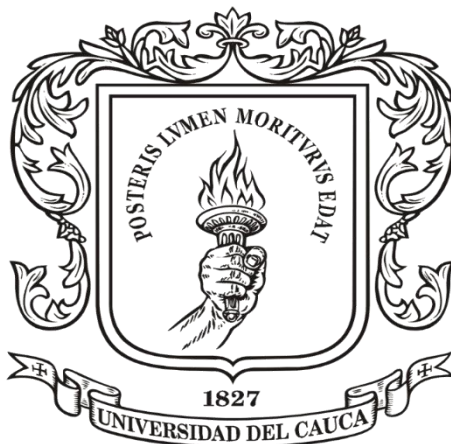


**EFFECTO NUTRICIONAL DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE  
POLLO EN LA ALIMENTACIÓN DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis* spp)**



**OSCAR EDUARDO VEGA MUÑOZ  
JHON JAIRO MITICANOY MUCHACHASOY**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
INGENIERIA AGROPECUARIA  
POPAYÁN  
2021**

**EFFECTO NUTRICIONAL DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE  
POLLO EN LA ALIMENTACIÓN DE TILPIA ROJA (*Oreochromis spp*)**



**OSCAR EDUARDO VEGA MUÑOZ  
JHON JAIRO MITICANOY MUCHACHASOY**

**Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar por el título de  
Ingenieros agropecuarios**

**Directores:**

**Ph.D CRÍSPULO PEREA ROMÁN  
Ph.D JOSÉ LUIS HOYOS CONCHA**

**Asesores:**

**Ph.D. NELSON JOSÉ VIVAS QUILA  
MSc. YENY JUDITH GARCÉS CAICEDO**

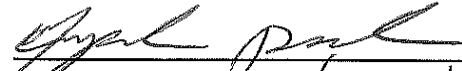
**Grupos de investigación:**

**Aprovechamiento de subproductos y residuos agroindustriales  
(ASUBAGROIN) y Nutrición Agropecuaria (NUTRIFACA)**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA  
POPAYÁN  
2021**

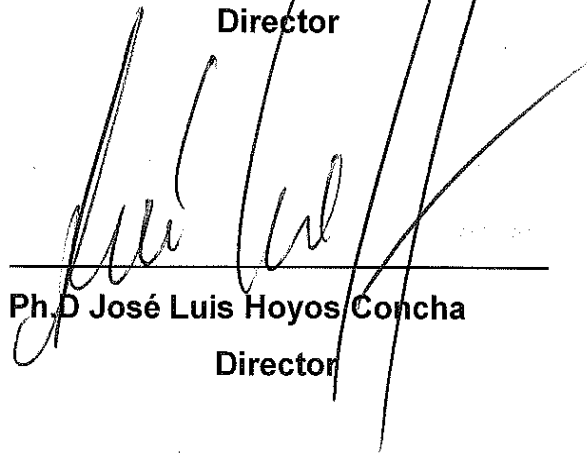
## NOTA DE ACEPTACIÓN

Los directores y jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio



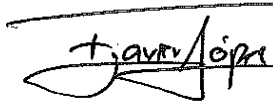
**Ph.D Crispulo Perea Román**

**Director**



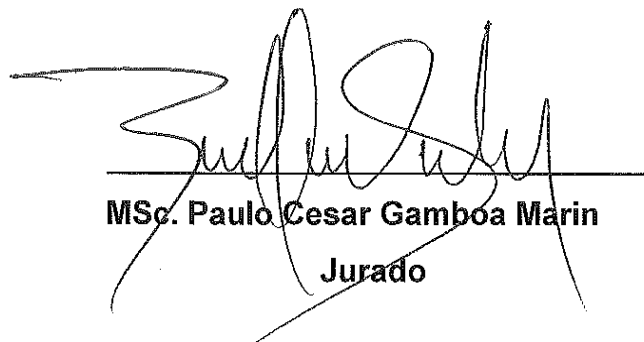
**Ph.D José Luis Hoyos Concha**

**Director**



**MSc. Freddy Javier Lopez Molina**

**Presidente de Jurado**



**MSc. Paulo Cesar Gamboa Marin**

**Jurado**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre María Carmen Muchachasoy Jacanamijoy, a mi hermana Jenny Marcela Miticanoy Muchachasoy, a mi hermano Jose Daniel Miticanoy Muchachasoy, a mi padre Jose Domingo Miticanoy Chindoy, a mis familiares y a los docentes de facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca.*

*Jhon Jairo Miticanoy Muchachasoy*

*A ese ser supremo, a esa energía omnipotente llamada Dios, el cual nos protege y nos ilumina cada día, derramando en nosotros salud, esperanza, sabiduría, inteligencia y conocimiento para culminar este trabajo.*

*A mi madre Silmar Gregoria Muñoz Barrera, a mi padre Anibal Vega, a mis hermanos Jose Manuel Vega Muñoz y Diego Alejandro Vega Muñoz por ser esas personas que siempre me apoyaron y me brindaron su respaldo para empezar, mantener y culminar este proyecto de vida*

*A mi hijo Thiago Gabriel de Vega Alvarado y a su madre Yenci Maria Alvarado Rodriguez por transmitirme su energía, brindarme su amor, paciencia, comprensión y su apoyo incondicional en el transcurso de esta memorable experiencia.*

*A la familia Muñoz Gómez por ser un pilar fundamental en el transcurso de este proceso, porque gracias a ellos de algún modo hoy puedo culminar con éxito mis estudios de pregrado.*

*Oscar Eduardo Vega Muñoz*

## AGRADECIMIENTOS

*Le agradecemos a Dios y el universo por habernos guiado y acompañado a lo largo de nuestra carrera profesional para sortear cada obstáculo que se nos presentó y, además, agradecemos por los momentos de felicidad que tuvimos durante el desarrollo de nuestra tesis.*

*A nuestros padres por habernos dado la vida, su amor y apoyo incondicional en todo momento de nuestro desarrollo profesional, y demás familiares que estuvieron con nosotros brindándonos su apoyo incondicional.*

*Agradecemos a la Universidad del Cauca, por habernos acogido y permitido formarnos como profesionales, gracias a los docentes de la facultad de Ciencias Agrarias, en especial del programa de Ingeniería Agropecuaria por sus enseñanzas y guía, que con su ayuda fue posible la culminación de nuestra carrera profesional.*

*A los PhD. Crispulo Perea Román y PhD Jose Luis Hoyos Concha quienes nos brindaron su confianza y compartieron sus conocimientos profesionales en las diferentes etapas del desarrollo de la tesis.*

*A nuestros compañeros de estudio quienes nos apoyaron en las diferentes etapas del desarrollo de tesis.*

*A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este informe de investigación.*

## RESUMEN

El consumo mundial de pescado ha aumentado en una tasa anual de 3,1%, este crecimiento es el doble del crecimiento de población mundial anual entre 1961 y 2017, y superior a los alimentos proteicos de origen animal. Además, Colombia es un país tropical que posee una de las mayores diversidades de peces del planeta y uno de los más altos índices de biodiversidad lo que permite ofrecer un amplio potencial para el desarrollo de la acuicultura (AUNAP, 2014; FAO, 2020).

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP) en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) fase de levante; el diseño utilizado fue completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones, se formuló una dieta de referencia con 0% (T1) de inclusión de HEVP y tres dietas experimentales con 10% (T2), 20% (T3) y 30% (T4) de inclusión de HEVP. Para la evaluación se emplearon 120 juveniles reversados de Tilapia roja, con peso promedio de  $69,10 \pm 5,89$  g y  $15,02 \pm 0,38$  cm de talla, instalados en jaulas metabólicas de 250 litros de volumen útil; los cuales se alimentaron hasta saciedad aparente tres veces al día, y se sometieron a colecta de heces durante 20 días por sedimentación hasta obtener la cantidad suficiente para el análisis bromatológico y de óxido crómico. Se determinó la digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), proteína cruda (DAPC), energía bruta (DAEB), extracto etéreo (DAEE), energía digestible (ED), al igual que la absorción de cenizas (ACEN), calcio (ACa) y fósforo (AP), utilizando óxido crómico ( $Cr_2O_3$ ) como marcador inerte.

El análisis de los datos se realizó a través del software SAS (Statistical Analysis System) versión 9,4 y un análisis de correlación de variables con el programa Curve Expert 2.6. Por medio de la prueba de Duncan se determinaron diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados permitieron deducir que se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para DAMS, DAPC, DAEB, DAEE, ED, ACEN, Aca y AP entre los diferentes tratamientos asignados; se encontró los mejores resultados con 10% (T2) y 20% (T3) de inclusión de HEVP para DAMS; para la DAPC el mejor comportamiento se logró con T1, T2 y T3; para la DAEB y ED el mejor tratamiento fue T1, para la DAEE fue T3; para la absorción de minerales la mejor respuesta se logró con T2, T3 y T4. Se concluye que el mejor comportamiento para los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes se presenta al incluir 20% de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en alimentación de juveniles de Tilapia roja (*Oreochromis spp*).

Palabras claves: Digestibilidad aparente, subproductos avícolas, alternativa proteica, absorción de minerales, Tilapia roja.

## ABSTRACT

Global fish consumption has increased at an annual rate of 3.1%, this growth is double the annual world population growth between 1961 and 2017, and higher than protein foods of animal origin. In addition, Colombia is a tropical country with one of the greatest fish diversities on the planet and one of the highest biodiversity indexes, which offers a wide potential for aquaculture development (AUNAP, 2014; FAO, 2020).

The present study was carried out with the objective of evaluating the nutritional effect of enzymatic hydrolyzed chicken viscera (HEVP) in the feeding of red Tilapia (*Oreochromis* spp) in the rearing phase; the design used was completely randomized with 4 treatments and 3 replicates, a reference diet was formulated with 0% (T1) inclusion of HEVP and three experimental diets with 10% (T2), 20% (T3) and 30% (T4) percentage of HEVP inclusion. For the evaluation, 120 reversed red Tilapia juveniles, with an average weight of  $69.10 \pm 5.89$  g and  $15.02 \pm 0.38$  cm in length, were placed in metabolic cages of 250 liters of usable volume; they were fed to apparent satiety three times a day and were subjected to feces collection for 20 days by sedimentation until obtaining enough for bromatological and chromic oxide analysis. The apparent digestibility of dry matter (DAMS), crude protein (DAPC), gross energy (DAEB), ethereal extract (DAEE), digestible energy (ED), as well as the absorption of ash (ACEN), calcium (ACa) and phosphorus (AP) were determined using chromic oxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) as an inert marker.

