0,05$) para todas las variables analizadas, obteniendo mejores resultados en el tratamiento con inclusión del 30% de HVP. En cuanto al análisis económico se observó que a medida que se aumentó la inclusión de HVP se redujo el costo por alimentación hasta en un 13,1% y además se obtiene una mayor rentabilidad económica. Concluyendo que el hidrolizado enzimático de vísceras de pollo constituye una alternativa en la alimentación para peces, debido a su contenido nutricional de gran calidad, alta digestibilidad y menor costo.

Palabras clave: Digestibilidad aparente, parámetros productivos, cachama blanca, Hidrolizados, vísceras de pollo, vísceras de trucha, alimentación alternativa, proteína y energía.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the nutritional effect of an enzymatic hydrolysate of chicken viscera (HVP) in extruded diets for feeding white sperm whales (*Piaractus brachipomus* Cuvier 1818) during the rearing phase; For this purpose, 144 juvenile white sperm whales with an average weight of 65.67 ± 0.48 g were used, which were distributed in four treatments T0 (reference diet, 0% HVP inclusion), T1 (10% HVP inclusion), T2 (20% HVP inclusion), T3 (20% HVP inclusion) and T4 (10% HVP inclusion), T2 (20% HVP inclusion) and T3 (30% HVP inclusion) and three replicates for each, in a completely randomized experimental design, the fish were fed to apparent satiety for 42 days, during which the apparent digestibility coefficients of the nutrients were evaluated: apparent digestibility of dry matter (DAMS), apparent digestibility of crude protein (DAPC) and digestible energy (DE), growth parameters: weight gain (WG), length gain (LG) and daily growth rate (DGR), nutritional utilization parameters: feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PET) and energy efficiency ratio (EER) and economic indices: economic conversion ratio (ECR) and economic profitability index (ERI). For DAMS, DAPC and ED, there were no significant differences ($P < 0.05$), the values obtained were higher than 93.5%, 87.2% and 2,162.17 Kcal/kg, respectively. In the parameters of growth and nutritional utilization, significant differences ($P < 0.05$) were observed for all the variables analyzed, obtaining better results in the treatments with the inclusion of 30% HVP. Regarding the economic analysis, it was observed that as the inclusion of HVP increased, the cost per feeding was reduced by up to 13.1% and, in addition, greater economic profitability was obtained. In conclusion, the enzymatic hydrolysate of chicken viscera constitutes an alternative in fish feed, due to its high-quality nutritional content, high digestibility and lower cost.

Key words: Apparent digestibility, productive parameters, white cachama, hydrolysates, chicken viscera, trout viscera, alternative feed, protein and energy.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 ESTADO MUNDIAL Y NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN PISCÍCOLA.	17
1.2 GENERALIDADES DE LA CACHAMA BLANCA (<i>Piaractus brachypomus</i>).	17
1.3 MORFOLOGÍA EXTERNA E INTERNA.	18
1.4 HÁBITO ALIMENTICIO Y ALIMENTACIÓN DE LA CACHAMA BLANCA.	19
1.4.1 Requerimientos nutricionales de cachama blanca en fase de levante.....	20
1.5 PARÁMETROS ÓPTIMOS DE AGUA PARA EL DESARROLLO DE CACHAMA BLANCA.	21
1.6 HIDROLIZADO DE SUBPRODUCTOS DE ANIMALES COMO ALTERNATIVA PARA LA ALIMENTACIÓN DE PECES.	21
1.7 COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD APARENTE.	22
1.7.1 Técnicas de recolección de heces.....	23
1.7.2 Uso de marcadores en dietas experimentales.....	25
1.8 PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y APROVECHAMIENTO NUTRITIVO.	25
1.9 ANTECEDENTES.	25
2. METODOLOGÍA	30
2.1 LOCALIZACIÓN.	30
2.2 MATERIAL BIOLÓGICO.	31
2.2.1 Juveniles de Cachama blanca	31

2.2.2 Visceras de pollo (<i>Gallus gallus domesticus</i>) y trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	32
2.2.3 Hidrolizado de vísceras de pollo (<i>Gallus gallus domesticus</i>).	32
2.3 FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS DIETAS.	33
2.4 DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD <i>IN VIVO</i> DE HIDROLIZADO DE ORIGEN ANIMAL.	36
2.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y APROVECHAMIENTO NUTRITIVO.	38
2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE DIETAS CON INCLUSIÓN DE HIDROLIZADOS DE VÍSCERAS DE POLLO.	38
2.7 PLAN DE MANEJO	39
2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	40
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
3.1 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DEL HIDROLIZADO DE VISCERAS DE POLLO.	42
3.1.1 Digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS).	42
3.1.2 Digestibilidad aparente de la proteína cruda (DAPC).	44
3.1.3 Energía digestible (ED).....	45
3.2 PARÁMETROS DE CRECIMIENTO.	46
3.2.1 Incremento de peso (IP) e incremento de talla (IT).....	47
3.2.2 Tasa de crecimiento diario (TCD).	49
3.3. PARÁMETROS DE APROVECHAMIENTO NUTRITIVO.	50
3.3.1. Índice de conversión alimenticia (ICA).....	51
3.3.2 Tasa de eficiencia de la proteína y la energía	52

3.4	ANÁLISIS ECONÓMICO	54
3.4.1	Precio de la dieta	55
3.4.2	Índice de conversión económico (ICE) e índice de rentabilidad económico (IRE)	57
4	CONCLUSIONES	60
5	RECOMENDACIONES	61
6	BIBLIOGRAFÍA	62

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la Cachama blanca.....	18
Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de la Cachama blanca en la fase de levante.	20
Cuadro 3. Parámetros óptimos de agua para el desarrollo de Cachama blanca. .	21
Cuadro 4. Composición nutricional, química y microbiológica de las dietas evaluadas y del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo – HVP (g/kg MS).....	34
Cuadro 5. Tratamientos y variables de respuesta para la evaluación de la digestibilidad , parámetros de crecimiento, aprovechamiento nutritivo y económicos de los hidrolizados en Cachama blanca.	41
Cuadro 6. Valores medios obtenidos para los parámetros de crecimiento.	46
Cuadro 7. Valores medios obtenidos para los parámetros de aprovechamiento nutritivo.....	50
Cuadro 8. Valores medios obtenidos para el análisis económico.	54

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Morfología externa e interna de la Cachama blanca (<i>Piaractus brachypomus</i>).....	19
Figura 2. Caseta de bioensayos en peces Facultad de Ciencias Agrarias, universidad del Cauca.....	30
Figura 3. Proceso de captura, transporte y recepción de juveniles de cachama blanca.....	31
Figura 4. Preparación del hidrolizado enzimático de vísceras pollo.....	33
Figura 5. Preparación de las dietas.....	36
.Figura 6. Proceso de recolección de heces.....	37
Figura 7. Plan de manejo.....	40
Figura 8. Valores medios obtenidos para la digestibilidad aparente de materia seca del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.....	42
Figura 9. Valores medios obtenidos para la digestibilidad aparente de la proteína cruda del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.....	44
Figura 10. Valores medios obtenidos para la energía digestible del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.....	45
Figura 11. Valores medios obtenidos para el incremento de peso en Cachama blanca al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.....	47
Figura 12. Valores medios obtenidos para el incremento de talla en Cachama blanca al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.....	47

Figura 13. Valores medios obtenidos para la tasa de crecimiento diario en Cachama blanca al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.....	49
Figura 14. Valores medios obtenidos para el índice de conversión alimenticia al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.	51
Figura 15. Valores medios obtenidos para la tasa de eficiencia de la proteína al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.	52
Figura 16. Valores medios obtenidos para la tasa de eficiencia de la energía al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.	53
Figura 17. Valores medios calculados para el precio de la dieta.....	55
Figura 18. Valores medios calculados para el índice de conversión económica al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.	57
Figura 19. Valores medios calculados para el índice de rentabilidad económica al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.	57

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Registro de biometría.....	73
Anexo B. Registro de temperatura.	74
Anexo C. Registro de alimentación.	75
Anexo D. Registro de recolección de heces.....	76
Anexo E. Protocolo para la medición de oxígeno disuelto (OD); (Test: 0 – 82).....	77
Anexo F. Protocolo para la medición de demanda química de oxígeno (DQO), Met: 26 (Test:0-26).....	78
Anexo G. Protocolo para la medición de alcalinidad de carbonatos (CaCO ₃), Met: 151 (Test: 0-15).....	79
Anexo H. Protocolo para la medición de pH, Met: 72 (Test: 72).....	80
Anexo I. Protocolo para la medición de demanda biológica de oxígeno (DBO ₅), Met: 822.	81

INTRODUCCIÓN

En el mundo, la acuicultura y piscicultura son de importancia en la alimentación humana, debido al aporte de proteínas, ácidos grasos, minerales y vitaminas; además, este sector forma parte de la tradición cultural y económica de algunas regiones del mundo, generando alrededor de 19,3 millones de empleos directos y 6,5 millones empleos indirectos (FAO, 2018). En Colombia, la producción piscícola ha tenido un rápido crecimiento en los últimos años lo cual conlleva a presentar un mayor enfoque en este sector de la economía, ya que aporta a la seguridad alimentaria del país y constituye una fuente de ingresos y empleo de la población, generando el 0,19% del PIB nacional lo que representa el 2,88% del PIB agropecuario (MADR, 2020).

Sin embargo, en la producción piscícola, se presentan algunas limitantes entre las que se destaca la baja disponibilidad de materias primas proteicas y energéticas de origen animal como la harina y aceite de pescado, las cuales son mayormente utilizadas en la elaboración de alimento para peces, por ende, su precio es elevado, lo que ha llevado a un aumento de los costos por alimentación, representando entre un 60 y 70% del total de costos operacionales, lo que ha generado una disminución en la rentabilidad de las piscifactorías, por lo que se deben buscar materias primas alternativas de origen animal de menor costo y alta calidad que puedan reemplazar parcial o totalmente la harina de pescado en el balance de dietas para peces (Perea *et al.*, 2018).

En el país se presenta una alta producción de pollos de engorde, llegando en el 2019 a las 1.693.178 t, de las cuales 43.185 t se producen en el departamento del Cauca, donde se generan 4.318 t de vísceras blancas/año (FENAVI, 2020), además, en la Asociación productora y comercializadora de productos acuícolas y agrícolas de Silvia, Cauca, APROPESCA, se tiene una producción de 193,6 t/año de vísceras de trucha (Perea *et al.*, 2021), lo cual ha generado una problemática ambiental por la inadecuada disposición final de estos residuos del faenamiento, los cuales son vertidos en cauces y lugares cercanos a las zonas de residencia; una posible solución a lo anterior es la utilización eficiente de estos subproductos mediante técnicas de bioconversión como los hidrolizados enzimáticos que pueden ser utilizados en la elaboración de piensos para peces, adicionalmente contribuyen

a la disminución en el costo de alimentación y reducir el impacto ambiental negativo (Garces *et al.*, 2015; Nasri, 2017)

De acuerdo a lo planteado anteriormente, se realizó una investigación que tiene como objetivo evaluar el efecto nutricional de un hidrolizado enzimático de vísceras de pollo a partir de su inclusión en dietas extruidas para alimentación de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus* Cuvier 1818) fase de levante, mediante la determinación de la digestibilidad aparente de nutrientes (materia seca, proteína cruda y energía) y la evaluación de parámetros de crecimiento, aprovechamiento nutritivo e índices económicos, para destacar su aporte nutricional como alternativa en la alimentación piscícola.

Esta investigación hace parte de las actividades del proyecto “Aprovechamiento de vísceras de pollo mediante hidrólisis enzimática como alternativa nutricional en piscicultura de aguas cálidas” financiado por Colciencias y ejecutado por la Universidad del Cauca.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ESTADO MUNDIAL Y NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN PISCÍCOLA.

El pescado y los productos pesqueros son algunos de los alimentos más comercializados en el mundo actualmente. Para el 2016, provinieron de la acuicultura continental 51,4 millones de toneladas de peces comestibles, lo cual representa el 64,2% de la producción mundial de peces comestibles producidos, frente al 57,9% alcanzado en el 2000. La cría de peces de aleta sigue predominando en la acuicultura continental y representa el 92,5% con 47,5 millones de toneladas del total de la producción procedente de este tipo de acuicultura (FAO, 2020).

En Colombia la producción piscícola ha tenido un rápido crecimiento en los últimos años, ya que se presenta como parte de la seguridad alimentaria del país además de ser una buena fuente de ingresos y generador de empleo aportando un 0,19% al PIB nacional, lo que hace que esta actividad sea de interés público en términos sociales, culturales en donde intervienen actores de diversas magnitudes y características socioeconómicas, desde la subsistencia hasta lo industrial, con un mercado evidente y potencial de significativas proporciones (MADR, 2020). Para el año 2019 la producción piscícola nacional alcanzó las 171.026 t, representada por tres especies, tilapia 58%, trucha 16%, cachama 19% y 7% de otras especies, de las cuales la cachama es la especie nativa de mayor producción con 32.494,9 t para el año 2019; las principales zonas de producción de estas especies son los departamentos de Antioquia (4%) , Cundinamarca y Boyacá (6%), Tolima (10%), Meta (11%), Huila (37%) y Córdoba (3%), el departamento del Cauca tuvo una participación del 2% ocupando el décimo lugar en la producción piscícola a nivel nacional (MADR, 2020).

1.2 GENERALIDADES DE LA CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*).

La Cachama blanca, presenta una serie de ventajas para su uso en acuicultura entre ellas la poca exigencia en tecnologías, lo que facilita su producción ya que su manejo es rústico y simple; resistencia a bajas concentraciones de oxígeno, poca susceptibilidad a contraer enfermedades, resistencia a los parásitos, producción

constante de alevinos, fácil alimentación, buen crecimiento y aceptación en el mercado. La Cachama blanca es apetecida por el consumidor nacional, por su coloración, su tamaño y su carne tiene buena aceptación (Landines *et al.*, 2011)

A continuación, en el Cuadro 1, se muestra la clasificación taxonómica de la Cachama blanca.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la Cachama blanca

Clase	Actinopterygii
Orden	Characiforme
Familia	Characidae
Género	Pyaractus
Especie	<i>Piaractus brachypomus</i>
Nombre común	Cachama blanca

Fuente: Cuvier, 1818

La cachama es una especie nativa de la cuenca de los ríos Amazonas (Brasil, Colombia y Perú) y Orinoco (Venezuela y Colombia), desde aquí se ha introducido a otros países del continente como Bolivia, Perú, Brasil, Venezuela, Colombia y Ecuador. Y a otros continentes entre los que se resalta Asia y Europa; habita en ciénagas y ríos, preferentemente en afluentes, dependiendo de la disponibilidad de alimento (FAO, 2010).

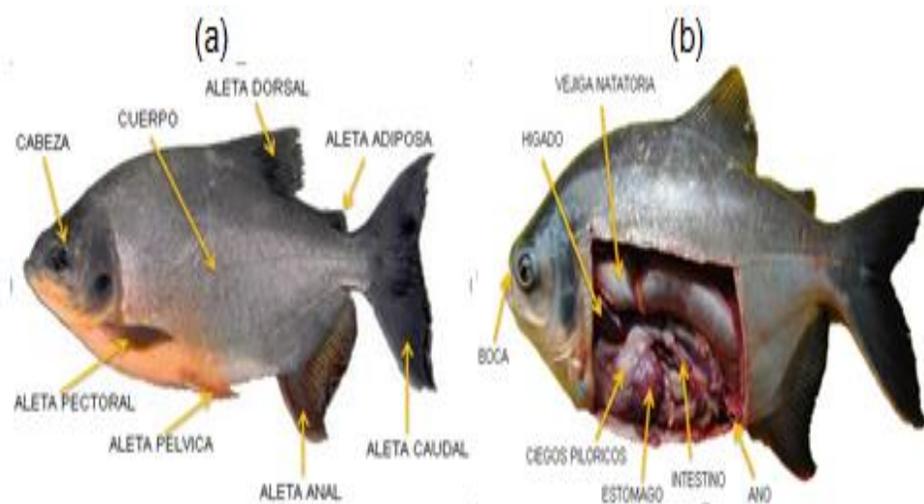
1.3 MORFOLOGÍA EXTERNA E INTERNA.

La Cachama blanca posee gran cantidad de escamas pequeñas, color gris claro en la parte dorsal y blanco en la ventral, con ligeras coloraciones rojizas en la parte antero-ventral y las aletas pectorales, pélvicas y anales. Cuerpo pequeño y cabeza profunda con relación a este puede medir 85 cm y pesar hasta 20 kg (Rodríguez *et al.*, 2001). Ver figura 1(a).