Data analysis was performed using SAS (Statistical Analysis System) version 9.4 software and a correlation analysis of variables with the Curve Expert 2.6 program. Significant differences between treatments were determined using Duncan's test. The results showed that there were significant differences ( $p < 0.05$ ) for DAMS, DAPC, DAEB, DAEE, ED, ACEN, Aca and AP among the different treatments assigned; the best results were found with 10% (T2) and 20% (T3) inclusion of HEVP for DAMS; 0% (T1), 10% (T2) and 20% (T3) for DAPC; 10% (T1) for DAEB; 20% (T3) for DAEE; 0% (T1) for ED and the treatments 10% (T2), 20% (T3) and 30% (T4) for ACEN, ACa and AP respectively. Finally, from this study it is concluded that the best performance is found with the 20% (T3) inclusion of HEVP for the apparent digestibility coefficients of the nutrients used in the feeding of juvenile red Tilapia (*Oreochromis* spp).

Key words: apparent digestibility, poultry by-product utilization, nutrients, protein alternative, chicken viscera and mineral absorption.

## CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	13
1 OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
2 MARCO REFERENCIAL .....	16
2.1 LOCALIZACIÓN .....	16
2.2 MARCO TEÓRICO .....	16
2.2.1 Estado mundial y nacional del sector piscícola.....	16
2.2.2 Descripción de la Tilapia roja ( <i>Oreochromis spp</i> ).....	17
2.2.3 Distribución y taxonomía.....	17
2.2.4 Biología de la especie.....	18
2.2.5 Fisiología digestiva de la Tilapia roja.....	19
2.2.6 Morfología externa e interna de la tilapia.....	19
2.2.7 Hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales de la tilapia.....	21
2.2.8 Alimentación.....	21
2.2.9 Parámetros fisicoquímicos del agua en producción de tilapia.....	22
2.2.10 Digestibilidad aparente <i>in vivo</i> como método de evaluación de alimentos en peces.....	23
2.2.11 Hidrolizados de subproductos de animales como alternativa para alimentación piscícola.....	23
2.2.12 Minerales en la nutrición de los peces .....	24
2.3 MARCO HISTÓRICO.....	25
2.3.1 Antecedentes .....	25
3 METODOLOGÍA.....	29
3.1 MATERIAL BIOLÓGICO.....	29
3.1.1 Juveniles de Tilapia roja ( <i>Oreochromis spp</i> ) .....	29
3.1.2 Vísceras de pollo ( <i>Gallus gallus domesticus</i> ).....	29
3.2 ELABORACIÓN DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO .....	29
3.3 CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y MICROBIOLÓGICA DEL HIDROLIZADO OBTENIDO .....	31
3.4 BALANCE Y PREPARACIÓN DE LAS DIETAS .....	31
3.5 DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD <i>IN VIVO</i> DE HIDROLIZADOS DE VÍSCERAS DE POLLO.....	33
3.6 PLAN DE MANEJO.....	34
3.6.1 Adecuación y desinfección de instalaciones y equipos .....	34
3.6.2 Selección y transporte de los peces.....	34



3.6.3	Acostumbramiento .....	35
3.6.4	Cronograma y manejo de alimentación de juveniles de la Tilapia roja 35	
3.6.5	Tratamiento profiláctico. ....	36
3.6.6	Cambio y recambio de agua. ....	36
3.6.7	Temperatura.....	37
3.6.8	Aireación .....	38
3.6.9	Recolección de heces .....	39
3.6.10	Medición de parámetros fisicoquímicos del agua .....	40
3.7	ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LAS DIETAS Y LAS HECES.....	40
3.8	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADÍSTICO .....	40
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1	PERFIL DE AMINOÁCIDOS DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES Y DEL HIDROLIZADO. ....	42
4.2	DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ABSORCIÓN DE MINERALES ..	46
4.2.1	Digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS). ....	47
4.2.2	Digestibilidad aparente de proteína cruda DAPC).....	49
4.2.3	Digestibilidad aparente de energía bruta (DAEB) y energía digestible (ED) .....	51
4.2.4	Digestibilidad aparente de extracto etéreo (DAEE) .....	53
4.2.5	Absorción de cenizas (ACEN) .....	55
4.2.6	Absorción de calcio (ACa).....	57
4.2.7	Absorción de fósforo (AP) .....	58
4.3	ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DEL EFECTO DEL NIVEL DE INCLUSIÓN DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES. ....	60
5	CONCLUSIONES .....	64
6	RECOMENDACIONES.....	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	66
7	ANEXOS.....	79

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Requerimientos nutricionales de la tilapia en fase de levante.....	21
Cuadro 2. Condiciones fisicoquímicas del agua para el desarrollo de la Tilapia. ..	22
Cuadro 3 Balance de dietas experimentales y composición química (g/Kg peso seco) .....	32
Cuadro 4. Peso promedio y desviación estándar de los pellets para cada tratamiento.....	33
Cuadro 5. Tratamientos y variables de respuesta en la evaluación del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo. ....	40
Cuadro 6. Perfil de aminoácidos y análisis proximal del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo. ....	42
Cuadro 7. Composición química de las dietas experimentales en %.....	43
Cuadro 8. Valores medios de digestibilidad de nutrientes, energía y absorción de minerales obtenidos en Tilapia roja alimentada con dieta a partir de la inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP).....	46

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Morfología externa e interna de la Tilapia.....	20
Figura 2. Elaboración del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo .....	30
Figura 3. Elaboración de dietas experimentales .....	33
Figura 4. Selección y transporte de los peces .....	35
Figura 5. Tratamiento profiláctico.....	36
Figura 6. Recambio de agua.....	37
Figura 7. Instalación de termostatos y registro de temperatura .....	38
Figura 8. Aireación primaria .....	38
Figura 9. Aireación secundaria .....	39
Figura 10. Recolección de heces.....	39
Figura 11. Diseño experimental completamente al azar .....	41
Figura 12. Digestibilidad aparente de materia seca (DAMS) .....	47
Figura 13. Digestibilidad aparente de proteína cruda (DAPC) .....	49
Figura 14. Digestibilidad aparente de energía bruta y energía digestible .....	51
Figura 15. Digestibilidad aparente del extracto etéreo (DAEE).....	54
Figura 16. Absorción de cenizas (ACEN) .....	56
Figura 17. Absorción de calcio (ACa) .....	57
Figura 18. Absorción de fósforo (AP).....	58
Figura 19. Correlación del coeficiente de digestibilidad aparente y el porcentaje de inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP).....	60

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Formato registro de alimentación de los peces .....	79
Anexo B. Formato registro de recolección de heces.....	80
Anexo C. Formato registro de temperatura del agua .....	81

## 1 INTRODUCCIÓN

Colombia es un país tropical que posee una de las mayores diversidades de peces del planeta y uno de los más altos índices de biodiversidad. El país cuenta con múltiples sistemas hidrológicos diversificados en cuerpos de agua dulce, salobres y marinos, con una gran variedad de pisos térmicos, características climáticas estables a lo largo del año, y una vasta red fluvial que recorre casi todo el territorio; lo que permite ofrecer un amplio potencial para el desarrollo de la acuicultura (AUNAP, 2014). De los 179 millones de toneladas de la producción pesquera mundial registrados en 2018, el 12% fueron empleadas para usos no alimentarios, y de esta cantidad el 82% específicamente para la elaboración de harina y aceite de pescado; las cuales siguen siendo las materias primas más utilizadas en la elaboración de piensos destinados para la alimentación de peces debido a su alta calidad nutricional (FAO, 2020).

La utilización de materias primas como harina y aceite de pescado empleadas en la elaboración de piensos para la acuicultura han mostrado una tendencia hacia la baja debido a su menor disponibilidad, esto ha generado un problema para el piscicultor que implica mayores costos de producción, por tanto, una disminución en la rentabilidad del sistema piscícola (Perea *et al.*, 2018; Soza *et al.*, 2020). Además, los residuos del faenamiento de los animales se han convertido en un problema que se ha venido agudizando por la falta de alternativas para su manejo, en muchas ocasiones no poseen una adecuada disposición final, siendo depositados en lugares aledaños a las zonas de habitación y fuentes hídricas, provocando problemas de salud pública y contaminación ambiental (David *et al.*, 2018).

La dependencia de alimentos balanceados para la alimentación piscícola tiene un alto precio, que normalmente excede el 70% de los gastos totales de producción, es por ello, que a nivel mundial se está buscando apoyar la seguridad alimentaria-nutricional, delimitando el uso de alimentos comerciales, potenciar insumos vegetales, agrícolas y pecuarios disponibles en las granjas que se puedan identificar y cualificar sus características nutricionales para posteriormente realizar dietas alternativas en la alimentación de peces (FAO, 2020).

En Colombia para el año 2020 la producción de pollo fue de 1.619.784 toneladas y en la región valle (Nariño, Cauca y Valle del Cauca) la producción fue de 289.673 toneladas (MADR, 2021), de acuerdo con Saldaña. (2011) del total del peso vivo de pollo de engorde, el 9,5% corresponden a vísceras blancas, por tanto, se estima una producción de vísceras blancas de 153.879 y 27.518,94 toneladas a nivel nacional y en la región Valle, respectivamente. Por otra parte, la producción

de trucha en el proceso de eviscerado que realiza la Asociación Productora y Comercializadora de Productos Acuícolas y Agrícolas de Silvia (APROPESCA) se producen 198,30 toneladas anuales; estos subproductos (vísceras de pollo y trucha) provenientes de plantas de sacrificio se podrían utilizar como materias primas para realizar hidrolizados proteicos de excelente calidad nutricional (Perea *et al.*, 2017). Estos ensilajes o hidrolizados enzimáticos, se han incluido en dietas experimentales en la alimentación de peces como alternativa proteica y energética a la harina de pescado, permitiendo obtener un alimento de menor costo, lo que repercute positivamente sobre la rentabilidad de la estación piscícola, salud del pez; obtención de proteínas con un elevado valor biológico y una alta digestibilidad, debido a su composición de aminoácidos más equilibrada en comparación con las proteínas vegetales, finalmente los hidrolizados proporcionan beneficios en la alimentación animal y en la disminución del impacto ambiental generada por los desechos de subproductos avícolas (Riyadi *et al.*, 2019; Gunathilaka *et al.*, 2020 Hao *et al.*, 2020; Perea *et al.*, 2021)

Debido a lo anterior, se realizó una investigación con el propósito de evaluar el efecto nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) como alternativa nutricional en fase de levante. Para ello se determinó el efecto en la digestibilidad aparente de nutrientes, energía y absorción de minerales de dietas extruidas con la inclusión de hidrolizado enzimático.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar el efecto nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) fase de levante como alternativa nutricional.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar el perfil nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo para la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) como alternativa nutricional en la fase de levante.
- Determinar el efecto en la digestibilidad aparente de nutrientes y energía de dietas extruidas con la inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) como alternativa nutricional en la fase de levante.
- Evaluar el efecto en la absorción de minerales en Tilapia roja (*Oreochromis spp*) fase de levante, alimentada a partir de dietas extruidas con inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo para destacar su calidad como alternativa nutricional.

## **2 MARCO REFERENCIAL**

### **2.1 LOCALIZACIÓN**

El ensayo se desarrolló en el laboratorio de Biotecnología y caseta de bioensayos de La Facultad de Ciencias Agrarias, dependencia de la Universidad del Cauca, el cual se encuentra ubicado en la vereda las Guacas del municipio de Popayán. Su localización geográfica es 02°45'08,91'' Latitud Norte y 76°55'10,86'' Longitud Oeste; a una altura sobre el nivel del mar de 1737 m, temperatura de 19°C y una precipitación anual de 1800 mm.

### **2.2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.2.1 Estado mundial y nacional del sector piscícola.**

La producción acuícola mundial alcanzó otro récord histórico de 114.5 millones de toneladas en 2018, con un valor total de venta en granjas de USD 263.6 mil millones. Del total de la producción acuícola, 82,1 millones de toneladas concernieron animales acuáticos (peces), 32,4 millones de toneladas a algas y 26.000 toneladas a conchas y perlas ornamentales (FAO, 2020).

En 2018, la acuicultura continental produjo 51,3 millones de toneladas de animales acuáticos, lo que representa el 62,5% de la producción mundial de peces. Esto se refiere a la acuicultura producida a partir de fuentes de aguas naturales continentales, como ríos, lagos y granjas piscícolas (FAO, 2020).

En la última década, se ha presentado un volumen creciente en la producción de harina y aceite de pescado procede de subproductos pesqueros (pesca de captura y acuicultura). Según cálculos realizados, alrededor de 6 millones de toneladas de recortes y desechos de pescado comestible se utilizan actualmente para la producción de harina y aceite de pescado. De acuerdo con estimaciones recientes realizadas por la Organización Internacional de la Harina y el Aceite de Pescado, aproximadamente el 25% de la producción de harina de pescado (1,23 millones de toneladas en 2008) procede de subproductos pesqueros. La producción mundial de la pesca para molturación (productos de la pesca de captura marina transformados en harina de pescado) ha oscilado entre los 18 millones y los 30 millones de toneladas durante los últimos 33 años (1976 a 2009). Tras alcanzar los 18,2 millones de toneladas en 1976, la producción de pesca para molturación aumentó progresivamente hasta los 30,2 millones de toneladas en 1994 y desde entonces ha ido disminuyendo de forma constante (FAO, 2018).



En Colombia, la producción acuícola alcanzó en el año 2019, un total de 171.026 toneladas de carne, 165.444 toneladas corresponden a pescado y 5.582 toneladas a camarón. En 2019 el Huila fue el principal productor piscícola con el 37% de la producción nacional, seguida por Meta con el 11%, Tolima 10%, Cundinamarca – Boyacá 6%, Antioquia 4%, Córdoba 3%, Valle del Cauca 3% y Cauca con un 1,6%. Estos departamentos suman el 82% del total de la producción nacional. Dentro de las especies más producidas durante el año 2019, la tilapia representa el 58%, Cachama 19%, trucha 16% y 7% concerniente a otras especies. El aporte de la pesca y la acuicultura en el producto interno bruto es del 0,19%; y 2,88% dentro del PIB del sector agropecuario. Adicionalmente, en Colombia para el año 2018 se registró un consumo *per cápita* de productos acuícolas promedio de 6,86 kg y para el 2020 esta cifra aumento a 8,8 kg, evidenciando un mercado nacional en auge con buenas expectativas hacia el futuro (MADR, 2020).

### **2.2.2 Descripción de la Tilapia roja (*Oreochromis* spp).**

El nombre “Tilapia” fue empleado por primera vez en 1840; es un vocablo africano que significa pez, derivado de la palabra “thlapi” en idioma “swahili”, una población indígena que habita en la costa del lago Ngami en África. La tilapia pertenece a la familia de los Cíclidos. Estos peces, han despertado gran interés en la acuicultura mundial, siendo producidos actualmente en más de 120 países. El cruce selectivo permitió la obtención de un pez cuya coloración fenotípica puede ir desde el rojo cereza hasta el albino, pasando por el animal con manchas negras o completamente negro. El desarrollo de este híbrido permitió obtener muchas ventajas sobre otras especies, como alto porcentaje de masa muscular, filete grande, ausencia de espinas intramusculares, crecimiento rápido, resistencia a enfermedades, excelente textura y coloración de carne con muy buena aceptación en el mercado. Entre las cualidades para su producción se encuentra su rápido crecimiento, fácil reproducción y manejo, así como la capacidad de resistir condiciones ambientales adversas, bajas concentraciones de oxígeno y elevadas densidades de producción. Alcanzan una talla comercial (600-900 gramos) en 6 a 9 meses, logrando desarrollarse tanto en agua dulce como en agua salada. Desde el punto de vista nutricional se considera que su nivel de proteína es más elevado que el presentado por las carnes rojas (Castillo, 2012; El-Sayed, 2019).

### **2.2.3 Distribución y taxonomía.**

La Tilapia roja, *Oreochromis* spp, taxonómicamente no responde a un nombre científico, ya que es el producto del cruce de cuatro especies (*O. aureus*, *O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. urolepis*) de tilapias: tres de ellas de origen africano y una cuarta Israelita. Las Tilapias son peces endémicos originarios de África y el Cercano Oriente (Jordán e Israel), en donde se inicia la investigación a comienzos del siglo XIX, aprovechando sus características y adaptabilidad se consideraron ideales para la piscicultura rural, especialmente en el Congo Belga (actualmente Zaire); a partir de 1924 se intensifica su cultivo en Kenia, sin

embargo fue en el Extremo Oriente, en Malasia en donde se obtuvieron los mejores resultados y se iniciara su progresivo cultivo en el ámbito mundial. Estos peces han sido introducidos en forma acelerada hacia otros países tropicales y subtropicales en todo el mundo, cultivándose en 85 países y el 98% de toda la producción se realiza fuera del ambiente normal de las tilapias, recibiendo el sobrenombre de las “gallinas acuáticas”, ante la "aparente facilidad de su cultivo". De 1950 a 1970, se distribuyó prácticamente en todos los países de América latina (Castillo, 2012; El-Sayed, 2019)

De acuerdo con Trewavas (1983), la tilapia se clasifica del siguiente modo:

<b>Phylum</b>	Chordata
<b>Subphylum</b>	Craneata
<b>Superclase</b>	Gnathostomata
<b>Serie</b>	Pisces
<b>Clase</b>	Actinopterygii
<b>Orden</b>	Perciformes
<b>Suborden</b>	Percoidei
<b>Familia</b>	Cichlidae
<b>Género</b>	1) <i>Tilapia</i>
Especie	a) <i>rendalli</i>
	b) <i>zillii</i>
<b>Género</b>	2) <i>Oreochromis</i>
Especie	a) <i>aureus</i>
	b) <i>niloticus</i>
	c) <i>mossambicus</i>
	d) <i>urolepis hornorum</i>

#### 2.2.4 Biología de la especie.

La tilapia posee dimorfismo sexual, es decir, los espermatozoides se desarrollan en individuos masculinos y los óvulos en individuos femeninos. La hembra alcanza su madurez sexual a partir de los 2 a 3 meses de edad, con una longitud de 8 a 16 cm. Poseen fecundación externa. En condiciones naturales el macho construye un nido en el fondo del estanque, luego la hembra entra al nido y deposita los huevos que son fertilizados por el macho. Una vez fertilizados los huevos son colectados por la hembra quien los incuba en su boca por unos 4-7 días hasta que eclosionan. Se han encontrado hasta 1 800 huevecillos en peces de 12 cm y hasta 6.000 huevecillos en peces de 25 cm. La frecuencia del desove varía considerablemente dependiendo de los factores ambientales, pudiendo ser desde 6 a 16 veces al año. Las larvas jóvenes (con saco vitelino) permanecen con su madre por un periodo adicional de 5 a 7 días. Las hembras no se alimentan

durante los periodos de incubación y cuidado de las larvas. Los machos empiezan su edad reproductiva con una edad aproximada de 5 a 6 meses. El rango de peso de los adultos es de 1000 a 3000 gramos; la vida útil de los reproductores es de dos a tres años; durante la reproducción la proporción reproductores es de 1,5 a 2 machos por cada 3 hembras, con una densidad de 3 reproductores por metro cuadrado. El tiempo de producción de la tilapia bajo buenas condiciones es de 6 a 9 meses alcanzando una talla comercial de 600 a 900 g, pudiendo ser criados tanto en agua dulce como salada, y en climas que van de los 20 a los 30°C, resaltando que la temperatura ideal para su producción se encuentra entre los 25 a 30°C (Castillo, 2012; El-Sayed, 2019).

### **2.2.5 Fisiología digestiva de la Tilapia roja.**

La tilapia es un pez clasificado ecológicamente como omnívoro, consume algas y otros organismos en la columna del agua. El alimento obtenido es de alto valor biológico, los peces lo filtran por medio de sus branquioespinas, donde se mezcla con una capa de moco producida en la cavidad bucal y luego lo degluten. Las tilapias poseen dientes en la boca y en la faringe, éstos últimos son muy fuertes y les permite mayor trituración del alimento, factor que les ayuda a su digestión; el esófago, es solo una estructura de paso hacia el estómago; el estómago es muy ácido, y le sirve para digerir los alimentos; en el intestino se lleva a cabo la digestión y absorción de los nutrientes; el hepatopáncreas es el órgano del proceso de los alimentos, cuenta con la vesícula biliar, la cual vierte la bilis al intestino y ayuda a la digestión de las grasas, vierte también al intestino sustancias que digiere los azúcares. El intestino es 7 veces más largo que la longitud total del cuerpo de pez. Se estima que el tiempo de pasaje del alimento por el tracto digestivo de la tilapia esta entre 4 a 8 horas, o puede tardar más tiempo dependiendo del tipo de alimento (Uscanga *et al.*, 2011; Escaso *et al.*, 2010).

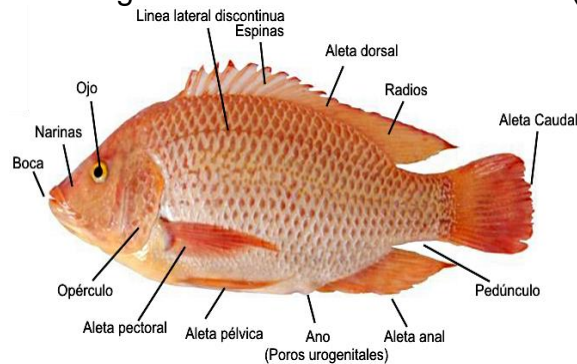
### **2.2.6 Morfología externa e interna de la tilapia.**

Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua (Castillo, 2012; El-Sayed, 2019).