Al igual que los demás peces, el sistema digestivo está compuesto por una cavidad bucal y un tubo digestivo el cual se encuentra cubierto por una pared muscular

(Vásquez, 2004); histológicamente el tubo digestivo de los peces es menos complejo que el de otros organismos superiores, constando este de cuatro capas (mucosa, submucosa, muscular y serosa) (Mendoza *et al.*, 2013). La mayor función del tracto digestivo es digerir y absorber el alimento consumido de manera que el animal pueda utilizar los mismos para saciar sus requerimientos nutricionales (Vásquez *et al.*, 2002). A lo largo del tracto digestivo se pueden encontrar unas estructuras llamadas vellosidades intestinales, las cuales son las encargadas de la absorción de los nutrientes que se encuentran disponibles en el intestino; entre mayor sea su número y tamaño, mayor será la superficie que estas tendrán disponible para absorber los nutrientes que provienen del alimento (Franco & Beltrán, 2012). Ver figura 1 (b).

Figura 1. Morfología externa e interna de la Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*).



Fuente: Landines *et al.*, 2011

1.4 HÁBITO ALIMENTICIO Y ALIMENTACIÓN DE LA CACHAMA BLANCA.

Las investigaciones de esta especie, sobre el conocimiento de su biología dejan ver que tiene características distintivas en la cavidad oral que permite la ingestión de una gran variedad de alimentos, comenzando desde organismos planctónicos hasta muchos tipos de hojas, frutos y semillas; lo cual la identifica como omnívora con tendencia frugívora, abriendo un abanico enorme de materias primas que pueden

ser utilizadas en su dieta, sin tener que recurrir a la harina de pescado (Cruz *et al.*, 2011). Cuando el nivel de agua decrece, se observa un adelgazamiento que se prolonga hasta la mitad de la crecida siguiente, dándose una etapa de largo ayuno, siendo total para los adultos y parcial para los juveniles (Loubens & Panfili, 1997).

Los distintos hábitats en los que se puede encontrar la Cachama blanca ofrecen una gran variedad de fuentes alimenticias, las cuales van desde plantas acuáticas hasta frutos y semillas de los árboles (Vásquez, 2004), lo que ha desencadenado a lo largo del tiempo, sus hábitos omnívoros con tendencia frugívora (Lucas, 2008).

La Cachama blanca es un pez de alimentación omnívora, principalmente planctófaga en sus primeros estadios de vida y frugívora en sus estadios posteriores. Se adapta muy bien al consumo de alimento concentrado o balanceado comercial. Es muy conveniente alimentar con alimento específico para peces, aunque en época de emergencia puede alimentarse con otros alimentos como concentrados comerciales para cerdos, pollos, etc., procurando que estos alimentos tengan al menos un 20% de proteína (Gómez, 2002).

1.4.1 Requerimientos nutricionales de cachama blanca en fase de levante.

A continuación, en el cuadro 2, se citan los requerimientos nutricionales de la Cachama blanca en la fase de levante:

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de la Cachama blanca en la fase de levante.

Nutriente	Requerimiento
Proteína cruda	28 - 30%
Lípidos	10 - 15%
Carbohidratos	20 - 40%
Energía digestible	2500 - 3200 Kcal/kg
Fibra cruda	4 - 8%
Fósforo	1 - 1,5%
Calcio	1 - 2%
Magnesio	0,5 g/Kg de peso vivo
Hierro	0,15 g/Kg de peso vivo
Zinc	0,02 - 0,3 g/Kg de peso vivo

Nutriente	Requerimiento
Yodo	0,001 g/Kg de peso vivo
Lisina	1,0 - 1,5 %
Metionina	1,0 – 1,5%

Fuente: Botero, 2012

1.5 PARÁMETROS ÓPTIMOS DE AGUA PARA EL DESARROLLO DE CACHAMA BLANCA.

La Cachama Blanca es una especie omnívora, resistente a bajas concentraciones de oxígeno, prolifera en aguas con temperaturas entre 24 y 29°C, presenta crecimiento rápido, poco susceptible a enfermedades.

A continuación, en el cuadro 3 se muestran los principales parámetros óptimos para el crecimiento y desarrollo de la Cachama blanca.

Cuadro 3. Parámetros óptimos de agua para el desarrollo de Cachama blanca.

Parámetro	Rango óptimo
Temperatura	24 a 29°C
pH	6,5 a 8,5
Oxígeno disuelto	>5 ppm
Demanda química de oxígeno	4 a 6 mg/l
Demanda biológica de oxígeno	4 a 6 mg/l
Dureza	20 mg/l
Alcalinidad	20 a 60 mg/l
Nitritos	0,1 mg/l
Amonio	< 1 mg/l
Salinidad	8 a 10 ppm

Fuente: Rodríguez *et al.*, 2001.

1.6 HIDROLIZADO DE SUBPRODUCTOS DE ANIMALES COMO ALTERNATIVA PARA LA ALIMENTACIÓN DE PECES.

Los hidrolizados o ensilajes de residuos de origen animal son productos de la bioconversión de enzimas proteolíticas de las cuales las proteínas son convertidas

en péptidos más pequeños. En los últimos años, la proteína de residuos de origen animal hidrolizada ha atraído mucho la atención de los biotecnólogos de alimentos debido a la disponibilidad de grandes cantidades de la materia prima para el proceso, y la presencia de alto contenido de proteína con buen equilibrio aminoácidos y péptidos bioactivos (antioxidante, antihipertensivo, inmunomodulador y péptidos antimicrobianos); además, valores altos de ácidos grasos poliinsaturados (Chalamaiah *et al.*, 2012; Nasri, 2017).

El hidrolizado de vísceras es una alternativa para el aprovechamiento de subproductos del faenamiento animal, el cual se puede realizar por medio de acidificación directa de los residuos piscícolas con ácidos orgánicos, inorgánicos o mezcla de ambos, generando un producto con características deseables y de alto valor nutricional para la alimentación animal (Vidotti *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2014). Esta técnica de bioconversión permite un descenso rápido en el pH del sustrato a fermentar (vísceras de pollos, peces, etc.), creando un medio adecuado para la acción de enzimas endógenas presentes en los subproductos de los animales, las cuales hidrolizan la proteína y separan la grasa. Al bajar el pH, también se inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos, evitando así su descomposición, permitiendo mantener los procesos microbiológicos y enzimáticos favorables que ayudan a preservar la buena calidad del hidrolizado (Ramírez, 2009; He *et al.*, 2013; Ahmed & Chun, 2018).

Las tecnologías utilizadas para la elaboración de hidrolizados de vísceras, es reconocida como una solución útil al manejo de los subproductos generados en el faenamiento de animales, que posteriormente se pueden incluir en dietas para la alimentación piscícola (Rai *et al.*, 2010; Bruno *et al.*, 2019). Los métodos utilizados son sencillos, económicos, requieren poca infraestructura, no generan contaminación, utilizan poca mano de obra y puede producirse a diferente escala en comparación con la producción de harina de pescado. Es altamente estable y puede ser almacenado a temperatura ambiente por periodos prolongados de tiempo, sin que su valor nutricional y su calidad higiénica se afecten adversamente (Kjos *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2014).

1.7 COEFICIENTE DE DIGESTIBILIDAD APARENTE.

La digestibilidad es uno de los parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos insumos destinados a alimentación animal, debido a que no es suficiente que la proteína u otro elemento se encuentre en altos porcentajes en el alimento (o en materias primas) sino que debe ser digestible (disponible) para que pueda ser asimilado y, de esta manera, aprovechado por el organismo que lo recibe (López *et al.*, 2015). La digestibilidad, por lo tanto, constituye una excelente medida de calidad y ello ha generado la idea de medirla de diferentes formas: *in vitro* al someter las proteínas a una digestión artificial por pepsina y pancreatina que es una enzima que se encuentra en el estómago e intestino de los animales superiores o *in vivo* al realizarla directamente en los animales.

La digestibilidad *in vitro* de los alimentos o dietas se puede estudiar mediante procesos en laboratorio donde se simula el proceso digestivo, sin embargo, es un método poco preciso, comparado a la digestibilidad *in vivo*, teniendo en cuenta que los cambios que se hagan en las condiciones de incubación pueden alterar las relaciones entre estos dos métodos, principalmente para alimentos con composiciones desbalanceadas. La medición *in vivo* consistente en la recolección cuantitativa de las heces de los animales que corresponden a uno o muchos alimentos, una de sus ventajas es que se puede usar tanto en dietas vivas como en alimentos balanceados, cuantificando los nutrientes aportados por la dieta y excretados en las heces, y por diferencia obtener el porcentaje de nutrientes asimilado por el organismo (Terrazas *et al.*, 2010).

Teniendo en cuenta la dificultad para cuantificar las pérdidas por orina, gases y el nitrógeno endógeno, a través de esta técnica se determina la digestibilidad aparente, la cual consiste en la diferencia entre la cantidad ingerida de nutriente y la cantidad del mismo que aparece en las heces. Siguiendo este procedimiento, se puede medir la digestibilidad en el animal por medio de marcadores como el óxido crómico (Cr_2O_3) el cual se adiciona al alimento y al momento de recoger las heces se debe tener en cuenta su presencia (Valencia *et al.*, 2010).

1.7.1 Técnicas de recolección de heces. Para la determinación de coeficientes de digestibilidad aparente de una dieta o una materia prima, es común utilizar la recolección de las heces del animal, pues es un procedimiento económico y que no representa mayor esfuerzo. En animales terrestres es fácil realizar este procedimiento, pero en peces se dificulta por la existencia del medio acuático, sin

embargo, se han desarrollado algunas técnicas eficientes con las cuales se ha podido cuantificar.

Tunison (1942) fue pionero al adaptar un método directo que consistía en filtrar las heces del agua; este método necesitaba de muchos análisis y cálculos, además de generar muchos errores al contaminarse las muestras de heces con compuestos nitrogenados excretados a través de las branquias y la orina. A partir de este método, se han venido desarrollando múltiples técnicas para la recolección de heces de los peces, buscando determinar la digestibilidad aparente de la manera más precisa posible. Los métodos más usados se presentan a continuación.

Masaje abdominal o Stripping. Consiste en practicarle al animal un masaje firme en su abdomen en sentido craneal – caudal, para extraer muestras de heces (Rawles *et al.*, 2009).

Austreng (1978) evaluó la eficiencia de 2 métodos de stripping para la extracción de heces vs heces obtenidas directamente por disección de los segmentos anterior y posterior del intestino. El método I de stripping consistía en practicarle el masaje al animal en sentido craneal – caudal desde las aletas pectorales hasta el ano, tal y como se hace para la extracción de ovas. El método II de stripping consistía en practicarle el masaje desde las aletas ventrales hasta el ano. Con este último se encontraron altos coeficientes de digestibilidad, al igual que con el método de disección. Sin embargo, en ambos casos se puede presentar contaminación de la muestra, mostrándose en un aumento en los niveles de nitrógeno, a causa de la presencia de los jugos digestivos o de orina, no obstante, el error que pudiese generar puede ser ignorado. Forster y Goldstein (1969), establecieron que solo una pequeña fracción del nitrógeno total es excretado en la orina, y Smith, (1971), encontró que cerca del 80% del nitrógeno no fecal era excretado como amonio a través de las branquias.

Sifoneo. Es el método más usado. El cual consiste en extraer del fondo del tanque o acuario las heces que se encuentran reposadas por medio de una manguera (Adeparusi & Komolafe, 2006).

Método de Guelph. Consiste en acuarios diseñados con un vértice bajo en el fondo del acuario, permitiendo la colecta de las heces (Adamidou *et al.*, 2009).

1.7.2 Uso de marcadores en dietas experimentales. Para determinar de manera indirecta la digestibilidad aparente de una materia prima, se utiliza un marcador inocuo, cumpliendo con tres (3) requisitos muy importantes: Debe ser totalmente indigerible y con una tasa de evacuación igual a la del contenido estomacal; debe analizarse en laboratorio fácilmente; y no debe afectar la palatabilidad de la dieta ni causarle algún daño al animal. Los indicadores más usados son: Itrio (Davies & Gouveia, 2006) y óxido de cromo (Oliveira *et al.*, 2008). Edin, (1918), fue un pionero en el uso de marcadores inertes, proponiendo el uso del óxido de cromo. Furukawa y Tsukahara, (1966) mejoraron la técnica de determinación de este marcador, por lo que muchos investigadores desde entonces, utilizan su metodología cuando aplican óxido de cromo en sus estudios de digestibilidad.

1.8 PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y APROVECHAMIENTO NUTRITIVO.

El crecimiento de los peces está determinado fundamentalmente por la cantidad de alimento ingerido (energía y nutrientes) y por la temperatura del agua. Los peces, como animales poiquilothermos 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. Para la determinación de estos parámetros se implementará la metodología adoptada por Perea, (2016), la cual se describe más adelante.

1.9 ANTECEDENTES.

A continuación, se presentan algunos estudios realizados a nivel nacional e internacional sobre el uso de hidrolizados a partir de residuos de origen animal como alternativa en la alimentación de peces.

En Irán, evaluaron los efectos del hidrolizado de proteína visceral (VPH) de la trucha arco iris sobre el rendimiento de los juveniles de *Oncorhynchus mykiss*. La propiedad antioxidante de VPH fue del $85\% \pm 1,6\%$. Se prepararon cuatro dietas para incluir VPH, libre como control y tres dietas con 5, 10 y 20 g / kg de inclusiones de VPH. Donde mostraron las cantidades máximas de ganancia de peso y el valor de FCR más bajo en peces alimentados con 10 g / kg de VPH ($p < .05$). Las canales de proteína y los contenidos de grasa más altos se observaron en el tratamiento con 10 g/kg de VPH y la dieta de control, respectivamente ($p < .05$). La mayor digestibilidad de grasa y materia seca se registró en peces alimentados con 5 g / kg de VPH ($p < .05$), mientras que las dietas de control y 10 g / kg de VPH mostraron los niveles más altos de digestibilidad de proteínas ($p < .05$). La inclusión dietética de VPH mejoró la actividad de la enzima SOD ($p < .05$). Concluyendo que una dieta que contenga 10 g/kg de inclusión de VPH puede mejorar el rendimiento del crecimiento y algunos otros factores examinados en juveniles de *O. mykiss*

En Nuevo Chimbote, Perú, se evaluó la digestibilidad aparente de la proteína de la harina de plumas de *Gallus gallus domesticus* en juveniles de paco *Piaractus brachyomus*. La digestibilidad aparente de la proteína de la harina de plumas fue de 86,45%, mientras que el control con harina de pescado ascendió a 92,57%. Se concluyó que la harina de plumas presentó una buena digestibilidad aparente de proteínas en juveniles de cachama, lo que haría posible reemplazar en un alto porcentaje la harina de pescado en sus dietas (Bernal & Flores, 2018).

En Brasil, evaluaron la digestibilidad aparente (materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, energía bruta y disponibilidad de fósforo), de hidrolizados ácidos de vísceras de bagre en juveniles de Tilapia de Nilo, con niveles de inclusión de 0, 4, 8 y 12%; reportan que, para la digestibilidad aparente de proteína bruta y energía bruta, el tratamiento que contenía el 8% de hidrolizado fue mejor ($p < 0,05$) en comparación con los otros. Concluyendo que se puede utilizar hasta un 12% de hidrolizado ácido de vísceras de bagre en dietas para juveniles de tilapia sin que se afecte negativamente la digestibilidad, reduciendo los costos de alimentación (Hisano & Souza, 2014).

En la Habana, Cuba, se llevó a cabo un estudio de digestibilidad aparente de los ensilajes de residuos pesqueros en Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O.*

niloticus). Se obtuvo que la digestibilidad aparente de algunos nutrientes difirió en función del tipo de ensilaje, entre tanto la proteína digestible fue mayor para el ensilaje químico y la materia seca, calcio y fósforo para el ensilaje biológico, digestibilidades iguales ($P > 0,05$) se presentó para los lípidos, cenizas y energía. Donde se concluyó que los ensilajes de residuos pesqueros presentan alto valor nutricional, por lo que constituyen una fuente de proteína alternativa en la formulación de raciones para Tilapia roja (Llanes *et al.*, 2012).

En Popayán, Cauca, se evaluó la digestibilidad aparente de hidrolizados de residuos de origen animal en Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) fase de engorde; donde se presentaron diferencias significativas, para la digestibilidad aparente de nutriente (extracto etéreo, fibra cruda, y proteína cruda), absorción de minerales y para la energía, siendo superiores las encontradas en los hidrolizados de vísceras de pollo y trucha. Lo que permitió confirmar la calidad de los hidrolizados como alternativa proteica y energética en la alimentación de peces. (Perea *et al.*, 2021).