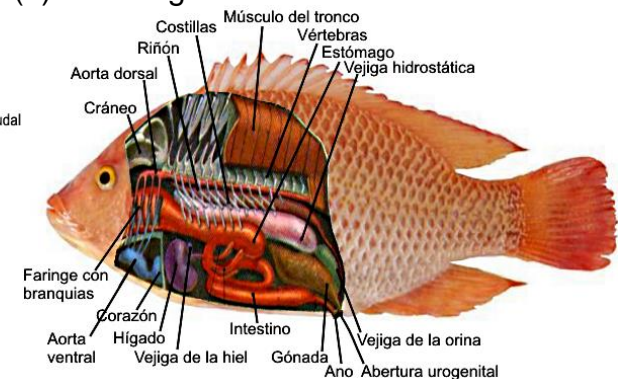
El sistema digestivo en la tilapia, como en la mayoría de los peces, presenta una boca seguida de un esófago, estómago, intestino y ano. La boca es protráctil, ancha, con los labios anchos y gruesos, dientes tipo cónico y algunas veces incisivos. El intestino en las especies herbívoras puede llegar a ser siete veces más largo que la longitud total del cuerpo. Presenta dos glándulas; una de ellas es el hígado, que es un órgano de tamaño grande y de forma alargada. La otra glándula digestiva es el páncreas, que tiene forma de pequeños trocitos y fragmentos redondos, no se ve a simple vista. Sujeta a la parte superior del hígado, se encuentra la vesícula biliar que se comunica con el intestino con un pequeño y diminuto tubo o conducto biliar por el que se vierte un líquido verdoso llamado bilis. El sistema circulatorio, consta de un corazón, que es un órgano de forma de generalmente redonda, bilobulado compuesto por tejidos musculares y que se encuentra en la base de la garganta. El corazón se caracteriza por presentar una aurícula y un ventrículo, por donde circula la sangre venosa. Su respiración se realiza mediante branquias, que se encuentran en la cavidad formada por el opérculo a cada lado de la cabeza. Las branquias presentan forma de abanico y cuentan con otras pequeñas estructuras, llamadas lamillas branquiales. Las tilapias poseen una vejiga hidrostática, que se encuentra pegada por debajo de la columna vertebral, tiene forma largada y globosa y le sirve para equilibrar la flotabilidad. El riñón, es un filtro de forma ovoide que presenta un solo glomérulo; la sangre fluye a través de este donde es filtrada, y luego los productos de excreción llegan a la vejiga a través de los uréteres, para ser secretadas posteriormente el exterior. El sistema reproductor está constituido por un par de gónadas. En las hembras los ovarios son de forma alargada y tubular de diámetro variable. En los machos los testículos también son pares y están situados en la parte superior por encima del hígado y por debajo de la vejiga natatoria, en forma de pequeños sacos alargados (Castillo, 2012; El-Sayed, 2019). En la figura 1, se ilustra la morfología externa e interna de la tilapia.

**Figura 1.** Morfología externa e interna de la Tilapia

**Morfología externa**



**(b) Morfología interna**



Fuente: Adaptado de Sagarpa, 2012

### 2.2.7 Hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales de la tilapia.

Para su producción se emplean diversos alimentos, como plantas, desperdicios de frutas, verduras y vegetales, subproductos animales, semillas oleaginosas y cereales, todos ellos empleados en forma suplementaria. La base de la alimentación de la tilapia la constituyen los alimentos naturales que se desarrollan en el agua y cuyo contenido proteico puede alcanzar el 55% (peso seco) aproximadamente (FAO, 2018). En el cuadro 1, se presentan los requerimientos nutricionales de la tilapia para la fase de levante.

**cuadro 1.** Requerimientos nutricionales de la tilapia en fase de levante.

Nutriente	Peso de la Tilapia en g
	20 - 200
Energía bruta Kcal/Kg	2800
Proteína Cruda (%peso)	27
Lípido crudo (%peso)	5
Fibra cruda (%peso)	6
Calcio (%peso)	2,5
Calcio / fósforo (Proporción)	1 - 1,5
NaCl (%peso)	2,5
Lisina (%peso)	1,3
Metionina (%peso)	0,7

Fuente: Ng & Romano, 2013.

### 2.2.8 Alimentación

En el proceso de producción de Tilapia, la alimentación representa el mayor porcentaje de los costos. Este rubro constituye aproximadamente el 60% del total del costo de producción, de acuerdo con el tipo sistema de engorde utilizado. Las experiencias realizadas, han demostrado que, para lograr buenos resultados de crecimiento durante el período de producción, se hace necesario contar, no solo con un alimento balanceado que cumpla con los requerimientos nutricionales de la especie; sino que, además, debe considerarse la cantidad y la forma en que el mismo es ofrecido a los animales durante su fase de engorde, a fin de regular su uso y maximizar las ganancias (Wicki *et al.*, 2020).

Para la alimentación de tilapia se utilizan alimentos formulados de alta calidad para lograr mayores rendimientos y peces de gran tamaño en un periodo corto de tiempo. Los alimentos comerciales para tilapia consisten generalmente en peletizados secos sumergibles y peletizados extruidos flotantes. Muchos de los ingredientes de los alimentos peletizados absorben agua, lo que causa una pérdida de estabilidad al entrar en contacto con el agua. Por ejemplo, el uso de salvado de trigo y de arroz reduce notablemente la estabilidad del alimento en el agua, mientras que los subproductos de cereales actúan como ligantes (especialmente cuando ocurre la gelatinización). La mayoría de los subproductos de semillas oleaginosas brindan una buena estabilidad en el agua mientras que los subproductos animales suelen ser malos ligantes (FAO, 2020).

El alimento para peces debe contener varios componentes como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, niacina y fósforo. El principal problema al formular alimentos es satisfacer los requerimientos de proteína y aminoácidos esenciales (AAE) de la especie. La fuente de proteínas preferida es la harina de pescado debido a la alta calidad de su proteína y su perfil de AAE. Sin embargo, la harina de pescado suele ser cara y no siempre está disponible. La tilapia puede ser alimentada con un alto porcentaje de proteínas vegetales. Es económicamente sensato reemplazar la harina de pescado con fuentes alternas de proteínas, incluyendo subproductos animales, harinas de oleaginosas, subproductos de legumbres y cereales, y plantas acuáticas (FAO, 2020).

### 2.2.9 Parámetros fisicoquímicos del agua en producción de tilapia.

Son las propiedades o características que determinan la calidad del agua, determinado las condiciones óptimas del desarrollo para cada especie. A continuación, en el cuadro 2, se presentan las características que debe tener el agua para una producción adecuada de tilapia en sistemas intensivos.

**Cuadro 2.** Condiciones fisicoquímicas del agua para el desarrollo de la Tilapia.

Parámetros	Castillo	FEDEACUA
Temperatura	28 – 32 °C	20 – 32 °C
Oxígeno disuelto	3 – 9 mg/L	5 – 9 mg/L
pH	6,5 – 9	6 - 9
Alcalinidad Total		50 – 150 mg/L
Dureza Total	50 – 350 mg/L	80 – 110 ml/L
Calcio		60 – 120 mg/L
Nitritos	< 0,1 mg/L	0,1 mg/L
Nitratos		1,5 – 2 mg/L
Amonio Total	0,01 – 0,1 mg/L	0,1 mg/L

Hierro	< 0,1 mg/L	0,05 – 0,2 mg/L
Fosfatos	0,6 – 1,5 mg/L	0,15 – 0,2 mg/L
Dióxido de carbono	5,0 – 10 mg/L	5- 10 mg/L
Sulfuro de hidrógeno	< 0,1 mg/L	0,01 mg/L

Fuente: Castillo, 2012; FEDEACUA, 2018

### **2.2.10 Digestibilidad aparente *in vivo* como método de evaluación de alimentos en peces.**

La digestibilidad aparente de un componente varía dependiendo de su procedencia vegetal o animal, procesamiento, interacción con los demás ingredientes, métodos de análisis, factores ambientales y especie íctica a la que se le suministra, donde, no se tienen en cuenta las partículas provenientes de enzimas, células epiteliales y microbiales. En peces el método más utilizado para determinar el coeficiente de digestibilidad aparente de las dietas es recolectando las heces para su análisis, que puede ser por método directo (*in vivo*) o por extracción directa de la materia fecal por stripping. Las sustancias más utilizadas como indicadores inertes son el óxido de cromo III (C<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), estos no deben ser asimilados, ni tener efecto en la digestión o causar efectos fisiológicos secundarios, ser fácilmente medible y excretado (Hahn-von *et al.*, 2016). La digestibilidad de un alimento es un criterio importante, ya que mide directamente la proporción de nutrientes disponibles para su absorción. Un alimento de baja digestibilidad contiene una elevada proporción de ingredientes que no pueden ser digeridos por las enzimas del tracto intestinal (Uscanga *et al.*, 2011).

La digestibilidad aparente y real sólo puede medirse mediante pruebas alimentarias controladas. A partir de estas pruebas se obtienen coeficientes de digestibilidad para las sustancia seca, proteína bruta, grasa bruta y extracto libre de nitrógeno, que es una medida de la fracción de carbohidratos de un alimento (Uscanga *et al.*, 2011).

### **2.2.11 Hidrolizados de subproductos de animales como alternativa para alimentación piscícola**

Las proteínas son uno de los principales componentes del organismo al igual que el agua, grasa y minerales. El componente básico de la proteína es el aminoácido; existe una gran variedad de aminoácidos entre esenciales y no esenciales que se combinan para servir como fuente de materias para formar estructuras orgánicas o estructuras funcionales y reguladoras fundamentales en el desarrollo de la vida (Angulo *et al.*, 2011). En la producción de hidrolizados proteicos se genera la ruptura de los enlaces peptídicos contenidos en las proteínas, que puede realizarse mediante hidrólisis química (ácida o básica) o enzimática. La hidrólisis proteolítica no se desarrolla en una sola reacción. Se trata de un conjunto de

reacciones simultáneas de ruptura de enlaces peptídicos. Primero, la formación de un complejo enzima-sustrato (proteína), y después la rotura del enlace amídico dando como resultado la liberación de un péptido. Finalmente, el péptido restante se separa de la enzima después de un ataque nucleofílico de una molécula de agua (Benítez *et al.*, 2008; Hleap & Gutiérrez, 2017).

Técnicamente, es factible generar hidrolizados de coproductos de origen animal (Animal Co-Product Hydrolysates o ACPH) a partir de la mayoría de los desechos de mataderos, como sobras de carne, vísceras, plumas y sangre, así como de los subproductos procesados de origen animal como la harina de carne, de hueso, de plumas y de sangre (Nates, 2013).