En Popayán, Cauca, se evaluó económicamente la utilización de ensilaje químico de vísceras de trucha en la alimentación de *Oreochromis* spp; para lo cual, se prepararon tres dietas balanceadas con inclusión de ensilaje químico de vísceras de trucha (10%, 20% y 30%) y una dieta control las cuales fueron suministradas a 128 juveniles de Tilapia roja con un peso promedio de $142,14 \pm 4,74$ g; y se evaluaron los índices de conversión y de rentabilidad económica, al igual que análisis de presupuestos parciales. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) para el índice de conversión económico, índice de rentabilidad económica, beneficio neto, incremento del beneficio neto y la tasa de retorno marginal de acuerdo al nivel de inclusión de ensilaje químico de vísceras de trucha. Se evidenció que al incluir 20% de ensilaje en la dieta, se logra mayor retribución económica asociada al costo de la alimentación por kilogramo de carne de pescado producido (Perea *et al.*, 2018).

En Popayán, Cauca, se realizó una evaluación nutricional de ensilajes de residuos de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis* spp); para lo cual, se determinó la digestibilidad del ensilaje. Concluyendo que el ensilaje químico de vísceras de trucha al ser incluido en un 20% en las dietas balanceadas presentó mayor digestibilidad de proteína y energía ($P < 0,05$); para la digestibilidad del extracto etéreo en los diferentes niveles de

inclusión de ensilaje no se presentaron diferencias significativas ($P>0,05$). Por lo que se resalta que el ensilaje químico de vísceras de trucha puede ser considerado como una alternativa de alta calidad nutricional para la alimentación de Tilapia roja, debido al buen contenido de nutrientes y alta digestibilidad (Perea, 2017).

En Popayán - Cauca, evaluaron procesos para la obtención de ensilaje de residuos de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) como alternativa para alimentación animal; para ello se utilizaron ocho tratamientos: cuatro ensilajes químicos (vísceras enteras + ácido fórmico, vísceras enteras + ácido acético, vísceras molidas + ácido fórmico y vísceras molidas + ácido acético); y cuatro biológicos (vísceras enteras + melaza, vísceras enteras + harina de yuca, vísceras molidas + melaza y vísceras molidas + harina de yuca); bajo un diseño completamente al azar. Las variables determinadas fueron pH, acidez titulable, consistencia, perfil microbiológico y la caracterización nutricional mediante análisis de composición química y pruebas de digestibilidad in vitro. Para el pH, los tratamientos con adición de ácido fórmico presentaron valores inferiores (3,26); para la acidez titulable, los tratamientos con inclusión de melaza generaron porcentajes más altos (3,78 y 3,56%), los ensilados preparados con vísceras enteras lograron un grado de licuefacción mayor (9,75 – 20,38 cm/30s), la digestibilidad in vitro de la materia seca de los ensilajes estuvo por encima del 96% y esta fue equivalente a la encontrada en la harina de pescado (Perea *et al.*, 2017).

En Palmira, Valle del Cauca, realizaron un estudio del aprovechamiento nutritivo de núcleos ensilajes de vísceras de pollo en híbridos de cachama (*Piaractus brachypomus* x *Colossoma macropomun*) se concluyó que, se puede utilizar niveles de inclusión de ensilaje de vísceras blancas de pollo del 30% en la dieta para peces, sin afectar negativamente el crecimiento, además la utilización de núcleos de ensilado de vísceras de pollo es una alternativa factible en términos económicos, ya que puede disminuir los costos de fabricación de las dietas por ser una materia prima económica (Botero, 2012).

En el embalse “La Salvajina”, Suarez, Cauca, se evaluó el efecto de la inclusión de ensilaje biológico de vísceras de Tilapia roja durante la etapa de engorde, en la alimentación de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), a través de diferentes niveles inclusión (0, 10, 20 y 30%); obteniendo que la inclusión del 30% de ensilaje biológico de pescado en la alimentación de Cachama blanca presentó un mayor

rendimiento para las variables: ganancia de peso, biomasa, longitud, rata de sobrevivencia, producción neta y conversión alimenticia. Se concluye que, al incluir ensilaje en la alimentación de cachama, disminuyeron los costos de producción hasta el 9% respecto al concentrado comercial (Bravo & Anacona, 2011).

2. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para la evaluación del efecto nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo a partir de su inclusión en dietas extruidas para alimentación de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus* Cuvier 1818) en fase de levante se describe a continuación.

2.1 LOCALIZACIÓN.

El trabajo se llevó a cabo en la caseta de bioensayos de peces del laboratorio de biotecnología 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 19°C y 1800 mm de precipitación anuales. Ver figura 2.

Figura 2. Caseta de bioensayos en peces Facultad de Ciencias Agrarias, universidad del Cauca.



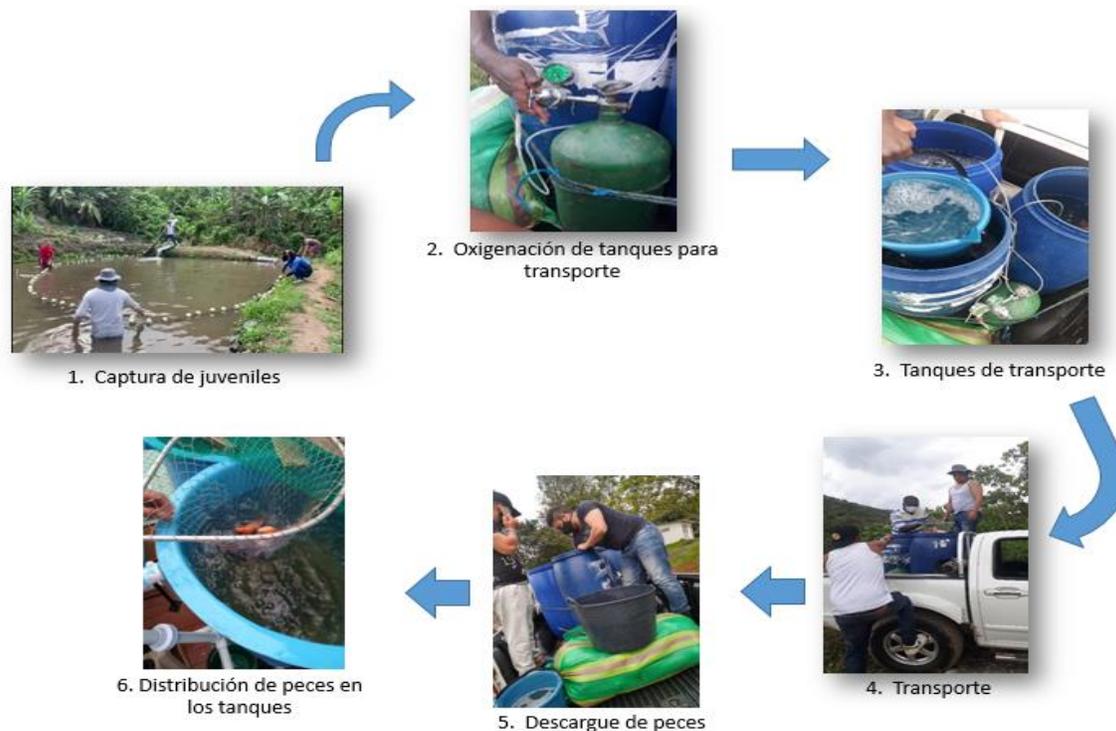
Fuente: Este estudio, 2022

2.2 MATERIAL BIOLÓGICO.

El material biológico necesario para el desarrollo del trabajo de investigación fue el siguiente:

2.2.1 Juveniles de Cachama blanca. En el ensayo se utilizaron 144 juveniles de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus* Cuvier 1818) en fase de levante con peso promedio de $65,67 \pm 0,48$ gramos, trasladados desde la estación de la Asociación de Piscicultores de Mindalá (ASOPIM) ubicada en la vereda Mindalá municipio de Suarez, Cauca, y se transportaron en tres recipientes con capacidad de 200 litros de agua cada uno, para esto se utilizó un cilindro de oxígeno de 2,5 m³. Los cuáles fueron distribuidos en 12 tanques cilindro cónico de 250 litros de volumen útil (12 animales/tanque), en los que se instalaron termostatos para mantener la temperatura en 26°C, simulando la de la estación piscícola de ASOPIM. Ver figura 3

Figura 3. Proceso de captura, transporte y recepción de juveniles de cachama blanca.



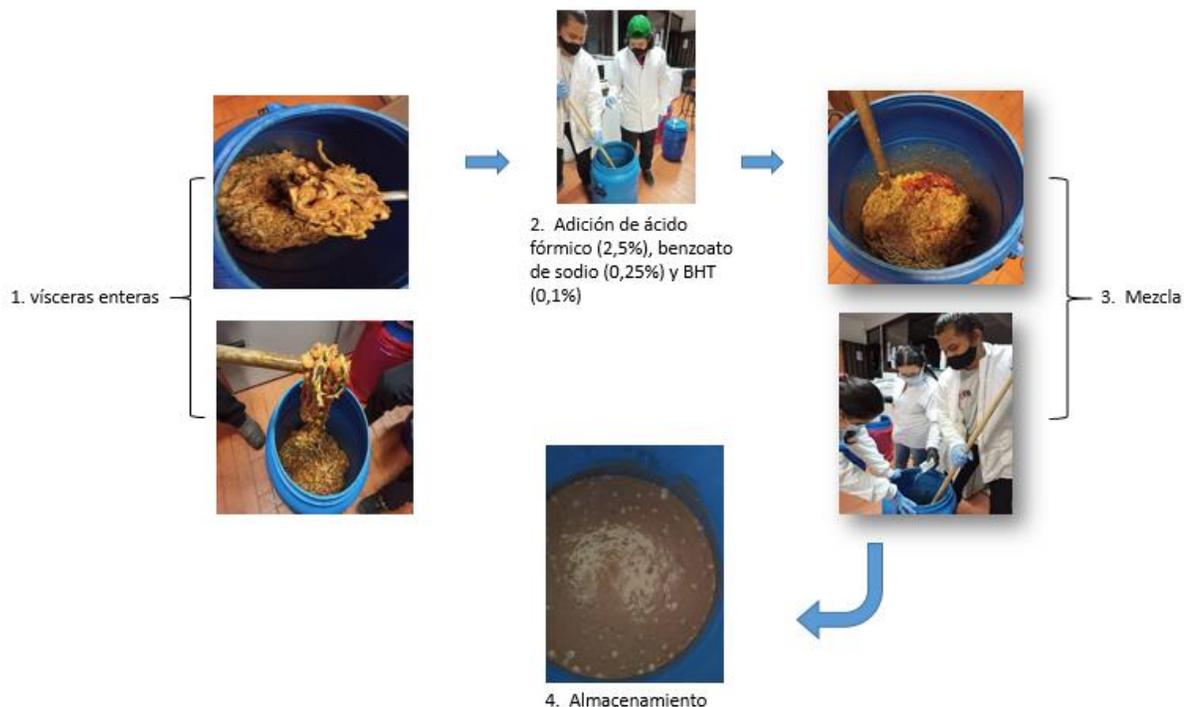
Fuente: Este estudio, 2022

Con respecto al manejo de los animales se tuvo en cuenta los lineamientos nacionales e internacionales en bienestar animal y los procedimientos técnicos y administrativos establecidos para la investigación con animales ajustados a la normatividad establecida por la Ley 84 de 1989 “Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales, donde se crean contravenciones, se regula lo referente a su procedimiento y competencia”.

2.2.2 Vísceras de pollo (*Gallus gallus domesticus*) y trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Para la investigación se aprovecharon vísceras blancas de pollo y vísceras de trucha. Las vísceras de pollo fueron obtenidas en la empresa AGRICCA S.A localizada en el municipio de Cajibío Cauca, y las vísceras de trucha fueron obtenidas en la asociación APROPESCA (Asociación productora y comercializadora de productos acuícolas y agrícolas del municipio de Silvia). Las vísceras fueron utilizadas para la realización del hidrolizado que se describe en el numeral 2.2.3.

2.2.3 Hidrolizado de vísceras de pollo (*Gallus gallus domesticus*). A las vísceras enteras de pollo se le adicionó 20% de vísceras de Trucha arcoíris enteras, lo anterior para acelerar el proceso de hidrólisis, a la matriz (80% de vísceras blancas de pollo + 20% de vísceras de trucha) se le adicionó 2,5% ácido fórmico, 0,25% Benzoato de sodio y 0,1 Butilhidroxitolueno (BHT); posteriormente se mezcló hasta homogenizar para comenzar la hidrólisis (Perea *et al.*, 2017). Los hidrolizados fueron almacenados en recipientes plásticos cerrados en proporciones de 40 kg, con un espacio de cabeza del 30% (Ferraz, Borghesi, & Oetterer, 2007), a temperatura ambiente, durante 7 días, tiempo en el cual finalizó el proceso de hidrólisis y se obtuvo un producto estable microbiológica y nutricionalmente.

Figura 4. Preparación del hidrolizado enzimático de vísceras pollo.



Fuente: Este estudio, 2022

2.3 FORMULACIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS DIETAS.

Para la evaluación de la digestibilidad del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, los parámetros de crecimiento, aprovechamiento nutritivo y económicos, se utilizó una dieta balanceada isoproteica e isoenergetica, sin la inclusión de hidrolizados (dieta de referencia – DR) la cual se cita en el cuadro 4, y tres dietas a las cuales se le adicionó hidrolizados como se describe a continuación.

T0= dieta de referencia (0% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo)

T1= 10% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% vísceras de trucha)

T2= 20% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% de vísceras enteras de trucha).

T3= 30% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% de vísceras enteras de trucha).

Cuadro 4. Composición nutricional, química y microbiológica de las dietas evaluadas y del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo – HVP (g/kg MS).

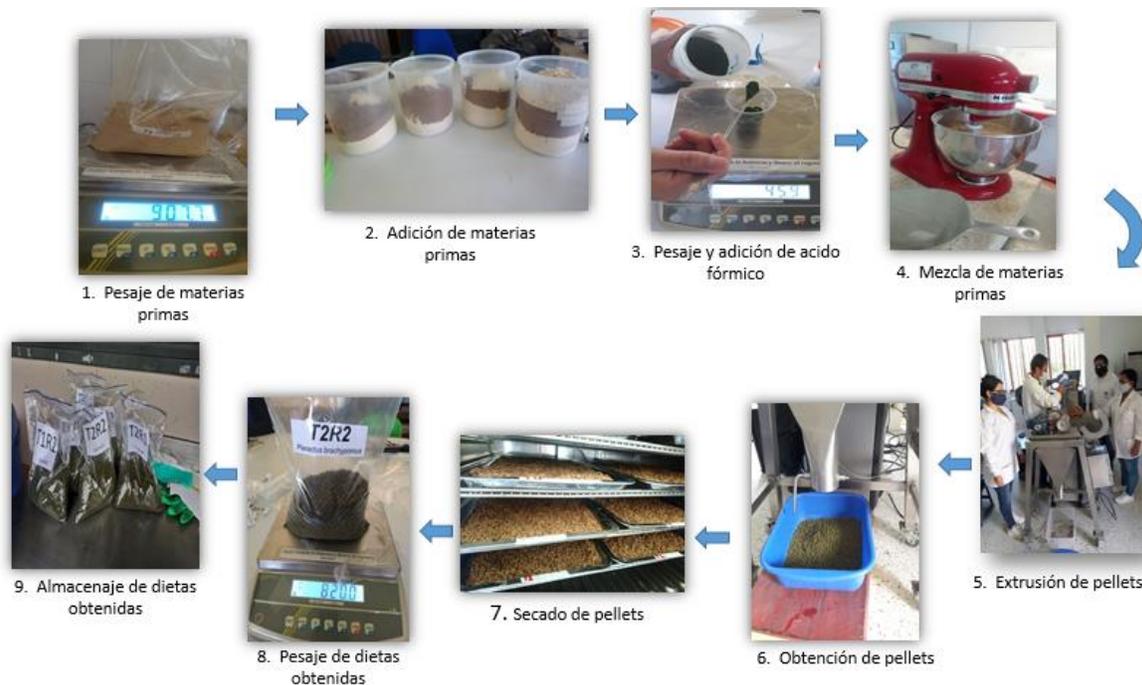
Materia prima	T0 (DR)	T1 (10% HVP)	T2 (20% HVP)	T3 (30% HVP)
	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Cantidad
Harina de pescado	27,00	22,51	18,59	14,33
Harina trigo	3,90	3,00	0,50	1,09
Aceite vegetal	3,00	1,74	0,00	0,00
Fosfato Bicálcico	0,89	0,52	0,83	1,18
DL-metionina	0,69	0,64	0,57	0,52
Premix	2,00	2,00	2,00	2,00
Triptófano	0,28	0,32	0,35	0,38
Salvado de maíz	9,00	3,00	1,00	1,00
Torta de soya	25,00	25,00	25,00	25,00
harina de maíz amarillo	9,00	11,39	15,02	7,54
Mogolla de trigo	12,24	13,88	12,46	13,01
Harina de yuca	4,00	3,01	0,50	0,52
Carbonato de calcio	0,00	0,00	0,18	0,42
Bentonita	1,00	1,00	1,00	1,00
Hidrolizado GH 65,07 %	0,00	10,00	20,00	30,00
Sal	1,00	1,00	1,00	1,00
Cr ₂ O ₃	1,00	1,00	1,00	1,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Composición química de la dieta (% / kg peso seco)				
Proteína cruda (%)	32,89	32,89	32,89	32,89
Extracto etéreo (%)	7,00	8,46	9,79	12,79
Carbohidratos (%)	39,74	39,23	37,89	34,59
Fibra bruta (%)	2,02	2,60	3,11	3,83
Cenizas (%)	12,14	11,01	10,04	9,05
Energía bruta (EB kcal/kg)	3035,05	3035,05	3035,05	3035,05
Calcio (%)	1,79	1,52	1,50	1,50
Fósforo (%)	1,13	1,00	1,00	1,00
Metionina (%)	1,45	1,45	1,45	1,45

Lisina (%)	1,85	2,28	2,78	2,97
Triptófano (%)	0,48	0,48	0,48	0,48
Cr ₂ O ₃	1,00	1,00	1,00	1,00
Composición química y microbiológica del HVP				
Materia seca (MS%)	26,28±0,07			
Fibra cruda (FC%)	7,69±0,54			
Proteína Cruda (PC %)	26,86 ± 0,34			
Extracto etéreo (EE %)	35,15 ± 1,06			
Cenizas %	5,22 ± 0,20			
Energía Bruta (EB kcal/kg)	6938,29 ±0,89			
Grado de hidrólisis (%)	65,07			
pH	3,66 ± 0,02			
Mesófilos aerobios (UFC/g)	0			
Mohos y levaduras (UFC/g)	0			
Mohos y levaduras (UFC/g)	0			

Fuente: Este estudio, 2022

Las demás dietas fueron balanceadas a partir de los resultados del análisis bromatológico del hidrolizado. Las dietas contaron con el mismo nivel de proteína y energía. En la preparación de la dieta todas las materias primas (harina de pescado, torta de soya, harina de maíz amarillo, mogolla de trigo, harina de yuca, harina de trigo, aceite vegetal, premezcla de vitaminas y minerales, entre otras) fueron pasadas por un tamiz de 425 µm, marcada con Cr₂O₃ a razón del 1% del total formulado y se mezclaron en una batidora SIMAG SM-401 durante 40 minutos; para su posterior extrusión a 125°C en un extrusor doble tornillo marca Hake Polylab obteniendo pellets de 5 mm de longitud, 4,5 mm de espesor y se introdujo en horno a 60°C para obtener el alimento con 8% a 10% de humedad (Pantoja *et al.*, 2011), la cual se llevó a cabo en el laboratorio de biotecnología y en el laboratorio de reología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca. Ver figura 5.

Figura 5. Preparación de las dietas.



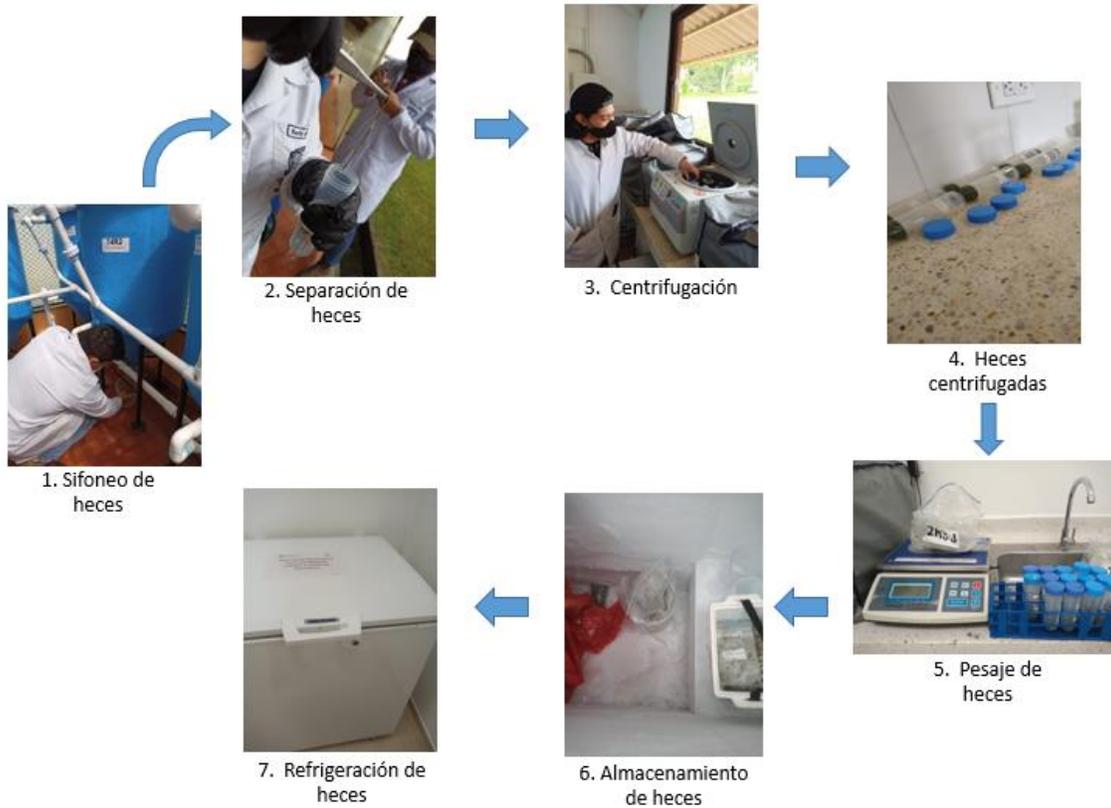
Fuente: Este estudio, 2022

2.4 DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD *IN VIVO* DE HIDROLIZADO DE ORIGEN ANIMAL.

Se evaluó la digestibilidad aparente de la Materia Seca (DAMS), Proteína cruda (DAPC) y la Energía Digestible (ED), para lo cual los peces fueron evaluados durante 42 días y contaron con 15 días de adaptación en los cuales se les suministraron las dietas experimentales. Fueron distribuidos al azar en 12 tanques cilindro cónicos con capacidad de 250 litros de agua de volumen útil (tres tanques por tratamientos) adicionando 12 animales en cada uno, provisto de termostatos para mantener la temperatura en 26°C semejando la temperatura del agua de la estación piscícola de la Asociación de Piscicultores de Mindalá (ASOPIM), a los cuales se les recolectaron las heces una vez al día (7:00 h) por sedimentación a través del retiro de colectores adaptados en la parte inferior cónica de los tanques durante 30 días. Las heces húmedas recolectadas se centrifugaron a 4500 rpm durante 20 minutos, posteriormente fueron depositadas en bolsas plásticas con

cierre hermético y se almacenaron en un congelador a -18°C (Perea *et al.*, 2021). Ver figura 6.

Figura 6. Proceso de recolección de heces.



Fuente: Este estudio, 2022

A las dietas y las muestras de heces se le determinó el contenido de Materia Seca (AOAC 934,01; AOAC, 1990), Proteína Cruda (Kjeldahl, 1883) y Energía Bruta con bomba calorimétrica de chaqueta CAL2k[®] (Carmona *et al.*, 2009). La cuantificación del óxido crómico en las heces y dietas experimentales se realizó por espectrofotometría de absorción atómica (Williams *et al.*, 1962). La digestibilidad se determinó a través de la Ecuación 1, como lo plantea Austreng, (1978).

Digestibilidad aparente de nutrientes

$$(\%)=100-100\left(\frac{\% Cr2O3 \text{ en la dieta}}{\% Cr2O3 \text{ en las heces}} * \frac{\% \text{ Nutrientes en las heces}}{\% \text{ Nutrientes en la dieta}}\right)$$

Ecuación 1.

2.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO Y APROVECHAMIENTO NUTRITIVO.

Para la determinación de parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo se realizó biometría al inicio y al final del ensayo utilizando aceite de clavo (40ppm) como anestesia, para evitar el estrés en los peces, esta investigación tuvo una duración de 42 días, antes del inicio de la evaluación los peces contaron con 15 días de adaptación en los cuales se les suministraron las dietas experimentales; las variables con respecto a parámetros de crecimiento evaluadas fueron: incremento de peso - IP (Ecuación 2), tasa de crecimiento diaria - TCD (Ecuación 3), incremento de talla - IT (Ecuación 4) y para los parámetros de aprovechamiento nutritivo fueron: índice de conversión alimenticia - ICA (Ecuación 5), tasa de eficiencia proteica - TEP (Ecuación 6) y tasa de eficiencia de la energía - TEE (Ecuación 7).

$$IP = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$TCD = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Tiempo (días)}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$IT = \text{Talla final (cm)} - \text{Talla inicial (cm)} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$ICA = \frac{\text{Ingesta total de alimento (g)}}{\text{Incremento de peso (g)}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$TEP = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$TEE = \frac{\text{Incremento de peso (g)}}{\text{Energía consumida (g)}} \quad \text{Ecuación 7}$$

2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE DIETAS CON INCLUSIÓN DE HIDROLIZADOS DE VÍSCERAS DE POLLO.

Teniendo en cuenta los tratamientos citados, se realizaron cálculos económicos para valorar el efecto de la inclusión de hidrolizados de vísceras de pollo en los costos de alimentación. Para ello, se determinó el costo de la alimentación

(Ecuación 8), índice de conversión económico – ICE (Ecuación 9) e índice de rentabilidad económico – IRE (Ecuación 10) (Garcés *et al.*, 2015).

Costo de la dieta $\left(\frac{\$}{\text{kg}}\right) = \text{Costo de materias primas } (\$) * \% \text{ de inclusión en balance}$

Ecuación 8

ICE = Índice de Conversión Alimenticia * Precio de la dieta (\$) Ecuación 9

IRE $\left(\frac{\$}{\text{kg}}\right) = (\text{Peso final (Kg)} * \text{Precio de venta } (\$)) * (\text{ICE} \times \text{IP (Kg)})$ Ecuación 10

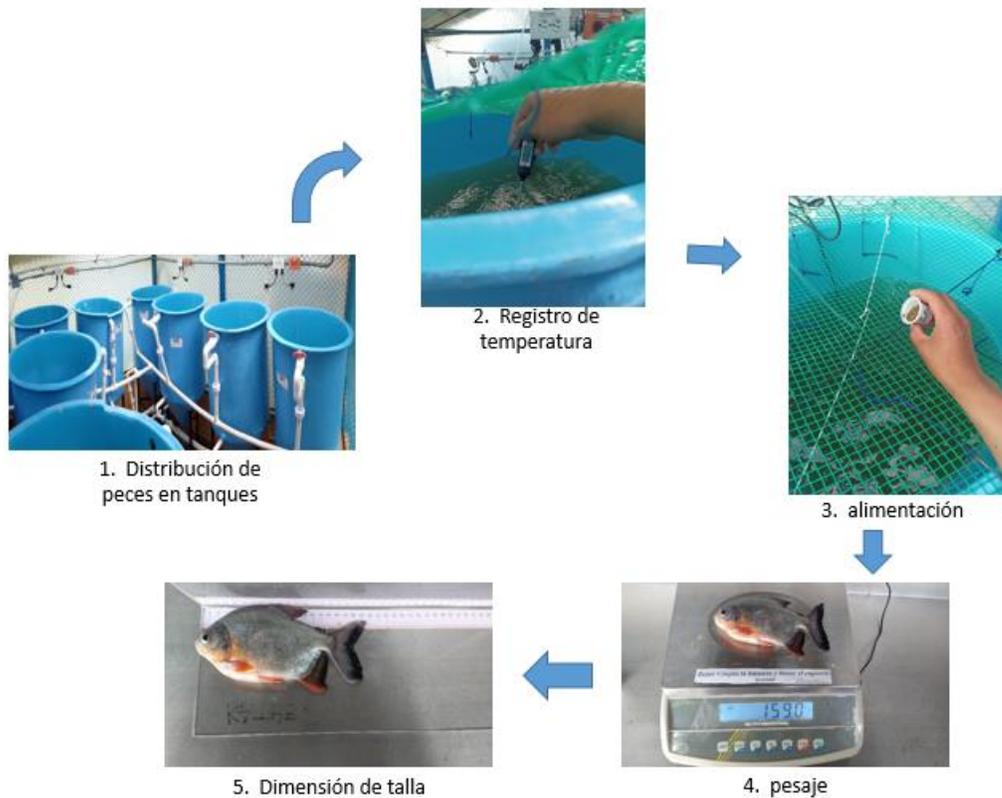
2.7 PLAN DE MANEJO

Antes de la evaluación, los tanques, pisos, paredes y equipos fueron lavados y desinfectados con hipoclorito de sodio a razón de 100 ppm. Para el tratamiento profiláctico se preparó una mezcla de azul de metileno a una concentración de 0,05 g/L de agua, de esta solución se adicionó 100 mL en cada tanque durante cinco días (Perea & Garcés, 2010). Durante la evaluación se llevó registro de biometría (ver anexo A), temperatura (ver anexo B), consumo de alimento (ver anexo C) y recolección de heces (ver anexo D). Las dietas a utilizar se almacenaron en recipientes plásticos con tapa para evitar humedad. Los animales fueron alimentados tres veces al día (8:00h, 12:00h y 16:00h), de acuerdo al peso corporal, teniendo en cuenta la ecuación 11 (Lupatsch, 2012).

Ingesta de alimento g/pez/día = $0,15 * \text{peso del pez}^{0,600}$ Ecuación 11

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 a evaluar fueron oxígeno disuelto, pH, alcalinidad de carbonatos, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, amonio, nitritos y nitratos. También se evaluó la temperatura, para ello se utilizará termómetro digital de punzón. Se realizará un recambio de agua a razón de 80% día (NANOCOLOR, 2009; Perea *et al.*, 2011). Ver figura 7.

Figura 7. Plan de manejo.



Fuente: Este estudio, 2022

En los anexos E, F, G, H e I se citan los protocolos utilizados para la medición de parámetros fisicoquímicos del agua.

2.8 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para la evaluación de la digestibilidad aparente de cada uno de los nutrientes se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) evaluando cuatro tratamientos, tres con inclusión de hidrolizados de residuos animales y una dieta de referencia sin inclusión de hidrolizado; cada tratamiento contó con tres réplicas (tanque cilindro cónico de 250 litros con 12 peces) y cada una se tomó como una unidad experimental, en el cuadro 5, se citan los tratamientos evaluados y las variables de respuesta.

Cuadro 5. Tratamientos y variables de respuesta para la evaluación de la digestibilidad, parámetros de crecimiento, aprovechamiento nutritivo y económicos de los hidrolizados en Cachama blanca.

Tratamiento	Variables de respuesta
T0= dieta de referencia (0% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo)	<i>Digestibilidad aparente de nutrientes:</i> DAMS, DAPC, y ED
T1= 10% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% vísceras de trucha)	<i>Parámetros de crecimiento:</i> IP, TCD e IT
T2= 20% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% de vísceras enteras de trucha).	<i>Parámetros de aprovechamiento nutritivo:</i> ICA, TEP y TTEE
T3= 30% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% de vísceras enteras de trucha).	<i>Análisis económico:</i> Costo de la dieta, ICE e IRE

Cada una de las variables determinadas, fue analizada mediante la aplicación de un análisis de varianza con mediadas repetidas. Se utilizó la prueba de Duncan (Duncan, 1965) para la comparación de la media, un valor de ($\alpha < 0,05$) se tomó como diferencia significativa para destacar cuál o cuáles de los tratamientos presenta un mejor comportamiento, para ello se empleó el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4, el cual está en disposición por los grupos de investigación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

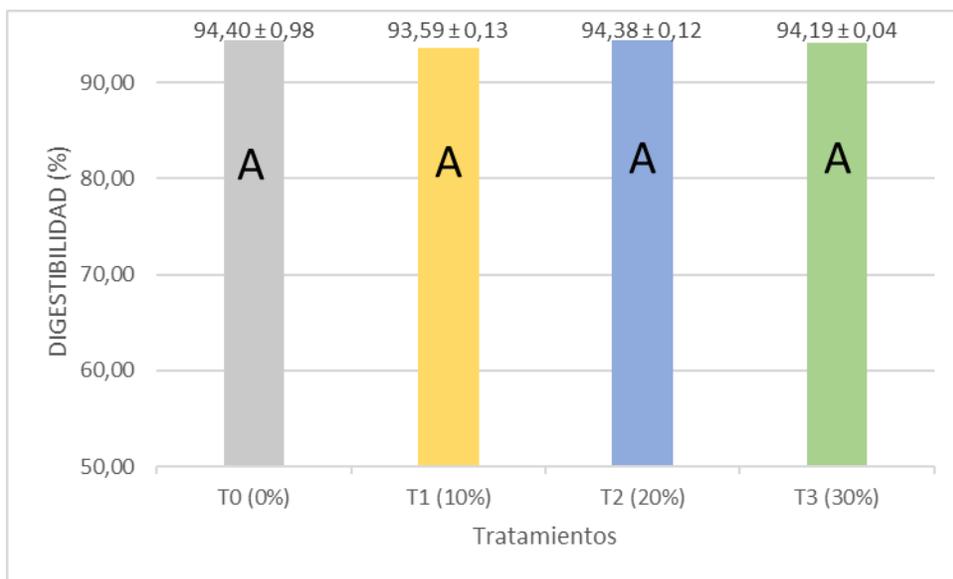
La sobrevivencia fue del 100% durante el periodo de evaluación, las condiciones fisicoquímicas del agua fueron acordes a las necesidades de la especie estudiada; la temperatura promedio del agua registrada fue de $26,4 \pm 0,7$ °C; pH de $6,8 \pm 0,0$; oxígeno disuelto $5,5 \pm 0,0$ mg/L; demanda química 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; la alcalinidad de carbonatos fue de $0,9$ mmol/L $\pm 0,0$; nitritos $0,1 \pm 0,0$ mg/L; nitratos de $0,6$ mg/L y el amonio $0,6 \pm 0,2$ mg/L.