### **2.2.12 Minerales en la nutrición de los peces**

Los minerales realizan diversas funciones dentro del organismo de los peces, formación de huesos y dientes, metabolismo energético, componentes de los fosfolípidos en las membranas celulares, cofactores enzimáticos en diversos procesos metabólicos, componentes de la hemoglobina, transferencia de electrones, equilibrio osmótico y balance ácido-base de la sangre, transmisión de impulsos nerviosos, componentes de las hormonas tiroideas, componentes de las sales biliares, etc. (Roberts, 1994; Velasco & Gutiérrez, 2019). Por otra parte, los minerales exigidos por los peces pueden ser divididos en dos grandes grupos: los macrominerales necesarios en mayores cantidades como calcio, fósforo, magnesio, potasio, cloro y sodio, y los microminerales, exigidos en pequeñas cantidades como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre, yodo y selenio. Estos minerales requeridos por el pez son absorbidos directamente del agua a través de las branquias y superficie corporal (Sanz, 2009; Gutiérrez, Velasco, & León, 2019). Sin embargo, los niveles de minerales y oligoelementos pueden estar afectados por factores biológicos como especie, etapa de vida, sexo, nivel trófico, hábitos de alimentación y estado nutricional del pez; factores dietéticos como la composición de la dieta, la disponibilidad y las interacciones de los nutrientes; y factores ambientales como la concentración de minerales en el agua, la salinidad y la temperatura del sistema de cría. (Prabhu P, Schrama y Kaushik 2016)

El calcio (Ca) participa directamente en el desarrollo y mantenimiento del sistema esquelético y participa en varios procesos fisiológicos en los peces. En teleósteos, aproximadamente el 99% de la fracción de Ca de todo el cuerpo se incorpora a huesos y escamas. Además de sus funciones estructurales en los peces, el Ca juega un papel importante en la contracción muscular, la formación de coágulos sanguíneos, la transmisión de impulsos nerviosos, el mantenimiento de la integridad celular y el equilibrio ácido-base y la activación de varias enzimas importantes (NRC 1993; Gutiérrez, Velasco, & León, 2019). La captación de Ca ocurre a través de branquias, aletas, tracto gastrointestinal y epitelio oral, sin



embargo, las branquias se consideran el sitio más importante para la regulación del Ca (Hanssen *et al.* 1991; Flik *et al.* 1995; Hossain y Yoshimatsu 2014).

El fósforo es uno de los minerales más importantes para los peces, es esencial para el crecimiento normal y la mineralización ósea, y juega un papel importante en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y aminoácidos, así como en varios procesos metabólicos que involucran la amortiguación en los fluidos corporales. Como otros animales acuáticos, los peces tienen la capacidad de absorber fósforo del agua. Sin embargo, los peces deben obtener la mayor parte del fósforo de la dieta debido a la baja concentración de fósforo en el agua natural y la baja tasa de absorción de fósforo del agua (Yao *et al.*, 2014).

## **2.3 MARCO HISTÓRICO**

### **2.3.1 Antecedentes**

A continuación, se describen algunos estudios en el ámbito nacional e internacional relacionados con el aprovechamiento de residuos de origen animal como alternativa en la alimentación piscícola.

En Popayán, Colombia; se evaluó la utilización de ensilaje químico de vísceras de trucha (EQVT), en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*), con el fin de valorar económicamente la implementación de dicha materia prima; para lo cual, se prepararon cuatro dietas balanceadas con niveles de inclusión del 0%, 10%, 20% y 30% de EQVT suministradas a 128 juveniles de Tilapia roja con un peso promedio de  $142,14 \pm 4,74$  g; se evaluaron los índices de conversión, rentabilidad económica y un análisis de presupuestos parciales. Se concluyó que el 20% de inclusión de EQVT se logra mayor retribución económica asociada al costo de la alimentación por kilogramo de carne de pescado producido (Perea *et al.*, 2018).

En Cuba, se realizó la evaluación de una dieta seca con ensilado de subproductos cárnicos de cerdos como alternativa a los concentrados comerciales, para la producción intensiva de *Clarias gariepinus*. Se realizaron dos tratamientos: T1, 25% inclusión subproductos de cerdo y T2 concentrado comercial. Los resultados indican que hubo mejores rendimientos con el concentrado comercial debido a su alta calidad nutricional y tecnológica. El costo de la ración experimental fue US \$ 0,925/kg, respecto al concentrado comercial (control) US \$ 2,45/kg. Se evidenció la potencialidad de los ensilados de subproductos cárnicos como sustituto parcial de harina de pescado en raciones secas con altos niveles de proteínas para las producciones intensivas de bagres africanos (Llanes *et al.*, 2015).

En Brasil, se evaluó la inclusión dietética de un hidrolizado de proteína de pescado (FPH) derivado de recortes de tilapia, sobre parámetros fisiológicos y de crecimiento de juveniles de *Arapaima gigas*. Se utilizaron un total de 180 juveniles de arapaima. Los peces fueron alimentados hasta una aparente saciedad cuatro veces al día durante ocho semanas, con dietas que contenían niveles crecientes de inclusión de FPH (0, 4, 8, 12, 16 y 20%). Las dietas FPH no afectaron el crecimiento ni los parámetros hemato-bioquímicos de los juveniles de arapaima. El FPH de los subproductos de tilapia puede ser un ingrediente adecuado hasta un 20% nivel de inclusión en piensos para alimentación de *Arapaima gigas* con más de 90 gramos (Da Silva *et al.*, 2017).

En Nariño, Colombia; se evaluó la digestibilidad de diferentes componentes nutricionales y energéticos de dietas artificiales que contienen harina de ensilaje de pescado utilizadas en alevines de Arawana (*Osteoglossum bicirrhossum*). Se manipularon 240 alevines bajo diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos del 0%, 10%, 20% y 30% niveles de inclusión de extracto seco hidrolizado (ESH). Se encontró que el T1 (10% ESH) fue el mejor tratamiento de acuerdo con los coeficientes de digestibilidad, aumento de longitud y relación costo-beneficio utilizado para la alimentación de Arawana, demostrando las ventajas económicas y ecológicas para el aprovechamiento de esta fuente de proteína en acuicultura (Paz *et al.*, 2016).

En Honduras, se realizó la evaluación de la proteína hidrolizada extraída del tejido de corvina y tilapia, para conocer el efecto sobre el desempeño productivo del camarón. Se manejaron tres tratamientos; T1, alimento balanceado + extracto hidrolizado de corvina (*Cynoscion* spp); T2, alimento balanceado + hidrolizado de tilapia y T3, alimento balanceado. La mayor atractabilidad al igual que crecimiento, factor de conversión alimenticia y tasa específica de crecimiento fueron más favorables en los camarones alimentados con el tratamiento dos. Las mejores supervivencias se observaron en los camarones que consumieron los tratamientos 1 y 2 (Osiris *et al.*, 2018).

En Putumayo, Colombia; se propuso determinar el coeficiente de digestibilidad de la harina de hidrolizado de vísceras de Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*), utilizado como fuente proteica animal, en la alimentación de alevinos de la misma especie, durante la etapa de alevinaje. Se evaluaron niveles de inclusión del 0%, 10%, 20% y 30% de ensilaje de pescado en 320 animales de  $6 \pm 1,15$  g en acuarios de digestibilidad bajo un diseño completamente al azar. El estudio concluye que el T1 con 10 % de inclusión de ensilaje de pescado, es el mejor en términos estadísticos con valores de digestibilidad del 90% para proteína, 90% extracto etéreo, 85% extracto no nitrogenado y 80% coeficiente de utilización energética para el crecimiento de cachama blanca (López *et al.*, 2015).

En México, se utilizó los subproductos del fileteo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) para la elaboración de ensilado fermentado y llevar a cabo su caracterización parcial, así como su uso potencial como ingrediente mediante la inclusión en alimento para el cultivo del bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). Se elaboró ensilado fermentado (EF) homogenizando subproductos frescos (SPF) de 30 individuos de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con 10% de yogurt natural comercial y 15% de melaza. Se evaluó pH y acidez del EF, análisis proximal, perfiles de aminoácidos y ácidos grasos del SPF y EF, efecto del ensilaje en proteínas sarcoplásmicas y desempeño biológico de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) alimentado con 5 niveles de EF sustituyendo harina de pescado en dietas isolipídicas. Los resultados mostraron la factibilidad de sustituir hasta 5% de harina de pescado por ensilado fermentado de subproductos de tilapia como ingrediente proteico, sin afectar el crecimiento y supervivencia de bagre de canal (Bringas *et al.*, 2018).

En Brasil, se llevó a cabo un estudio que tenía como objetivo determinar la palatabilidad de las dietas que contienen hidrolizados de proteínas de aves de corral y porcinos para la tilapia del Nilo. Se realizaron cinco dietas experimentales con un nivel de inclusión del 5% de: harina de pescado (FPE), hidrolizado de proteína aviar (PHF), hidrolizado líquido porcino (PHS), hidrolizado de proteína de pluma (PHP) e hidrolizado de mucosa porcina (PHM). Se alimentaron cinco juveniles ( $2,81 \pm 0,17$  g) distribuidos individualmente en cinco acuarios de 10 L. Se observaron los siguientes comportamientos de alimentación: tiempo para capturar el primer pellet, número de rechazos del pellet, número de aproximaciones sin capturar el pellet y número de pellets consumidos. El estudio encontró que ningún parámetro observado presentó diferencias significativas. Los mejores índices de palatabilidad se encontraron en PHF con 12,27%, seguido de 9,33% PHM, 8,77% PHF y 7,74% PHP. Tanto las dietas PHS como PHM incrementaron el consumo final de pellets en comparación con FPE en más de un 10%, a pesar de la ausencia de un efecto significativo (Sanchez *et al.*, 2019).

En Argentina, se evaluaron dos dietas extruidas con diferentes niveles de inclusión de ensilado ácido: 5 % (Tratamiento A) y 8 % (Tratamiento B). Las dietas se evaluaron en la fase de engorde final de tilapia, bajo sistema intensivo en jaulas de pequeño volumen y alta densidad (PVAD), realizado en el CENADAC (27°32'S, 58°30'W). El ensilado ácido se elaboró con vísceras de peces de agua dulce y ácido fórmico (2,11 % p/v). Los pesos promedio iniciales de los peces fueron de 137,07g para TA y de 136,64 g para TB; mientras que los pesos finales resultaron ser de 426,50g y 408,65 g, sin diferencias estadísticamente significativas. Los factores de conversión relativo (FCR) fueron de 1,51 y 1,66 y las sobrevivencias resultaron ser de 98,53% y 96,80% para los tratamientos A y B, respectivamente. Los incrementos en peso diario siguieron la misma tendencia, alcanzando los 2,45 g/día para el tratamiento A y 2,31 g/día para el B; mostrándose, en este cultivo

intensivo, un desempeño superior de la ración alimentaria con menor porcentaje de ensilado ácido y mayor contenido proteico (Sal *et al.*, 2015).