3.1 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE NUTRIENTES Y ENERGÍA DEL HIDROLIZADO DE VISCERAS DE POLLO.

A continuación, se presenta la digestibilidad aparente para cada una de las variables estudiadas.

3.1.1 Digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS). Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que no se presentaron diferencias significativas ($Pr < 0,05$) entre los tratamientos (ver figura 8).

Figura 8. Valores medios obtenidos para la digestibilidad aparente de materia seca del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

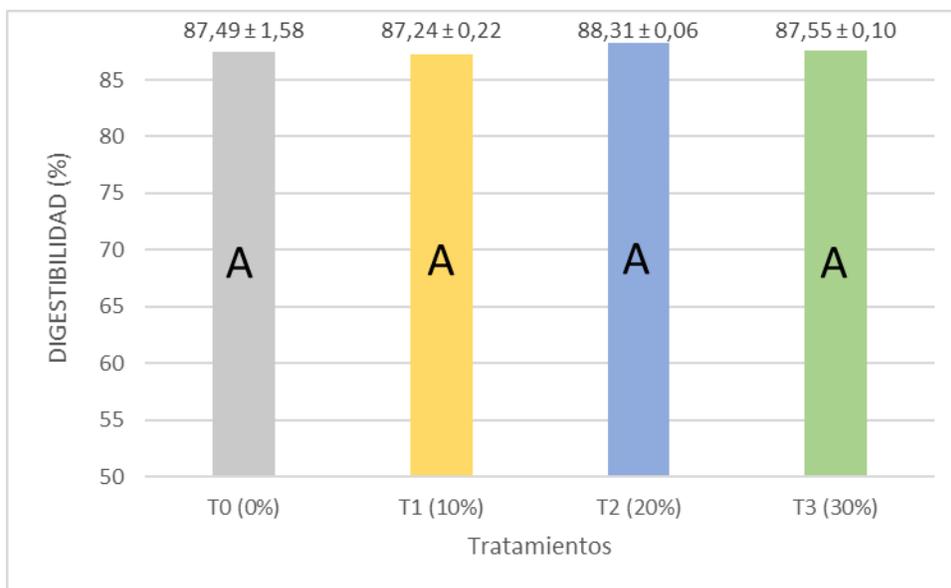
La digestibilidad es considerada como uno de los aspectos más importantes en la evaluación eficiente de los ingredientes y requisito para la formulación de dietas biológica y económicamente óptimas, es uno de los parámetros más utilizados, debido a que no es suficiente que los nutrientes se encuentren en altos porcentajes en el alimento o en las materias primas, sino que debe ser disponible para que así pueda ser asimilado por los animales (López *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos en el presente estudio para la DAMS fueron superiores al 93,5%, donde no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Coincidiendo con (Llanes *et al.*, 2020; Villarreal *et al.*, 2014; Gonçalves y Carneiro, 2003; Henken *et al.* 1985; Furuichi y Yone, 1980) quienes afirman que la digestibilidad puede variar en función del nivel de inclusión del ingrediente en la dieta y generalmente tiende a disminuir en la medida en que aumenta su inclusión en la misma, no obstante, la digestibilidad fue alta y similar en todos los tratamientos esto debido posiblemente a que los hidrolizados de vísceras de origen animal presentan un alto contenido de materia seca digestible lo que se traduce a una cantidad considerable de nutrientes que potencialmente pueden ser aprovechados por el animal (Vásquez *et al.*, 2010).

Los resultados obtenidos en el presente estudio para la DAMS, fueron superiores a los citados en Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) por Perea *et al.*, (2021) quienes evaluaron la inclusión de hidrolizado de vísceras de pollo, hidrolizado de vísceras de cerdo e hidrolizado de vísceras de trucha obteniendo valores de 92,02%, 90,6% y 92,85% respectivamente; a los referenciados en paco (*Piaractus brachypomus*) por Pillaca, (2020) donde evaluó el valor nutritivo de la harina de subproductos avícolas y harina de sangre avícola obteniendo valores de 71,46% y 61,52% respectivamente; y a los citados en Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) por Javaherdoust *et al.*, (2019) quienes evaluaron el efecto del hidrolizado de proteína visceral con inclusiones de 5, 10 y 15 g/Kg, obteniendo valores de 74%, 66% y 68% respectivamente.

3.1.2 Digestibilidad aparente de la proteína cruda (DAPC). Mediante el análisis de varianza (ANOVA) se observó que los valores para la digestibilidad aparente de la proteína cruda no presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (ver figura 9).

Figura 9. Valores medios obtenidos para la digestibilidad aparente de la proteína cruda del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

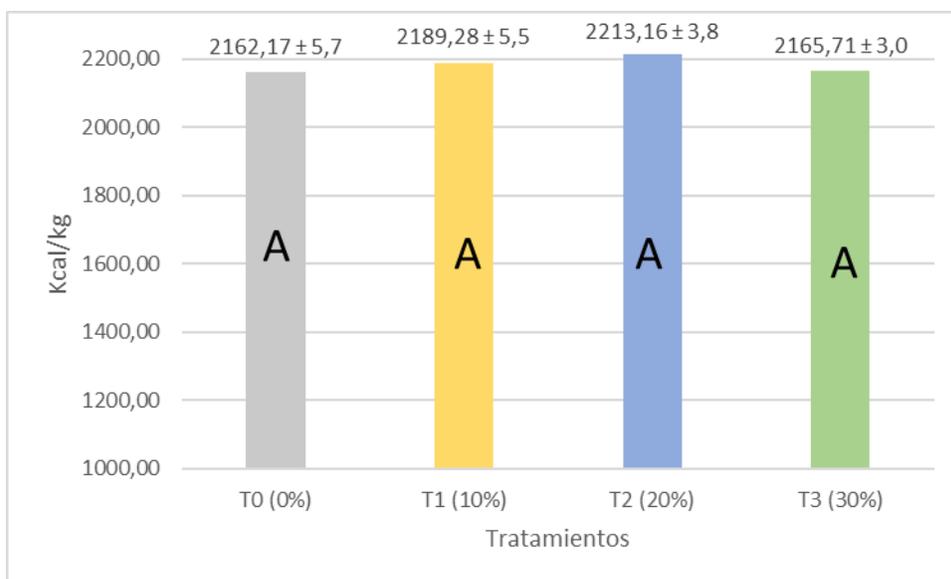
Fuente: Este estudio, 2022

En los tratamientos evaluados para la DAPC, donde se obtuvieron valores mayores al 87,2%, estos son altos, ya que según López *et al.*, (2015) los elevados coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína posiblemente se deben a la calidad nutricional del hidrolizado, teniendo en cuenta que en el proceso existe un efecto de ruptura de las proteínas, generando cadenas polipeptídicas de diferente longitud y aminoácidos libres, los cuales son fácilmente absorbidos en el intestino proximal de la cachama, además, es importante mencionar el hábito de alimentación omnívora que tiene la cachama, ya que esto le permite asimilar de manera óptima la proteína de origen animal (Puerta, 2016).

Los resultados obtenidos de DAPC en esta investigación son superiores a los citados en paco (*Piaractus brachypomus*) por Briones, (2019) al incluir 30% harina de pescado, obteniendo 82,43%; a los reportados en paco (*Piaractus brachypomus*) por Bernal y Flores, (2018) quienes utilizaron harina de plumas y obtuvieron 86,45%; e inferiores a los obtenidos en alevinos de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) por López *et al.*, (2015) quienes utilizaron hidrolizado de vísceras de la misma especie, obteniendo valores entre 90,01% y 91,08%.

3.1.3 Energía digestible (ED). Mediante el análisis de varianza (ANOVA) se observó que los valores para la energía digestible no presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (ver figura 10).

Figura 10. Valores medios obtenidos para la energía digestible del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

En el presente estudio no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para los resultados de la energía digestible los cuales fueron altos, con un rango de aprovechamiento entre el 70,1% al 72,92%, esto se puede presentar por las altas concentraciones de ácidos grasos insaturados (linoleico,

oleico y palmítico) presentes en el hidrolizado (aportados principalmente por las vísceras de trucha), los cuales son más fácil de aprovechar que los saturados (Allan *et al.*, 2000; Perea *et al.*, 2017). Además, en la hidrólisis se generan polipéptidos de diferente longitud de cadena, amino péptidos y aminoácidos libres, lo que implica que desde el punto de vista energético se optimizan los procesos de asimilación, debido a que se gasta menor energía en el fraccionamiento de la proteína y en la producción de enzimas (López *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos para ED en esta investigación son inferiores a los citados en paco (*Piaractus brachypomus*) por Briones, (2019) quien evaluó la inclusión del 30% de harina de pescado teniendo 3.720 Kcal/kg, de igual forma a los reportados en arawana plateada (*Osteoglossum bicirrhossum*) por Paz *et al.*, (2016) quien evaluó la inclusión de hidrolizado de vísceras de cachama 10%, 20% y 30%, obteniendo 3.659 Kcal/Kg, 3.425,4 Kcal/Kg y 3.662,23 Kcal/Kg respectivamente y a los referenciados en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) por Aranibar, (2013) quien incluyó harina de pota (*Dosidicus gigas*) obteniendo 4.172 Kcal/Kg.

3.2 PARÁMETROS DE CRECIMIENTO.

A continuación, en el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos en los parámetros de crecimiento evaluados.

Cuadro 6. Valores medios obtenidos para los parámetros de crecimiento.

Tratamientos/ parámetros de crecimiento	Peso inicial (g)	Peso final (g)	IP (g)	IT (cm)	TCD (g /día)
T0 (0% inclusión de HVP)	65,46 ± 0,48 ^a	123,98 ± 1,73 ^d	58,52 ± 1,33 ^d	3,03 ± 0,06 ^d	1,39 ± 0,03 ^d
T1 (10% inclusión de HVP)	65,72 ± 0,54 ^a	130,80 ± 2,04 ^c	65,08 ± 2,17 ^c	3,67 ± 0,05 ^c	1,55 ± 0,05 ^c
T2 (20% inclusión de HVP)	65,96 ± 0,27 ^a	135,10 ± 0,92 ^b	69,14 ± 0,68 ^b	4,35 ± 0,04 ^b	1,64 ± 0,02 ^b

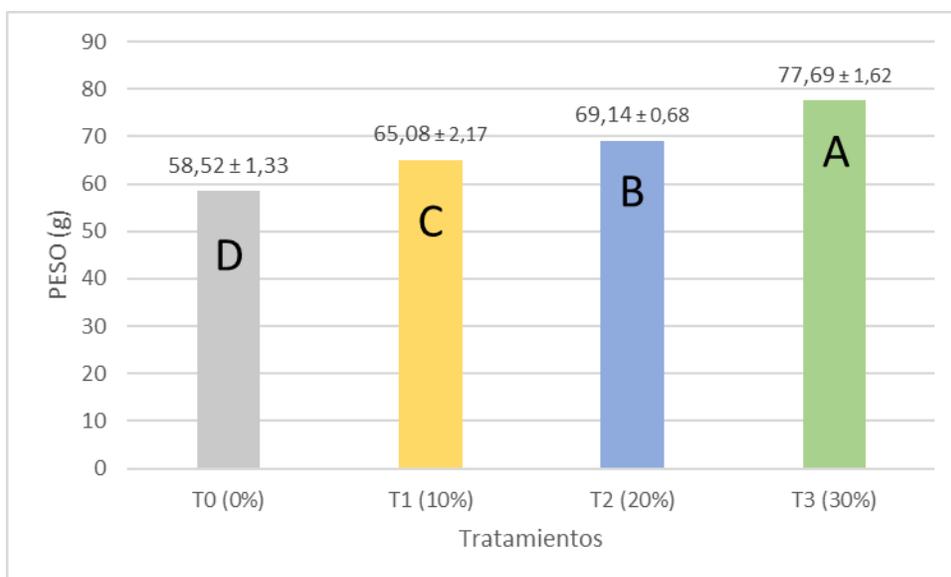
T3 (30% inclusión de HVP)	65,14 ± 0,29 ^a	142,83 ± 1,39 ^a	77,69 ± 1,62 ^a	4,97 ± 0,04 ^a	1,85 ± 0,03 ^a
ANOVA Pr > F	0,1866	0,0001	<,0001	<,0001	<,0001

HVP: Hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

Fuente: Este estudio, 2022

3.2.1 Incremento de peso (IP) e incremento de talla (IT). Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos tanto para el incremento de peso, como también para el incremento de talla (ver figuras 11 y 12).

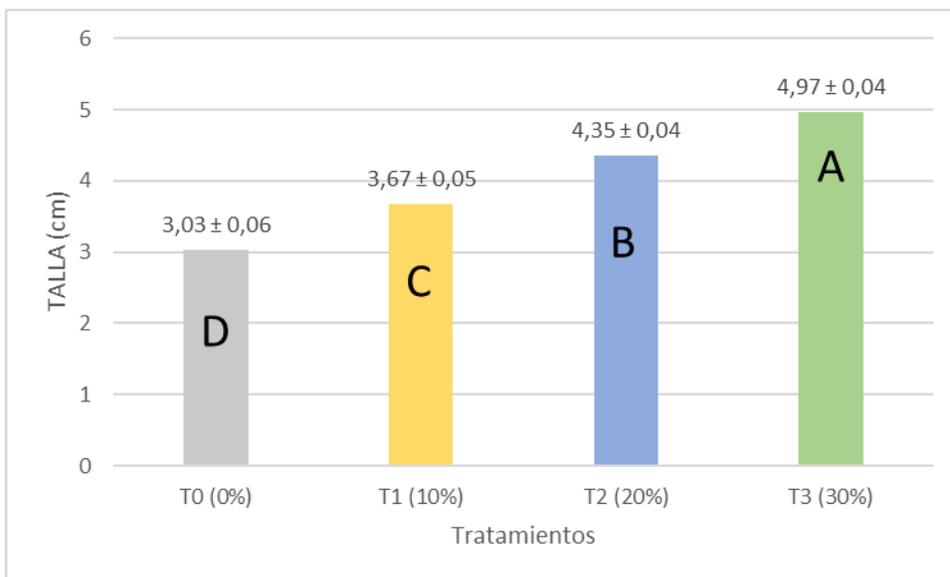
Figura 11. Valores medios obtenidos para el incremento de peso en Cachama blanca al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

Figura 12. Valores medios obtenidos para el incremento de talla en Cachama blanca al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

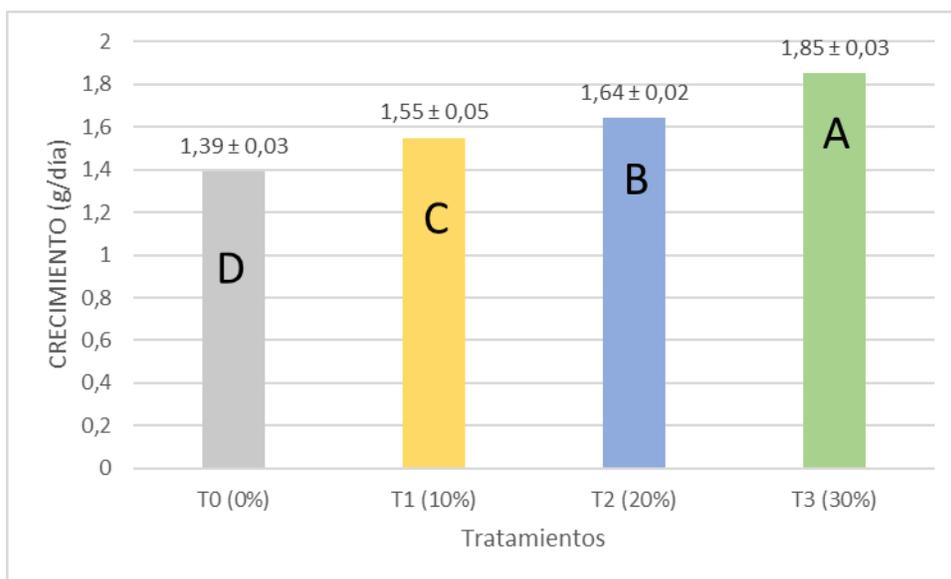
Para el incremento de peso (IP) y el incremento de talla (IT), se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, como se puede observar, T3 con el 30% de inclusión de hidrolizado de vísceras de pollo presentó los valores más altos en incremento de peso y talla (77,69 g; 4,97 cm), seguido de T2 (69,08 g; 4,35 cm) y T1 (65,08 g; 3,67 cm) con inclusión de 20% y 10% de HVP respectivamente, frente a la dieta sin inclusión de hidrolizado T0 (58,52 g; 3,03 cm). Como se puede observar T3 tuvo el mejor desempeño, por lo que se puede inferir que al incrementar la inclusión de HVP se obtiene mayor crecimiento en los animales, debido posiblemente al mayor contenido de péptidos de cadena corta y a los aminoácidos libres presentes en las dietas con inclusión de HVP los cuales facilitan su digestión en el intestino proximal de la cachama, haciendo que no haya un gasto innecesario de la energía metabólica. También se tiene en cuenta que los peces no tuvieron altos niveles de estrés ya que todos los factores están controlados en el ambiente lo que permite mejorar el aprovechamiento y absorción de nutrientes ya sean provenientes de materias primas convencionales o alternativas (Hleap & Gutiérrez, 2017).

Los resultados de la presente investigación son inferiores a los citados en Pirarucu (*Arapaima gigas*) por Yance, (2020), donde evaluó el reemplazo de harina de pescado por harina de subproducto avícola al incluir 15% y 30%, obteniendo valores

de 118,071 g; 10,73 cm y 77,53 g; 8,17 cm, respectivamente, a los citados en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) por Ramos & Rodríguez, (2019) quienes evaluaron la sustitución parcial de harina de pescado por harina de plumas hidrolizada al incluir 20% y 40%, obteniendo valores de 180,74 g; 10,07 cm, y 147,93 g; 8,71 cm, respectivamente. Y superiores a los citados en gamitana (*Colossoma macroporum*) por Gálvez, (2020) que evaluó el efecto de la inclusión de harina de subproductos avícolas con valores de 30% y 35% obteniendo valores de 13,08 g; 2,14 cm y 10,50 g; 1,87 cm respectivamente.

3.2.2 Tasa de crecimiento diario (TCD). Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (ver figura13).

Figura 13. Valores medios obtenidos para la tasa de crecimiento diario en Cachama blanca al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados para la TCD, donde se puede apreciar que T3 obtuvo el mejor resultado 1,85 g/día, con el 30% de inclusión de HVP, seguido de T2 con el 20% de inclusión de HVP y de T1 con el 10% de inclusión de HVP con valores de 1,64 g/día y 1,55 g/día

respectivamente, frente a T0 dieta sin inclusión de hidrolizado, esto se pudo dar posiblemente a que la tasa de crecimiento está directamente relacionada con los niveles de proteína, energía y el consumo de alimento, teniendo en cuenta que las dietas utilizadas tuvieron altos coeficientes de digestibilidad tanto a nivel proteico como energético, logrando la obtención de los mejores resultados a medida que se aumentó la inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (Oliveira *et al.*, 2016; Paz *et al.*, 2016; Duan *et al.*, 2010).

Los resultados obtenidos para TCD en esta investigación son superiores a los reportados en pacú (*Piaractus mesopotamicus*) por Correa *et al.*, (2020) quien evaluó el efecto de la suplementación de ensilaje ácido de pescado con 5% de inclusión donde obtuvo un crecimiento de 0,22 g/día, similares a los reportados en gamitara (*Colossoma macroporum*) por Cárdenas & Panduro, (2018) alimentándolos con inclusión de harina de vísceras de pollo al 5%, 10% y 15% obteniendo valores de 1,55; 1,65 y 1,80 g/día respectivamente e inferiores a los reportados en cachama negra (*Colossoma macroporum*) por Castro, (2015), quien evaluó la inclusión de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con los siguientes porcentajes: 50% de *Colocasia esculenta* y 50% de *Eisenia foetida*, 50% de Concentrado Comercial (Mojarra 38) y 50% de *Eisenia foetida*, y 100% de concentrado comercial (Mojarra 38), obteniendo resultados de 3,1; 3,0 y 2,3 g/día respectivamente.

3.3. PARÁMETROS DE APROVECHAMIENTO NUTRITIVO.

A continuación, en el cuadro 7 se presentan los valores obtenidos de los parámetros de aprovechamiento nutritivo obtenidos en la investigación.

Cuadro 7. Valores medios obtenidos para los parámetros de aprovechamiento nutritivo.

Parámetros de aprovechamiento/Tratamientos	Consumo A (g MS/pez)	ICA	TEP	TEE
T0 (0% inclusión de HVP)	83,04 ± 0,38 ^c	1,42 ± 0,04 ^a	2,14 ± 0,05 ^d	0,23 ± 0,01 ^c
T1 (10% inclusión de HVP)	88,82 ± 2,48 ^b	1,36 ± 0,01 ^b	2,23 ± 0,02 ^c	0,24 ± 0,01 ^c

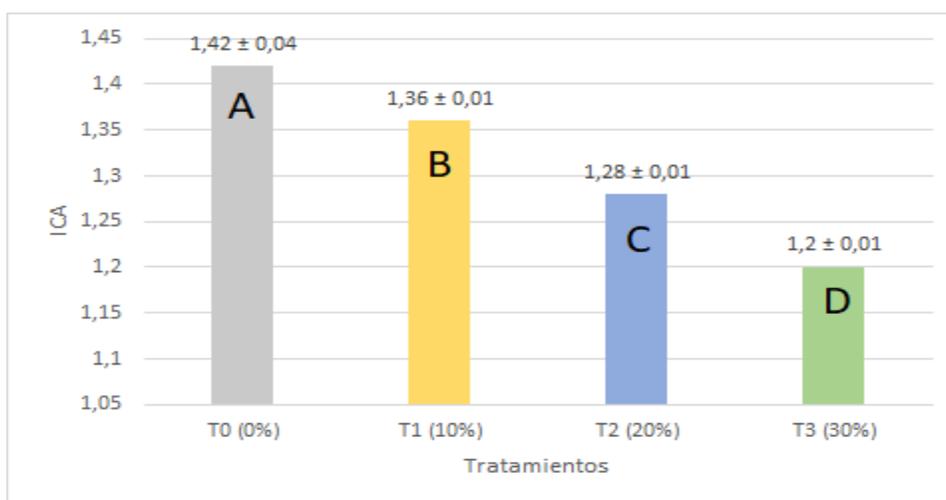
T2 (20% inclusión de HVP)	88,54 ± 1,39 ^b	1,28 ± 0,01 ^c	2,37 ± 0,01 ^b	0,26 ± 0,01 ^b
T3 (30% inclusión de HVP)	93,74 ± 2,56 ^a	1,20 ± 0,01 ^d	2,52 ± 0,02 ^a	0,27 ± 0,02 ^a
ANOVA Pr > F	0,0021	<,0001	<,0001	<,0001

HVP: Hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

Fuente: Este estudio, 2022

3.3.1. Índice de conversión alimenticia (ICA). Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (ver figura 14).

Figura 14. Valores medios obtenidos para el índice de conversión alimenticia al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

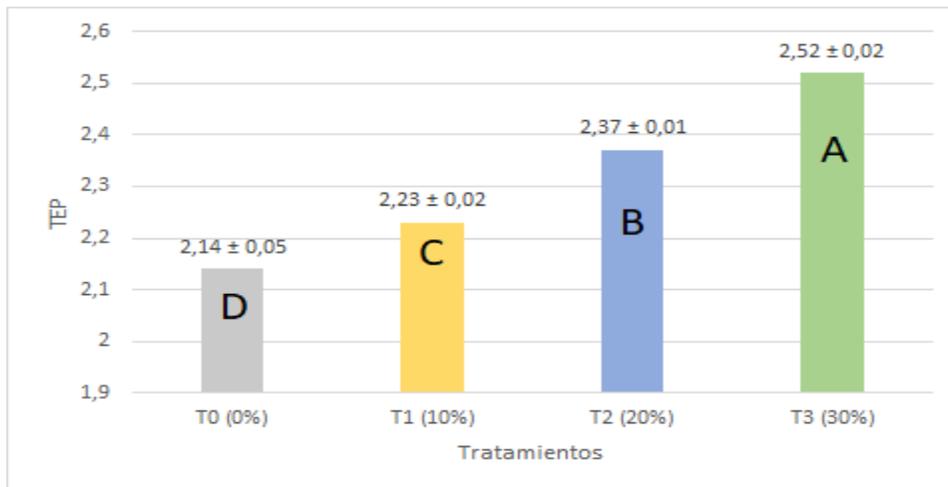
La prueba de promedios por el método de Duncan, permitió observar que el mejor comportamiento para índice de conversión alimenticia (ICA), lo presentó el tratamiento T3 (1,2) con el 30% de inclusión de HVP, seguido de T2 (1,28) y T1 (1,36) con inclusión de 20% y 10% respectivamente, frente a la dieta sin inclusión de hidrolizado T0 (1,42), teniendo en cuenta que valores cercanos a 1 en el ICA indica que los animales requieren consumir menos alimento para producir la misma

cantidad de peso vivo. Además, se observa como la inclusión de HVP influyó positivamente en el aprovechamiento de los nutrientes, ya que presentan altos coeficientes de hidrólisis proteica, debido posiblemente a la actividad de las enzimas digestivas, específicamente de las proteasas del propio pescado, que aumentan las proteínas de bajo peso molecular, provocando la presencia de péptidos de cadena corta y amino ácidos libres los cuales mejoran la palatabilidad de los piensos, logrando que las dietas sean mayormente aceptadas por los animales (Hleap & Gutiérrez, 2017; Martínez y Chávez, 2017; Valenzuela & Morales, 2016; Shirai *et al.* 2001).

Los resultados obtenidos de esta investigación son superiores a los citados en gamitana (*Colossoma macroporum*) por Cárdenas & Panduro, (2018) alimentadas con una dieta con inclusión de harina de vísceras de pollo, 10% y 15% obteniendo valores de 2,65 y 2,58 respectivamente; de igual manera a los citados en Tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) por Toledo, (2014) al evaluar la sustitución del 10% de la harina de pescado por harina de subproductos de aves con un valor de 1,77; y a los reportados en Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus x O. niloticus*) por Llanes *et al.* (2006) alimentadas con ensilados de pescado obteniendo valores de 3,64 y 3,66

3.3.2 Tasa de eficiencia de la proteína y la energía. Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (ver figuras 15 y 16).

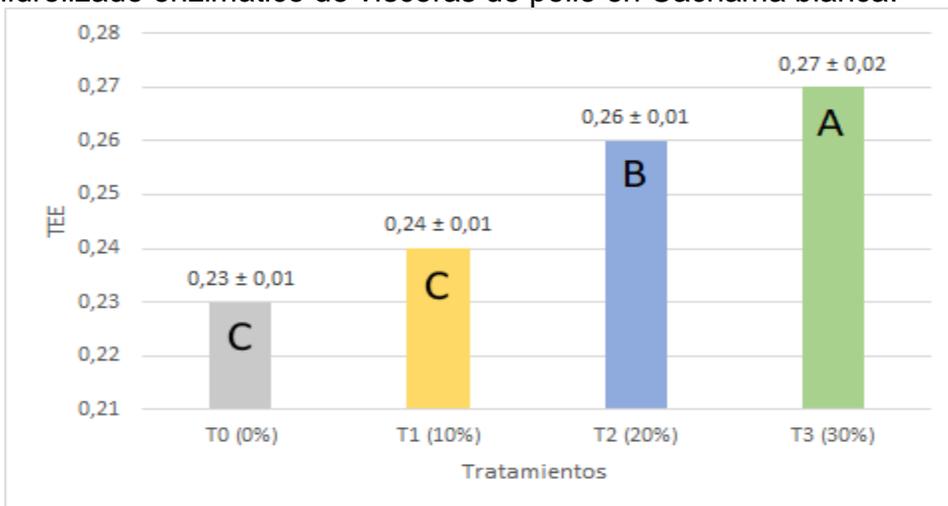
Figura 15. Valores medios obtenidos para la tasa de eficiencia de la proteína al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

Figura 16. Valores medios obtenidos para la tasa de eficiencia de la energía al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

Los resultados obtenidos en el presente estudio para la tasa de eficiencia de la proteína (TEP) y la energía (TEE) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, teniendo mejores resultados en T3 (2,52 TEP y 0,27 TEE), con inclusión de 30% de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, seguido de T2 (2,37 TEP y 0,26 TEE) con inclusión del 20% de HVP frente a T1 (2,23 TEP y 0,24

TEE) con inclusión del 10% y dieta sin inclusión de hidrolizado T0 (2,14 TEP y 0,23 TEE), como se puede observar, a mayor inclusión de HVP se muestra un alto aprovechamiento de la proteína y la energía de la dieta suministrada, producto de la hidrólisis que permite la liberación de aminoácidos, proteínas de bajo peso molecular y el alto contenido de ácidos grasos insaturados (oleico, palmítico y linoleico) lo cual se traduce en mayor digestibilidad y aprovechamiento de los nutrientes tanto proteicos como energéticos (Llanes & Parisi, 2020; Perea *et al.*, 2017; Cuj *et al.*, 2017; Hackler, 1979). Los valores más altos de la relación de eficiencia proteica podrían estar asociados con el efecto ahorrador de proteínas que generan los lípidos de la dieta, donde, parte de la proteína dietética que es oxidada por el pez para obtener energía es excluida de esta oxidación y por ende se utiliza para la síntesis y deposición de proteínas (Li *et al.*, 2012; Sargent *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos en el presente estudio para la TEP, son superiores a los reportados en (*Clarias gariepinus*) por Llanes *et al.*, (2017) donde evaluaron el reemplazo parcial de harina de pescado por ensilado cárnico 10% y 20% obteniendo valores de 2,17 y 1,50 respectivamente, inferiores a los reportados por Martínez *et al.*, (2018) quienes evaluaron el desempeño zootécnico de alevinos de cachama (*Piaractus brachypomus*) alimentados con dietas que contenían diferentes niveles de energía bruta entre 3750 y 4440 Kcal/kg obteniendo resultados entre 3,97 y 4,80; e inferiores a los obtenidos por Llanes & Parisi, (2020) al evaluar un hidrolizado de productos pesqueros en *Clarias gariepinus* reportando valores de 3,1 y 3,2. Con respecto a la TEE, los resultados obtenidos en el presente estudio fueron inferiores a los citados por Martínez *et al.*, (2018) quienes evaluaron el desempeño zootécnico de alevinos de cachama (*Piaractus brachypomus*) alimentados con dietas que contenían diferentes niveles de energía bruta entre 3750 y 4440 Kcal/kg obteniendo resultados entre 0,35 y 0,41.

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación, en el cuadro 8, se presentan los valores obtenidos para el análisis económico.

Cuadro 8. Valores medios obtenidos para el análisis económico.