En Tailandia, se evaluó la implementación de hidrolizado enzimático de vísceras de atun a bajo y alto grado de hidrólisis DH (40 y 60%, respectivamente), para la suplementación en dietas sin harina de pescado para lubina asiática. Se incluyó una dieta a base de subproductos de aves de corral de control y una dieta de referencia de harina de pescado. La ingesta de alimento de los peces alimentados con dietas suplementadas con hidrolizado enzimático de vísceras mejoró en un 25,4-41,0%, lo que aumentó significativamente el rendimiento del crecimiento en comparación con los grupos de control ( $P < 0,05$ ). La respuesta de crecimiento fue mejor con dietas que contenían 60% de DH, lo que sugiere que el uso de hidrolizado con un DH más alto hace posible reducir la tasa de inclusión mientras se obtiene un beneficio de rendimiento. En conclusión, los niveles de inclusión de hidrolizado en 25-75 g / kg de dieta podrían ser adecuados como estimulante de la alimentación en dietas sin harina de pescado para este pez carnívoro (Chotikachinda *et al.*, 2018).

### 3 METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las acciones desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, desde la preparación del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo hasta los resultados y su discusión, cabe resaltar que, durante la evaluación se tuvieron en cuenta los criterios normativos de bienestar animal (Congreso de Colombia, 1989; MADR, 2017; MADR,2020).

#### 3.1 MATERIAL BIOLÓGICO

##### 3.1.1 Juveniles de Tilapia roja (*Oreochromis spp*)

Se seleccionaron y utilizaron 120 juveniles reversados de Tilapia roja de un lote de 1000 ejemplares, con un peso de  $69,10 \pm 5,89$  g y  $15,02 \pm 0,38$  cm de talla (longitud total). Estos peces fueron suministrados por APISMO (Asociación de Piscicultores de Morales), con instalaciones en el embalse La Salvajina municipio de Morales Cauca. Los animales se distribuyeron en cuatro tratamientos con tres réplicas cada uno y 10 peces por réplica, estos se evaluaron por un periodo de 42 días.

##### 3.1.2 Vísceras de pollo (*Gallus gallus domesticus*)

Para la preparación del hidrolizado se utilizaron vísceras blancas de pollo y trucha, las de pollo fueron obtenidas de la empresa AGRICCA S.A ubicada en el municipio de Cajibío, y las de trucha de la Asociación Productora Comercializadora de Productos Acuícolas y Agrícolas de Silvia Cauca (APROPESCA), estas fueron transportadas hasta el laboratorio de Biotecnología en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Del Cauca.

#### 3.2 ELABORACIÓN DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO

Las vísceras de pollo y trucha se mezclaron en una proporción de 80% y 20 % respectivamente. Las vísceras de trucha se adicionaron con el fin de acelerar el proceso de hidrólisis. A esta matriz se adicionó 2,5% (masa/volumen) de ácido fórmico al 85% de pureza, con el fin de disminuir el potencial de hidrogeno (pH) y facilitar la acción enzimática endógena, luego se adicionó 0,25% de benzoato de sodio como antifúngico, por último, se agregó 0,1% de Butilhidroxitolueno (BHT) como agente antioxidante. Agregados los compuestos, se mezclaron hasta que se obtuvo un producto homogéneo (Perea *et al.*, 2017). Posteriormente se almacenaron en recipientes plásticos cerrados, con espacio de cabeza del 30% a

temperatura ambiente (Ferraz *et al.*, 2007). En la figura 2 se muestra el proceso de elaboración del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

**Figura 2.** Elaboración del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo



Fuente: Este estudio, 2021

Se realizó seguimiento al pH y al grado de hidrólisis proteica (GH) cada tres días, hasta obtener el 65,07 % que fue el día 7 conjuntamente se mezcló el producto una vez al día. Alcanzado el GH deseado, el producto inmediatamente se estabilizó mediante secado en horno a 60°C durante 48 horas. Posteriormente, se realizó la caracterización nutricional para el balance de las dietas. Antes de someter a secado, se tomó una muestra para realizar análisis microbiológico (Perea *et al.*, 2017).

### **3.3 CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y MICROBIOLÓGICA DEL HIDROLIZADO OBTENIDO**

Una vez estabilizado el hidrolizado se envió muestras al laboratorio de análisis químico y bromatológico para el control de calidad de alimentos para animales de la Universidad de Nariño donde se determinó calcio (AOAC 985,35; AOAC, 2005) y fósforo (AOAC 995,11; 2012) del HEVP y dietas. En el laboratorio especializado QUANTAR ubicado en el Valle del Cauca, se determinó el perfil de aminoácidos del HEVP. El contenido de materia seca (AOAC 934,01; AOAC, 1990), cenizas (AOAC 942,05; AOAC, 1990), proteína cruda (Kjeldahl, 1883), extracto etéreo (AOAC 920,39; AOAC, 1990), fibra cruda (AOAC 962,09; AOAC, 1990), energía bruta con bomba calorimétrica de chaqueta CAL2K® (Perea *et al.*, 2017) del HEVP y dietas se determinó en el laboratorio de biotecnología de la Universidad del Cauca, ubicado en la Facultad de Ciencias Agrarias. En el cuadro 6 de los resultados, se presenta la composición nutricional del hidrolizado obtenido.

Para la caracterización microbiológica, se realizó recuento de aerobios mesófilos utilizando Agar plate count, incubando las muestras a 35°C por 48 horas (NTC 4519; NTC, 2009); método de número más probable (NMP) para coliformes totales, sembrando en tubos de fermentación en caldo brilla e incubando a 35°C, por un periodo de 24 a 48 horas (NTC 4516; NTC 1998) y potato dextrosa agar (PDA) para mohos y levaduras, que se mantuvo a una temperatura de 25°C hasta el tercer y quinto día (NTC 4132; NTC 1997). En el cuadro 6 de los resultados, se presenta la caracterización el recuento microbiológico del hidrolizado.

### **3.4 BALANCE Y PREPARACIÓN DE LAS DIETAS**

Teniendo en cuenta la composición nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP), y materias primas utilizadas en los balances (harina de pescado, torta de soya, mogolla de trigo, salvado de maíz, harina de maíz amarillo, harina de yuca, harina de trigo, aceite vegetal, Premix, bentonita, sal, fosfato bicálcico, DL-metionina, Triptófano, carbonato de calcio, hidrolizado GH 65,07%), según la N.R.C, (2011) (National Research Council – Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos), se realizaron los balances nutricionales para cada una de las dietas experimentales a evaluar, tomando como base los requerimientos nutricionales de la Tilapia roja en la fase de levante. Se formularon cuatro dietas, una sin inclusión de HEVP T1 (0% HEVP), y tres con inclusión de HEVP con 10% (T2), 20% (T3) y 30% (T4), el balance de cada una de las dietas evaluadas para el análisis de la digestibilidad aparente y absorción de minerales de la Tilapia roja alimentada con dietas a base de HEVP se presenta en el cuadro 3.

**Cuadro 3** Balance de dietas experimentales y composición química (g/Kg peso seco)

Materia prima	T1 (Control)	T2 (10%HEVP*)	T3 (20%HEVP)	T4 (30%HEVP)
	Cantidad g	Cantidad g	Cantidad g	Cantidad g
Harina de pescado	270,00	225,09	185,89	143,34
Harina de trigo	39,00	30,01	5,00	10,90
Aceite vegetal	30,00	17,38	0,000	0,000
Fosfato bicálcico	8,94	5,15	8,30	11,78
DL – metionina	6,90	6,36	5,69	5,20
Premix***	20,00	20,00	20,00	20,00
Triptófano	2,80	3,15	3,50	3,82
Salvado de maíz	90,00	30,02	10,00	10,00
Torta de soya	250,00	250,00	250,00	250,00
Harina de maíz amarillo	90,00	113,94	150,18	75,42
Mogolla de trigo	122,36	138,84	124,61	130,12
Harina de yuca	40,00	30,06	5,01	5,21
Carbonato de calcio	0,000	0,000	1,82	4,21
Bentonita	10,00	10,00	10,00	10,00
Hidrolizado GH** 65,07%	0,000	100,00	200,00	300,00
Sal	10,00	10,00	10,00	10,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,00	10,00	10,00	10,00
Total	1000	1000	1000	1000

Fuente: Este estudio, 2021

\*HEVP: hidrolizado enzimático de vísceras de pollo

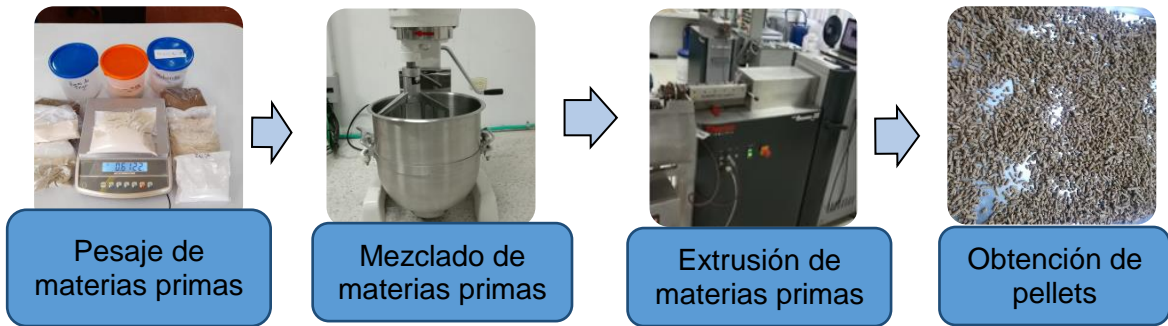
\*\*GH: grado de hidrólisis

\*\*\*Premix: premezcla de vitaminas, minerales y adictivos – Biomix S.A© (Composición por kilogramo de producto): vitamina A (800.000 UI); vitamina D3 (300.000 UI); vitamina E (11,0 g); vitamina K (2,2 g); vitamina B12 (0,01 g); tiamina (0,6 g); riboflavina (3,6 g); piridoxina (5,6 g); biotina (0,08 g); ácido pantoténico (6,8 g); niacina (5,6 g); ácido fólico (1,0 g); vitamina C (25,0 g); cloruro de colina (70,0 g); yodo (0,3 g); selenio (0,05 g); hierro (6,0 g); cobre (1,2 g); zinc (16,0 g); manganeso (7,0 g); cobalto (0,1 g); Antioxidante (30,0 g)

Posteriormente al balance, las materias primas se pasaron por un tamiz de 425 µm, estas se pesaron en una balanza con precisión de 0,01g, se mezclaron durante 20 minutos en una batidora SIMAG SM-401, seguidamente se agregó óxido crómico (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) como marcador inerte a razón del 1% del total formulado y se continuó homogenizando durante otros 20 minutos, continuando con el proceso se llevó a extrusión a 123°C en un extrusor doble tornillo marca Hake Polylab, obteniendo pellets de 5 mm de longitud, 4,5 mm de espesor y 8% de humedad (Jiménez & Morales, 2018). En la figura 3 se ilustra el proceso de elaboración de las dietas experimentales.