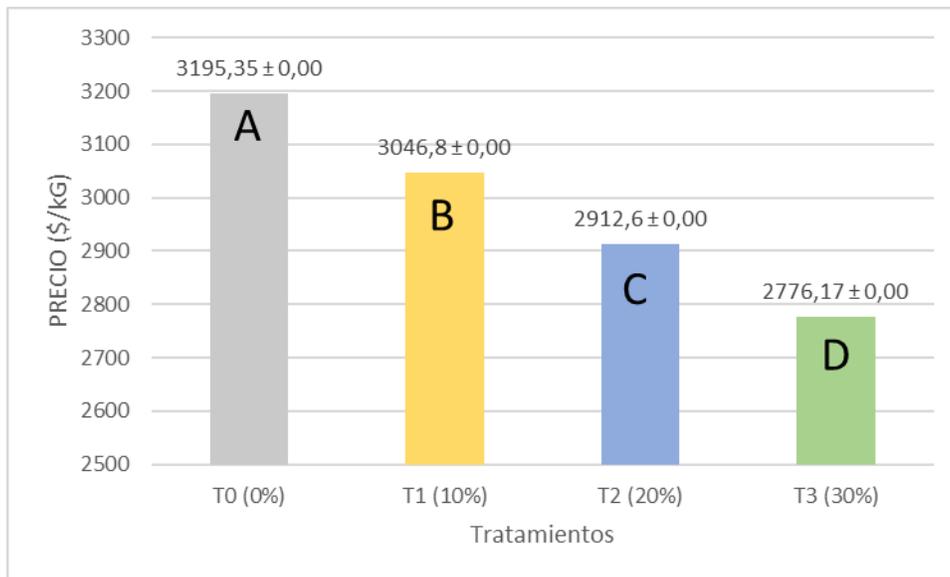
Variables / Tratamientos	Peso inicial	Peso final	IP (g)	Precio de la dieta (\$/ Kg)	ICA	ICE (\$/ Kg)	IRE (\$/ Kg)
T0 (0% inclusión de HVP)	65,46 ± 0,48 ^a	123,98 ± 1,73 ^d	58,52 ± 1,33 ^d	3195,35 ± 0,00 ^a	1,42 ± 0,04 ^a	4535,60 ± 33,54 ^a	974,51 ± 17,52 ^d
T1 (10% inclusión de HVP)	65,72 ± 0,54 ^a	130,80 ± 2,04 ^c	65,08 ± 2,17 ^c	3046,80 ± 0,00 ^b	1,36 ± 0,01 ^b	4158,41 ± 38,90 ^b	1037,45 ± 12,88 ^c
T2 (20% inclusión de HVP)	65,96 ± 0,27 ^a	135,10 ± 0,92 ^b	69,14 ± 0,68 ^b	2912,60 ± 0,00 ^c	1,28 ± 0,01 ^c	3729,75 ± 23,25 ^c	1093,14 ± 5,53 ^b
T3 (30% inclusión de HVP)	65,14 ± 0,29 ^a	142,83 ± 1,39 ^a	77,69 ± 1,62 ^a	2776,17 ± 0,00 ^d	1,20 ± 0,01 ^d	3349,18 ± 28,29 ^d	1168,11 ± 8,32 ^a
ANOVA Pr > F	0,1866	0,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001

HVP: Hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

Fuente: Este estudio, 2022

3.4.1 Precio de la dieta. Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que se presentaron diferencias significativas ($Pr < 0,05$) entre los tratamientos (ver figura 17).

Figura 17. Valores medios calculados para el precio de la dieta.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

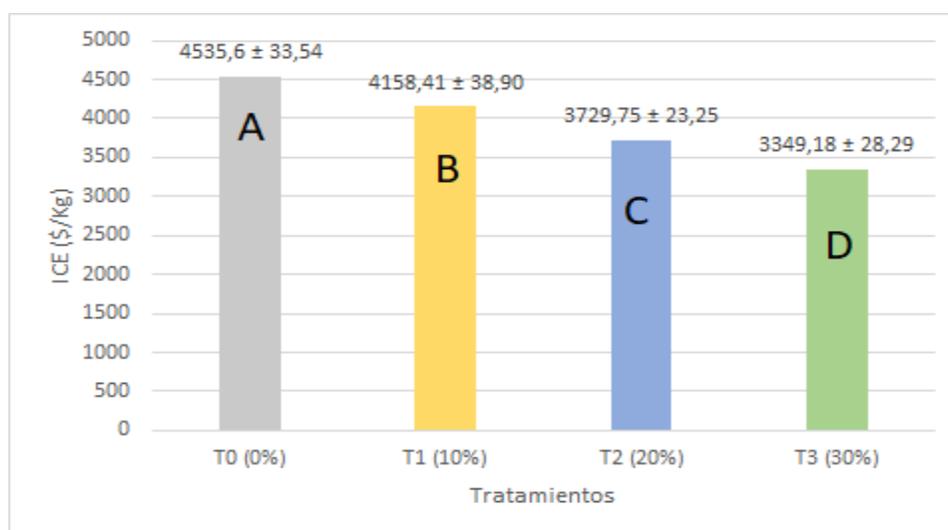
La prueba de promedios por el método de Duncan, permitió observar que el mejor comportamiento lo presentó T3 con el 30% de inclusión de HVP presentando el menor costo por Kg (\$ 2776,17), seguido de T2 con el 20% de inclusión de HVP (\$ 2912,60) y T1 con el 10% de inclusión de HVP (\$ 3046,80), frente a T0 dieta sin inclusión de hidrolizado (\$ 3195,35); se tiene una diferencia de \$ 419,18 por Kg entre la dieta sin inclusión de hidrolizado (T0) y la dieta con inclusión de hidrolizado de 30% (T3), representando una disminución en el costo de la dieta del 13,11%, entre los tratamientos T0 y T2 se presenta una diferencia de \$ 282,75 por Kg representando una disminución del 8,84% y entre T0 y T1 una diferencia de \$ 148,55 por Kg, representando una disminución en el precio de la dieta de 4,64%, se puede evidenciar que a mayor inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, el costo de la dieta disminuye considerablemente.

Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Perea *et al.*, (2018) quienes realizaron la valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp, a los citados por Llanes & Parisi, (2021) donde sustituyeron alto porcentaje de harina de pescado por ensilados de subproductos pesqueros en dietas extruidas para *Clarias gariepinus* y a los reportados por Vilches, (2020) donde se evaluaron tres niveles de inclusión de harina de subproducto avícola en dietas de acabado para *Piaractus brachipomus*,

donde a mayor inclusión de las dietas evaluadas el precio por kilogramo de la dieta disminuye notablemente.

3.4.2 Índice de conversión económico (ICE) e índice de rentabilidad económico (IRE). Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (ver figuras 18 y 19).

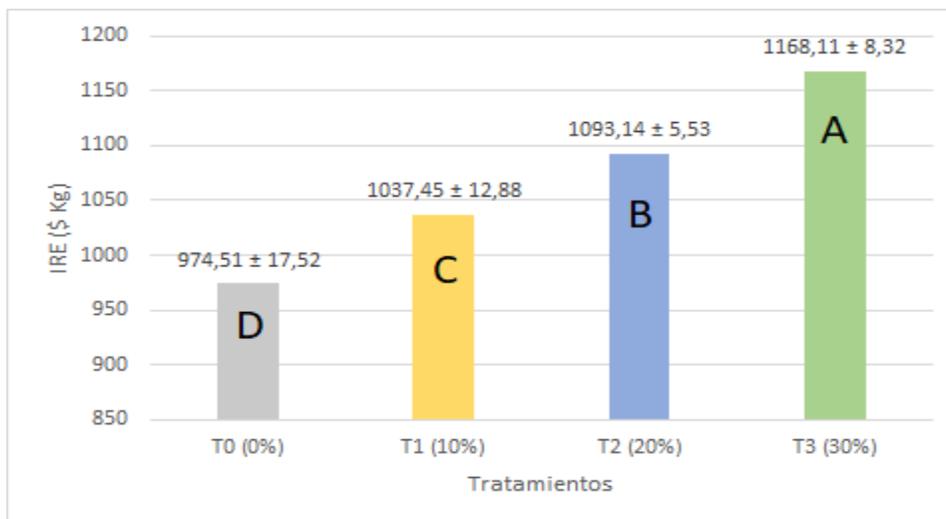
Figura 18. Valores medios calculados para el índice de conversión económica al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

Figura 19. Valores medios calculados para el índice de rentabilidad económica al incluir hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en Cachama blanca.



Letras diferentes en las barras representan diferencias significativas ($P < 0,05$)

Fuente: Este estudio, 2022

Para los datos obtenidos del índice de conversión económico (ICE) e índice de rentabilidad económica (IRE) en el presente estudio se presentaron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos, donde se puede evidenciar que el mejor resultado lo obtuvo T3 con inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo del 30% con valores por Kg de \$ 3349,18 ICE; \$ 1168,11 IRE, seguido por T2 con precios por Kg de \$ 3729,75 ICE; \$ 1093,14 IRE y T1 con valores por Kg de \$ 4158,41 ICE; \$ 1037,45 IRE, con inclusiones del 20% y 10% respectivamente, frente a T0 con precios por Kg de \$ 4535,6 ICE; \$ 974,51 IRE dieta sin inclusión de hidrolizado, demostrando que a mayor inclusión de HPV se requiere menor cantidad de dinero para producir un Kg de carne generando mayor rentabilidad en el sistema productivo.

Los resultados del presente estudio presentan un comportamiento similar a los reportados por Perea *et al.*, (2018) donde se realizó la valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp obteniendo costos por Kg desde \$ 2738,93 hasta \$ 4563,76 para ICE y de \$ 1501,04 hasta \$ 1814,86 para IRE, así mismo, a los reportados por Moutinho *et al.*, (2017) donde se evaluó la sustitución parcial de la harina de pescado por harina de carne y huesos en dietas para juveniles de dorada (*Sparus aurata*) obteniendo costos más bajos de alimentación a medida que se aumentó la inclusión de harina de carne y huesos, obteniendo precios por Kg desde € 1,14 hasta € 1,10 para ICE y de € 0,32

hasta € 0,36 para IRE, de igual manera a los reportados por Llanes & Parisi, (2021) donde sustituyeron porcentaje de harina de pescado por ensilados de subproductos pesqueros en dietas extruidas para *Clarias gariepinus*.

4 CONCLUSIONES

Los resultados de digestibilidad del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo obtenidas fueron superiores al 93,5%, 87,2% y 2.162,17 Kcal/Kg para DAMS, DAPC y ED respectivamente, lo que se traduce en un alto aprovechamiento de los nutrientes contenidos, por lo tanto, se puede tener en cuenta en el balance de dietas para peces.

La utilización de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo ofrece mayor disponibilidad de nutrientes, al tener gran fraccionamiento de la proteína lo que hace más eficiente el aprovechamiento por parte del animal, traduciéndose en un mejor aprovechamiento y por consiguiente en mayor crecimiento en Cachama blanca.

Al incluir el 30% de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, se observó que tuvo mejores resultados en los parámetros de crecimiento y aprovechamiento nutritivo, destacando un índice de conversión alimenticia de 1,2 en alimentación de Cachama blanca, además, contribuye a la reducción de los costos de alimentación hasta un 13% lo que mejora la rentabilidad de las piscifactorías.

5 RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer un análisis de composición corporal de Cachama blanca alimentada con dietas con inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo para determinar si existen cambios en la composición del musculo que puedan mejorar su calidad nutricional, como por ejemplo mayor contenido de ácidos grasos polinsaturados.

Se recomienda la utilización de hidrolizados de vísceras de pollo, como fuente proteica y energética para la elaboración de dietas en la alimentación de Cachama blanca, teniendo en cuenta su alto contenido nutricional, alta digestibilidad y bajo costo.

Se recomienda evaluar las dietas en campo, para medir el comportamiento del estudio en un ambiente no controlado y así determinar si influye de manera positiva o negativa, para posteriormente recomendarlo a los productores.

6 BIBLIOGRAFÍA

ABIMORAD, E., FAVERO, G., CASTELLANI, D., GARCIA, F. & CARNEIRO, D. 2009. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) reared in cages. *Aquaculture*, vol 295, p 266-270. 2009.

ADAMIDOU, S., IOANNIS, N., MARIA, A., ELENI, F., DIMITRA, N., PATRICK, C., IOANNIS, K., GEORGE, R., GORDON, J & KIM, J. Apparent nutrient digestibility and gastrointestinal evacuation time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed diets containing different levels of legumes. *Aquaculture*, vol. 289, p 106–112. 2009.

ADEPARUSI, E. O. y KOMOLAFE, A. Effect of Faecal Collection Methods on Nutrient Digestibility in *Oreochromis niloticus* fed Soya Bean Diets. *Journal of Food Technology*, vol. 4, N°. 1, p 4–9. 2006.

ALLAN, G., PARKINSON, S., BOOTH, M., STONE, D., ROWLAND, S., FRANCES, J. & WARNER-SMITH, R. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, vol 186, p 293. 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. 15th Ed., Arlington, Virginia, USA. Method 920.39, 934.01 y 942.05. 1990.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. Method 995.11 – “Phosphorus (Total) in Foods”, *Colorimetric Method*. Volume II. Editor: George W. Latimer, Jr. Cp 45 p. 50-52. 2012.

AUSTRENG, E. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*, vol 13 N° 3, p 265 - 272. 1978.

AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA (AUNAP). Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia AUNAP – FAO, Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia. 2013. [en línea]. [Citado el 17 de diciembre del 2019]. Disponible en: <http://aunap.gov.co/wp->

content/uploads/2016/04/25-Diagn%C3%B3stico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf

BERNAL, K; FLORES, W. Digestibilidad aparente de la proteína de harina de plumas de *Gallus gallus domesticus* en juveniles de *Piaractus brachypomus* (Pisces). 2018. [En Línea] Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Santa. Disponible en <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3203>.

BORGUESI, R., PORTZ, L., OETTERER, M., CYRINO, J. Apparent digestibility coefficient of protein and amino acids of acid, biological and enzymatic silage for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture nutrition*, vol 14, p 242 – 248. 2008.

BOSCOLO, H., ALDI, F., FABIO, M & ARCANGELO, A. Composicao química e digestibilidade aparente de energía e nutrientes da farinha de residuos da industria de filetagem de tilapias, para a tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Universidad Estadual do oeste de Paraná (UNIOESTE). Brasil. 2008.

BOTERO, C. Aprovechamiento nutritivo de núcleos ensilados de vísceras de pollo en híbridos de cachama *Piaractus brachypomus* x *Colossoma macropomun* (Tesis de maestría) Universidad Nacional sede Palmira Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2012.

BRAVO, C. & ANACONA, Y. Evaluación de parámetros zootécnicos en Tilapia roja (*Oreochromis* spp) y Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), alimentadas con dietas en base a ensilajes de vísceras de pescado en el embalse “La Salvajina”, Suarez Cauca. Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Agropecuarios. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. 2011.

CARMONA, J., MONTOYA, J. & CASTAÑO, G. Digestibilidad aparente de cuatro concentrados empleados durante el levante *Oreochromis* sp. *Rev Colomb Cienc Pecu*, vol. 22, N°3. 2009.

CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD E INNOVACIÓN DEL CAUCA – (CREPIC) Cadena piscícola del Cauca. 2013. [en línea]. Disponible en: http://www.crepic.org.co/tucan/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1&Itemid=29&limitstart=15.15-04-2014

CHALAMAIAH, M., DINESHKUMAR, B., HEMALATHA, R. & JYOTHIRMAYI, T. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications. *Food Chemistry*, vol 135 N°4, p 3020-3038. 2012.

CHO, C., SLINGER, S. & BAYLEY H. S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology*, vol. 73B, N° 1, pp. 25 - 41. 1982.

CHO, Y. La energía en la nutrición de los peces. Nutrición en la acuicultura II. Comisión asesora de investigación científica y técnica. CAICYT. Universidad Labarta, p 300. 1987.

CONTRERAS, J. Efecto sobre las variables técnicas en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) al sustituir ensilaje de víscera de pescado y morera en el alimento balanceado de ceiba. *Revista CITECSA*, vol. 2 N° 2. 2011.

DAVIES, S. J. & GOUVEIA, A. Comparison of yttrium and chromic oxides as inert dietary markers for the estimation of apparent digestibility coefficients in mirror carp *Cyprinus carpio* fed on diets containing soybean, maize and fish-derived proteins. *Aquaculture Nutrition*, vol. 12, p 451–458. 2006.

DELGADO, M & LOPEZ, Y. Coeficiente de digestibilidad real de dietas de levante elaboradas con harina de vísceras de pescado en la alimentación de Mojarra Patiana (*Cichlasoma ornatu*, regan, 1905) mediante el método de óxido crómico y cámaras metabólicas. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de producción acuícola. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Acuícolas. Departamento de Recursos Hidrobiológicos. 2005.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). Encuesta nacional agropecuaria. 2015.

DUNCAN, D.B. Multiple ranges and multiple F. test. *Biometrics* 11:1. 1955.

FEDERACIÓN NACIONAL DE AVICULTORES DE COLOMBIA (FENAVI). Boletín Fenaviquin – Programa de estudios económicos – FENAVI – FONAVI. 2020

FERRAZ, L., BORGHESI, R. & OETTERER, M. Use of Fish Waste as Silage – A Review. *Brazilian archives of Biology and Technology*, vol 50 N° 5, p 879 - 886. 2007.

FRANCO, J. & BELTRAN, L. (2012). Variaciones morfométricas a nivel de las vellosidades en intestino anterior y posterior, en Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con la inclusión de Morera (*Morus alba*) al 15 % en la etapa de ceba. *Revista CITECSA Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente*, vol. 2 No 3. P. 50–59.2012

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Colombia pesca en cifras/2014. Bogotá, DC. 2015. [en línea]. Disponible en: http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/05/Pesca_en_cifras.pdf

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: Una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. Serie Acuicultura en Latinoamérica | Número 1 |. 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/i1773s/i1773s.pdf>

FORSTER, R. & L. GOLDSTEIN. Formation of excretory products. *Fish Physiology. Academic Press*, vol 1, p. 313-345. 1969.

FRANCO, J. & BELTRAN, L. Variaciones morfométricas a nivel de las vellosidades en intestino anterior y posterior, en Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con la inclusión de Morera (*Morus alba*) al 15 % en la etapa de ceba. *Revista CITECSA Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente*, vol. 2 N° 3. p 50–59. 2012.

FURUKAWA, A. y TSUKAHARA, H. On the acid digestion method for the determination of Chromic Oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, vol. 32 N° 6, p 502–506. 1966.

GARCEZ, Y., PEREA, C., VALENCIA, N., HOYOS, J. & GOMEZ, J. (2015). Nutritional effect of the chemical silage of Fish by-products in broiler (*Gallus gallus domesticus*) feeding. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49 (4), 503–508.

GIRALDO, L., GUTIÉRREZ, L. & RÚA, C. Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, vol 20, p 269 – 279. 2007.

GÓMEZ, J. VÁSQUEZ, L. & VALENCIA, D. Efecto de diferentes frecuencias de alimentación y ayuno, sobre el crecimiento y aprovechamiento nutritivo de *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). *Latin american journal of aquatic research*, 44(3), 569-575. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2016000300015&lng=es&tlng=es. (2016)

GÓMEZ, E. Estudio de gestión ambiental para la empresa avícola agrícola mercantil del cauca - AGRICCA S.A. Tesis de maestría. Universidad de Manizales. p. 22, 23. 2012 [en línea]. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/563/402_Gomez_Daza_Elcy_2012.pdf?sequence=1

GOMEZ, F. Transportation of tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*) in Amazon: *World Aquaculture*, vol 33, p 51-53. 2002.

GOOSEN N., WET, L., GÖRGENS, J., JACOBSC, K & BRUYN, A Fish silage oil from rainbow trout processing waste as alternative to conventional fish oil in formulated diets for Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Animal Feed Science and Technology*, vol 188 N° 1, p 74-84. 2014.

GUTIÉRREZ, M., YOSSA, M. & VÁSQUEZ, W. Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de vísceras de pollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). *Orinoquia*, vol 15 N° 2, p 169 –179. 2011.

HISANO, H. & SOUZA, P. Growth performance and digestibility of juvenile *Nile tilapia* fed diets containing acid silage viscera of surubim catfish. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, vol 35 N° 1, p 1 - 6. 2014.

INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL (INCODER). Guía práctica de piscicultura en Colombia, p 43-47. 2006. [en línea]. Disponible en: <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Guia-Practica-de-Piscicultura-en-Colombia.pdf>

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA). Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura. Bogotá, Colombia. 2012. [en línea]. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B2968e/B2968e.pdf>

IZQUIERDO, C & SALAZAR, D. Coeficiente de digestibilidad del hidrolizado de vísceras de cachama blanca, utilizado como fuente de proteína en la alimentación de alevinos de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*, cuvier 1818) mediante el método de óxido crómico Cr₂O₃ y acuarios metabólicos. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de producción acuícola. Universidad de Nariño. Facultad de ciencias pecuarias. 2012.

KIM, K. I 1997. Re-evaluation of protein and amino acid requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Aquaculture. 151: 3-7.

KJOS, N., HERSTAD†, O., SKREDE, A. & ØVERLAND, M. The use of fish by-products in animal feeding. Proceedings of workshop on improved utilization of by-products for animal feeding in Vietnam. NUFU projet. 2001. [En línea]. Disponible en: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/A00-086>.

LANDINES M, RODRÍGUEZ L, RODRÍGUEZ D. Estrategias de alimentación para cachama y yamú a partir de prácticas de restricción alimenticia. Universidad Nacional de Colombia, facultad de medicina veterinaria y zootecnia, 24 (1). 2011

LAUZANNE, L. & LOUBENS, G. Peces del río Mamoré. Orstom-Cordebeni-UTB: Paris.1985 [en línea]. Disponible en: http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_5/pt5/travaux_d/23104.pdf

LLANES, J., & PARISI, G. 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 (2020).

LLANES, J., TOLEDO, J, SAVÓN, L. & GUTIÉRREZ, O. Utilización de silos pesqueros en la formulación de dietas semi-húmedas para tilapias rojas (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 46, Número 1. 2012.

LLANES, J., BÓRQUEZ, A., TOLEDO, J & VEGA J. Digestibilidad aparente de los Ensilajes de residuos pesqueros en tilapias roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*). *Zootecnia Tropical*, vol. 28 N° 4, p 499 – 505. 2010.

LOPEZ, J. Nutrición acuícola. Universidad de Nariño, p 211.1997

LOPEZ, N., SALAZAR, D & IZQUIERDO. Coeficientes de digestibilidad de la harina de hidrolizado de vísceras de Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus* Cuvier 1818), usada como fuente de proteína en la alimentación de sus alevinos. *Acta Biol. Par., Curitiba*, vol 44 N°1-2, p 7-16. 2015.

LUPATSCH, I. Formulación de alimentos y estrategias de alimentación. Centro de Acuicultura Sostenible de la Universidad de Swansea. Reino Unido. 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.aquafeed.co/formulacion-de-alimentos-y-estrategias-de-alimentacion-para-la-tilapia/>

MENDOZA, M., COMAS, J. & ROMERO, C. Estudio histológico del sistema digestivo en diferentes estadios de desarrollo de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista de Medicina veterinaria*, vol 25, p.21–38. 2013.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas, cadena de la acuicultura. Colombia. Disponible en <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. 2020.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Encuesta nacional piscícola 2012, informe de resultados. Colombia. p. 53, 58. 2013. Disponible en <http://207.239.251.110:8080/jspui/bitstream/11348/4490/1/INFORME%20ENP%202012A.pdf>

MORAES, M., GOMES, M., PIMENTA, C., DA SILVA, A., FIORINI, J. & ROSA, P. Digestibilidade e desempenho de alevinos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados com dietas contendo diferentes níveis de silagem ácida de pescado. *Ciência e Agrotecnologia*, vol 30 No 6, p 1196 - 1204. 2006.

MOUTINHO, S., MARTÍNEZ-LLORENS, S., TOMÁS-VIDAL, A., JOVER-CERDÁ, M., OLIVA-TELES, A., & PERES, H. 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(999), 271–277. (2017).

NANOCOLOR®. Photometric Water Analysis. PF-11-04.04. Art.-Nr. 985 026. Art.-Nr. 918 72. Art.-Nr. 985 082. 2009

NASRI, M. *Advances in food and nutrition research*. Publisher. (2017).

OLIVEIRA, A., MARTINELLI, L., MOREIRA, M & CYRINO, J. Determination of apparent digestibility coefficient in fish by stable carbon isotopes. *Aquaculture Nutrition*, vol. 14, p 10–13. 2008.

PAZ, A., MENESES, R., & LÓPEZ, M. Digestibility of diets with flour fish silage for the growing of arawana (*Osteoglossum bicirrhossum*). *Revista MVZ Córdoba*, vol. 21 (1), pp. 5177-5188. 2016

PEREA, C.; GARCÉS, Y.; MORALES, Y.; JIMENEZ, M.; HOYOS, J.; VIVAS, N. Digestibilidad de hidrolizados enzimáticos de vísceras de origen animal en *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, v. 20, p. 7-12. 2021.

PEREA, C., GARCÉS, Y., MUÑOZ, L., HOYOS, J., & GÓMEZ, J. Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol 16 (1), 43–51. 2018

PEREA, C., HOYOS, J., GARCÉS, Y., MUÑOZ, L., & GÓMEZ, J. Evaluación de procesos para obtener ensilaje de residuos piscícolas para alimentación animal. *Ciencia En Desarrollo*, vol 8 (2), 12. 2017

PEREA, C. Evaluación nutricional de ensilajes de residuos de Trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* en la alimentación de tilapia roja *Oreochromis* spp. Tesis de Doctorado Universidad Nacional de Colombia. 2016. [En línea]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/56016/1/Crispulo_Perea_Roman-2016.pdf

PEREA, C., GARCÉS, Y. & HOYOS, J. Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de tilapia roja (*Oreochromis* spp). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol 9 N° 1, p 60 – 68. 2011.

PEREA, C. & GARCÉS, Y. Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*). Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Agropecuarios. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuaria. 2010.

PEZZATO L.E. Digestibilidade aparente de fontes protéicas pela tilapia do Nilo (*Oreochromis nilo-ticus*). *Simpósio brasileiro de aquicultura*. 1998.

RAI, A., SWAPNA, H., BHASKAR, N., HALAMI, P. & SACHINDRA, N. Effect of fermentation ensilaging on recovery of oil from fresh water fish viscera. *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 46 No 1, p 9 - 13. 2010.

PUERTA, L.; GARCÍA, J.; PARRA, J.; PARDO, S. Coeficientes de digestibilidad aparente de *Thitonia diversifolia* y *Cratylia argénte*a en cachama blanca y efectos sobre las vellosidades intestinales, *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, v. 20, n. 2, 2017, p. 375-383. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.395>

RAMÍREZ, C. Manual de metodología para el seguimiento de los procesos de fermentación. Universidad del Valle. Cali, Colombia, p 16 - 21. 2009.

RAMÍREZ, J.; USECHE, M.; NIÑO, P.; LEAL, C.; BALDISSEROTTO, B. Production of cachama reciprocal hybrids in earth ponds. *Ciência Rural*, v. 49, p. 1-6. 2019. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180113>

RAVINDRAN, V & KORNEGAY, E. Acidification of weaner pig diets: a review. *J Sci Food Agric*. vol 62, p 313 - 322. 1993

RAWLES, S., THOMPON, K., BRADY Y., METTS, L., GANNAM, A., TWIBELL, R & WEBSTER C. comparison of two faecal Collection methods for proteína and amino acid digestibility coefficients of menhaden fish meal and two grades of poultry by-product meals for market-size sunshine bass (*Morone chrysops x M. saxatilis*). *Aquaculture Nutrition*, p 1 - 10. 2009.

RODRIGUEZ, H., DAZA, P & CARRILLO, M. Fundamentos de Acuicultura Continental. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Serie Fundamentos No. 1. Segunda Edición. Bogotá-Colombia. [En línea]. Disponible en <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjig>. 2001.

ROUBACH, R. & SAINT PAUL, U. Use of fruit and seeds from Amazonian inundated forest in feeding trials with *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Pisces, Characidae). *Journal of applied ichthyology*, vol.10, p 134-140. 1994

SMITH, R. Metabolizable energy of feedstuffs for Trout. *Feedstuffs*. p 16-21. 1976.

TERRAZAS, M., CIVERA, R., IBARRA, L. & GOYTORTUA, E. Coeficientes de utilización digestiva aparente de materia seca, proteína y aminoácidos esenciales de ingredientes terrestres para el camarón del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae). *Revista de Biología Tropical*, vol. 58 N° 4. 2010.

VÁSQUEZ, T. W., YOSSA M. I. Y., HERNANDEZ, G., & GUTIERREZ, M.C. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis* sp.). *Revista Colomb. Cienc. Pecu*, p 207-216. 2010

VÁSQUEZ, W. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. p. 66. 2004. [En línea] Disponible en: <http://www.iall-unillanos.com/wp-content/uploads/2014/03/Libro-nutric-WVT1.pdf>

VÁSQUEZ, W., PEREIRA, M. & ARIAS, J. Estudos para Composição de uma Dieta Referência Semipurificada para Avaliação de Exigências Nutricionais em Juvenis de Pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol 31 N° 1, pp.283–292. 2002.

VIDOTTI, R., CARNEIRO, D & MACEDO, E. Growth rate of Pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fingerlings fed diets containing co-dried fish silage as replacement of fish meal. *J. Appl. Aquac*, vol 12, p 77. 2002.

VIDOTTI, R., MACEDO, E. & CARNEIRO, D. Aminoacid composition of processed fish silage using different raw materials. *Science Direct. Animal Feed Science and Technology*, vol 105 N° 1-4, p 199 – 204. 2004.

VIELMA, J & S.P. LALL. Dietary formic acid enhances apparent digestibility of minerals in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture nutrition*, vol 3, p 65-71. 1997

VILLARREAL, D., RICQUE, D., PEÑA, A., NIETO, M., TAPIA, M., LEMME, A., GAMBOA, J. & CRUZ, L. Digestibilidad aparente de materia seca, proteína cruda y

aminoácidos de seis subproductos de rastro en juveniles de *Litopenaeus vannamei*. *Ciencias marinas*, 40(3), 163-172. (2014).

WILLIAMS, C., DAVID, D & LISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. *The Journal of Agricultural*, vol. 59 N° 3, p 381 - 385. 1962.

ANEXOS

Anexo A. Registro de biometría.

Tesis:														
Registro de biometría de peces parámetros productivos														
# peces iniciales:							Especie:							
Fecha de biometría:							Peso promedio inicial:							
Estudio:							Edad peces							
Trata mien tos														
#	pes o pez (g)	tall a (c m)	pes o pez (g)	tall a (c m)	peso pez (g)	tall a (c m)	pes o pez (g)	tall a (c m)	pes o pez (g)	tall a (c m)	pes o pez (g)	tall a (c m)	pes o pez (g)	tall a (c m)
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														

Anexo D. Registro de recolección de heces.

Tesis:									
Registro de recolección de heces									
# peces iniciales:					Especie:				
Fecha de inicio:					Peso promedio inicial:				
Edad peces:					Estudio:				
Fecha	Jornada								

Anexo E. Protocolo para la medición de oxígeno disuelto (OD); (Test: 0 – 82).

1. Abrir un tubo de ensayo y lavarlo con el agua que se va a analizar (purgarlo)
2. Llenarlo suavemente sin que se produzca burbujas (inclinándolo), llenando hasta el borde del mismo.
3. Adicionar 2 gotas de R1 seguido de 2 gotas de R2
4. Luego se tapa y se agita
5. Después de agitar se espera 2 minutos para que se fije la muestra.
6. Adicionar 5 gotas de R3 (se observa un color naranja y se forma unos flóculos que se precipitan).
7. Se agita hasta que se desaparezca el precipitado.
8. El tubo de ensayo se seca por fuera con una toalla.
9. Por último, se mide y anota el resultado.

Anexo F. Protocolo para la medición de demanda química de oxígeno (DQO), Met: 26 (Test:0-26).

1. Abrir el tubo de ensayo.
2. Medir en una pipeta 2 ml de muestra y verterlos suavemente en el tubo de ensayo.
3. Se tapa, se marca y se guarda hasta llegar al laboratorio.
4. Una vez en el laboratorio se incuba por 2 horas a una temperatura de 148°C.
5. Se retira el tubo y se deja reposar por 10 minutos.
6. Luego se agita y se deja enfriar a temperatura ambiente para realizar la medición.
7. Se realiza la medición y se toma el dato.

Anexo G. Protocolo para la medición de alcalinidad de carbonatos (CaCO_3), Met: 151 (Test: 0-15).

1. Abrir el tubo de ensayo.
2. Medir en una pipeta 4 ml de muestra y verterlos suavemente en el tubo de ensayo.
3. Cerrar el tubo de ensayo y agitar.
4. Posteriormente se adiciona una pastilla de R2.
5. Agitar hasta diluir, secar y limpiar el tubo de ensayo.
6. Dejar fijar durante 2 minutos la muestra.
7. Realizar la medición y tomar el resultado.

Anexo H. Protocolo para la medición de pH, Met: 72 (Test: 72).

1. Se llenan 2 tubos de ensayo con 10 ml de agua, se toma uno como blanco y el otro como muestra.
2. Agregar una pastilla de R1 a la muestra.
3. Agitar hasta que se disuelva.
4. Se seca y se espera 3 minutos.
5. Se realiza la medición y se toman los datos.

Anexo I. Protocolo para la medición de demanda biológica de oxígeno (DBO5), Met: 822.

1. Se toman 500ml de muestra de la represa procurando que no se generen burbujas.
2. Se verifica que el pH este entre 6 - 8.
3. Refrigerar la muestra entre 0 - 4 °C.
4. Dejar la muestra hasta que se coloque a temperatura ambiente.
5. Llenar el tubo de ensayo sin que se formen burbujas y se llena un blanco.
6. Se incuba la muestra a 20 °C más o menos 1°C por 5 días.
7. Después de 5 días se añaden 2 gotas de R1 y 2 gotas de R2.
8. Tapar el tubo sin que se generen burbujas de aire y se mezcla el contenido.
9. Dejar reposar por 2 minutos la muestra y se le adicionan 5 gotas de R3.
10. Luego se limpia, se seca, se realiza la medición y se toma el dato.