**Figura 3.** Elaboración de dietas experimentales



Fuente: Este estudio, 2021

El peso promedio de los pellets de cada tratamiento y su desviación estándar se determinó tomando de cada réplica una muestra, la cual se pesó en una balanza con precisión de 0,0001g anotando el peso de cada pellet, posteriormente se realizó los respectivos cálculos. En el cuadro 4, se presentan los valores del peso promedio y desviación estándar de los pellets para cada tratamiento.

**Cuadro 4.** Peso promedio y desviación estándar de los pellets para cada tratamiento.

Tratamiento	Peso promedio en g	Desviación estándar (S) en g
T1	0,03127	0,006329
T2	0,03880	0,004304
T3	0,03284	0,000115
T4	0,02589	0,000405

Fuente: Este estudio, 2021

### 3.5 DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD *IN VIVO* DE HIDROLIZADOS DE VÍSCERAS DE POLLO.

Se determinó la digestibilidad aparente *in vivo* de la materia seca (DAMS), proteína cruda (DAPC), energía bruta (DAEB) y extracto etéreo (DAEE). Igualmente se determinó la absorción de calcio (ACa), fósforo (AP), cenizas (ACEN) y la energía digestible (ED). Para tal efecto, los peces fueron sometidos a colecta de heces como se describe en el numeral 3.6.10. Para el cálculo de la digestibilidad se utilizó el método indirecto utilizando óxido crómico como marcador inerte, de manera que, conociendo con precisión la cantidad de este en el alimento, la cantidad que contienen las heces después del proceso digestivo, y la composición nutricional del alimento y las heces; se efectuaron las relaciones

entre estas concentraciones y se determinó el coeficiente de digestibilidad de los nutrientes.

Para la determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) se utilizaron las siguientes ecuaciones (Ec.1, Ec. 2 y Ec.3):

$$\begin{aligned} & \text{Digestibilidad aparente de nutrientes (\%)} && \text{Ec. 1} \\ \text{DAN} = 100 - & \left( 100 \left( \frac{\%Cr_2O_3 \text{ en la dieta}}{\%Cr_2O_3 \text{ en las heces}} \right) * \left( \frac{\% \text{ nutrientes en las heces}}{\% \text{ nutrientes en la dieta}} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Digestibilidad del hidrolizado} && \text{Ec. 2} \\ = & \frac{\text{Digestibilidad de la mezcla} - (\text{digestibilidad del control} * \% \text{inclusion del control})}{\% \text{ inclusion del hidrolizado}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Energía digestible aparente (EDA)} && \text{Ec.3} \\ \text{EDA} = & \text{energía bruta} * \% \text{ digestibilidad de la energía} \end{aligned}$$

### 3.6 PLAN DE MANEJO

#### 3.6.1 Adecuación y desinfección de instalaciones y equipos

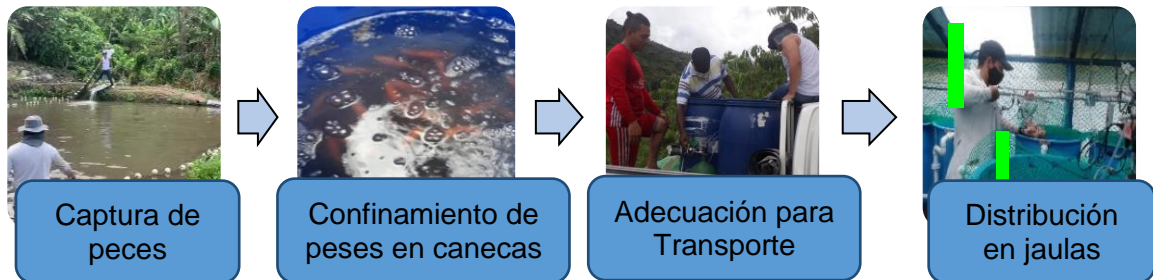
Antes de la llegada de los animales se realizó un chequeo de las jaulas metabólicas, un lavado y desinfección de tanque de reservorio, paredes, pisos y equipos con una solución de 100 ppm de yodo, para las jaulas se utilizó una solución de hipoclorito de sodio a razón de 100 ppm.

#### 3.6.2 Selección y transporte de los peces

Los 120 peces seleccionados de la estación piscícola la Salvajina pasaron por una solución de azul de metileno y sal marina en proporción de 1 gr/20 L y 1g/1,25 L respectivamente, posteriormente se acondicionaron en tres canecas plásticas de 55 galones (208 Lts), en cada una se adicionaron 40 individuos más un 10% por posible efecto de mortalidad. Luego fueron transportados hasta el Laboratorio de Biotecnología en la Universidad del Cauca, en las horas de la mañana (6:00 – 9:00 a.m.), el transporte duró tres horas, y la aireación utilizada fue con pipeta de oxígeno de 1738 lts a una presión de 2200 psi (CGA 540). En el laboratorio los peces fueron instalados en 12 jaulas metabólicas donde se adaptó un sistema de aireación con piedras difusoras conectadas a bombas aireadoras para mantener el

oxígeno, En la figura 4, se ilustra el proceso selección, captura y transporte de los peces.

**Figura 4.** Selección y transporte de los peces



Fuente: Este estudio, 2021

### 3.6.3 Acostumbramiento

Durante el periodo de acostumbramiento que fue de 20 días, los peces fueron alimentados con las dietas de evaluación con el fin de adaptar el sistema digestivo de la tilapia. Estas dietas se encontraban balanceadas de acuerdo con los requerimientos nutricionales del pez con la diferencia de que no contenían el marcador inerte (óxido crómico  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Durante este tiempo se determinó la ración a suministrar por medio de la fórmula de Lupatsh. (2009) con estos valores se adaptó el peso de la ración de cada jaula (réplica). La alimentación duró en promedio una hora. Los peces se alimentaron 3 veces al día, a las 9 am, 12m y 4 pm, para cada momento de alimentación la ración se distribuyó en tres fracciones, pasando así por cada réplica tres veces, con esto, se logró que los peces capturaran la mayor cantidad de pellets hasta saciedad aparente. Finalmente, previo a cada comida, se extraían las heces en recipientes plásticos por medio de un sifón dispuesto en cada jaula metabólica, esto, con el fin de reducir efectos negativos causados por gases tóxicos como el amonio proveniente de heces y alimento no consumido.

### 3.6.4 Cronograma y manejo de alimentación de juveniles de la Tilapia roja

El ensayo tuvo una duración de 62 días (20 de adaptación y 42 de evaluación), en este periodo se evaluaron cuatro piensos, tres elaborados a partir de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, y una dieta de referencia la cual no presenta inclusión del hidrolizado, este se utilizó como testigo; las dietas marcadas se suministraron hasta la saciedad aparente al igual que en el periodo de acostumbramiento. Después de alimentar se recogían los pellets no consumidos del fondo por medio del sifoneo y con un cedazo los de la superficie, con el fin de determinar la cantidad real de alimento consumido. En el anexo A, se presenta el formato de alimentación respectivamente.

### 3.6.5 Tratamiento profiláctico.

La acción de transportar los peces causa disminución del potencial inmunológico, con el fin de evitar patologías e infecciones en los peces se aplicó un tratamiento profiláctico utilizado por los productores en la Salvajina (solución de azul de metileno y sal marina). El procedimiento se realizó preparando una mezcla de azul de metileno a una concentración de 1 gr/20 litros de agua, de esta solución se agregaron 100 ml a cada jaula durante 5 días. La sal marina se aplicó a razón de 1g/L de agua. A continuación, en la figura 5 se ilustra el tratamiento profiláctico utilizado.

**Figura 5.** Tratamiento profiláctico

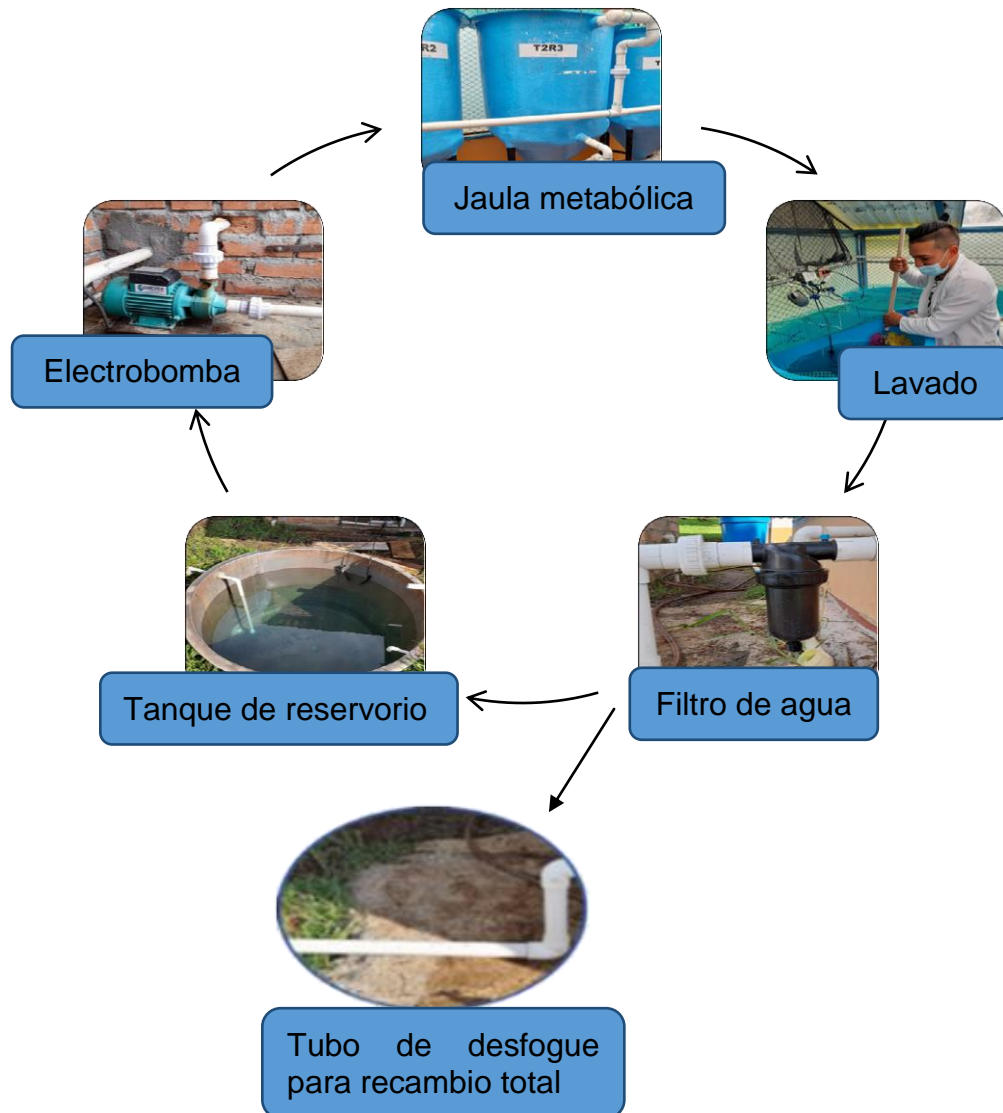


Fuente: Este estudio, 2021

### 3.6.6 Cambio y recambio de agua.

En este estudio el agua utilizada provenía del acueducto de Popayán, esta se trató con tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) utilizando 1g por cada 100 L, para inactivar el cloro, y sal marina 1g/L como anti estresante y para prevenir enfermedades. Se utilizó un tanque de fibra de vidrio con capacidad de 4000 L como reservorio de agua, este se encontraba enterrado en el subsuelo y era llenado a través de una red de tuberías con llave de paso. Se realizaron dos tipos de recambios, uno parcial y otro total. El primero (1, 2, 3, 4, 5 de figura 4) se realizó diariamente, consistía en retirar el 85% del agua de las jaulas, esta se sustituía por agua almacenada en el tanque reservorio mediante una red de tuberías, durante este proceso el agua pasaba por un filtro PVC de dos pulgadas hacia el tanque reservorio, siendo conducida por efecto de la gravedad; el agua volvía a las jaulas con ayuda de una electrobomba. En el segundo caso (1, 2, 4, 5, 6 de figura 4) el 95% del agua era sustituida por agua del acueducto cada cinco días, esta era manejada con el tratamiento de sal marina y tiosulfato antes mencionado. En ambos casos los tanques eran lavados con cepillos para evitar la proliferación de algas. En la figura 6 se ilustra el proceso de cambio y recambio del agua.

**Figura 6.** Recambio de agua



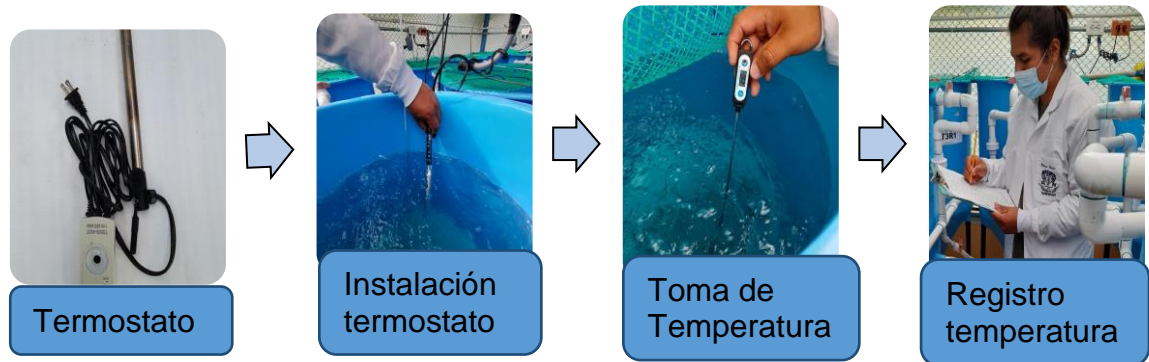
Fuente: Este estudio, 2021

### **3.6.7 Temperatura**

Previo a la llegada de los peces se registró la temperatura del agua en la mañana (7:00 am, medio día (12:00 M) y tarde (4:00 P.M), se presentaron fluctuaciones desde los 16°C hasta los 23 – 24 °C respectivamente, por lo que fue necesario la utilización de termostatos para poder brindar los rangos de temperatura óptimos, y que de esta manera los peces puedan expresar su potencial. Por la tanto, se instalaron termostatos semisumergidos en las jaulas y tanque reservorio calibrados a 26°C, la cual es la temperatura promedio de la producción de tilapia en las estaciones piscícolas de La Salvajina, en la figura 7 se muestra el proceso

de control y registro de la temperatura. En el anexo C se presenta el formato de registro de temperatura.

**Figura 7.** Instalación de termostatos y registro de temperatura

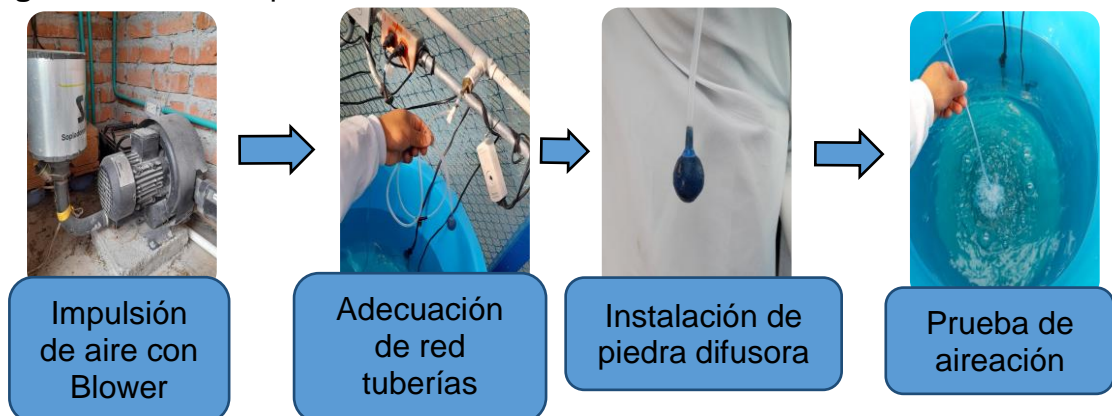


Fuente: Este estudio, 2021

### 3.6.8 Aireación

Durante el ensayo se utilizó un sistema principal de aireación, este se encuentra conectado constantemente al fluido eléctrico que proporciona energía a un blower marca EKKO AIR modelo EKZ 130-58, generando aireación que se distribuyó a través de una red de tuberías. Además, se utilizó un sistema secundario que consta de bombas aireadoras POWER LIFE P-500 como plan de contingencia en los casos que se presenten fallas en el fluido eléctrico, este sistema funciona con una batería de marca MAC de 12 voltios modelo 31H 1200. Los dos sistemas funcionaron con mangueras y pierdas difusoras que permitieron la distribución del aire en las jaulas. En la figura 8 y 9 se muestra los sistemas de aireación.

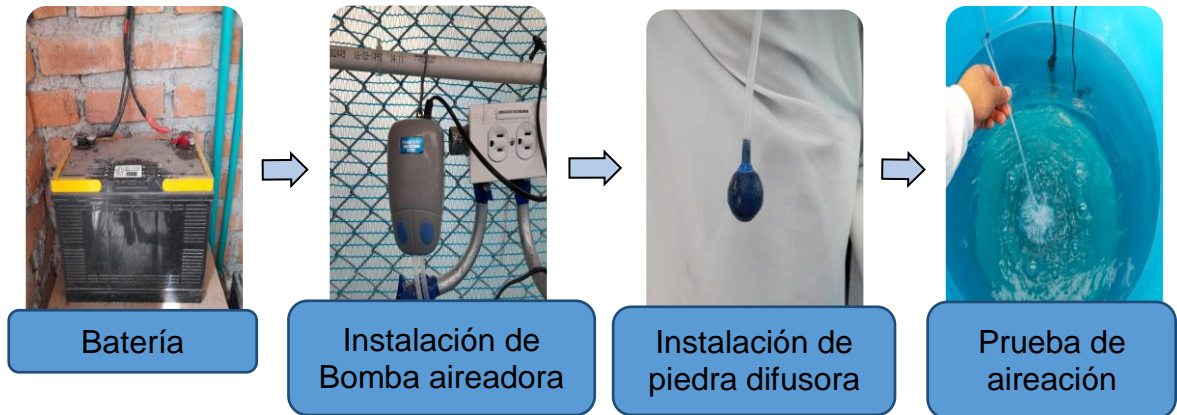
**Figura 8.** Aireación primaria



Fuente: Este estudio, 2021



**Figura 9.** Aireación secundaria



Fuente: Este estudio, 2021

### 3.6.9 Recolección de heces

La recolección de heces se realizó tres veces al día en horas de la mañana antes del recambio de agua, al medio día y tarde, antes de cada alimentación. Posteriormente las heces recolectadas se dispusieron en tubos falcón; se llevaron a una centrifuga hermle a 4500 rpm durante 20 minutos, se retiró el sobrenadante y se pesaron en balanza analítica KERN gab de 12 kg; se colocaron en bolsa plástica de cierre hermético y se almacenaron en congelador a  $-18^{\circ}\text{C}$ . En el anexo B, se presenta el formato del registro de recolección de las heces. En la figura 11, se presenta el procedimiento utilizado para la recolección de heces

**Figura 10.** Recolección de heces



Fuente: Este estudio, 2021

### 3.6.10 Medición de parámetros fisicoquímicos del agua

La temperatura fue monitoreada con termómetro digital, esta se regulaba constantemente mediante el uso de termostatos. El monitoreo de la calidad del agua (parámetros fisicoquímicos) se realizó por la metodología NANOCOLOR con la ayuda del Photometer PF – 11, con el fin de mantener los parámetros en los rangos óptimos de la especie para su adecuado desarrollo.

## 3.7 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LAS DIETAS Y LAS HECES

Para el análisis bromatológico del concentrado se enviaron 100g de muestra de cada tratamiento (control, 10%, 20% y 30% de inclusión de HEVP); para el análisis de las heces, se enviaron 100g de heces de cada réplica (12 muestras) en bolsas herméticas, debidamente rotuladas, al laboratorio de análisis químico y bromatológico para el control de calidad de alimentos para animales de la Universidad de Nariño, donde se determinó el contenido de calcio (AOAC 985,35; AOAC, 2005) y fósforo (AOAC 995,11; 2012); el contenido de materia seca (AOAC 934,01; AOAC, 1990), cenizas (AOAC 942,05; AOAC, 1990), proteína cruda (Kjeldahl, 1883), extracto etéreo (AOAC 920,39; AOAC, 1990), fibra cruda (AOAC 962,09; AOAC, 1990), energía bruta con bomba calorimétrica de chaqueta CAL2K®.

## 3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y tres réplicas por tratamiento, se utilizaron 12 jaulas metabólicas, cada jaula con capacidad de 250 litros de volumen útil, depositando 10 peces por jaula o tanque. A continuación, en el cuadro 5, se muestra el nivel de inclusión y el grado de hidrólisis del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en cada tratamiento.

**Cuadro 5.** Tratamientos y variables de respuesta en la evaluación del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

Tratamiento	Variables De Respuesta
T1: dieta control (0% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo con 60 – 65%, GH)	-Digestibilidad aparente de nutrientes: DAMS, DAPC, DAEE, DAEB
T2: 10% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% vísceras de trucha con 60 – 65%, GH)	-Absorción de minerales: ACEN, ACa, AP



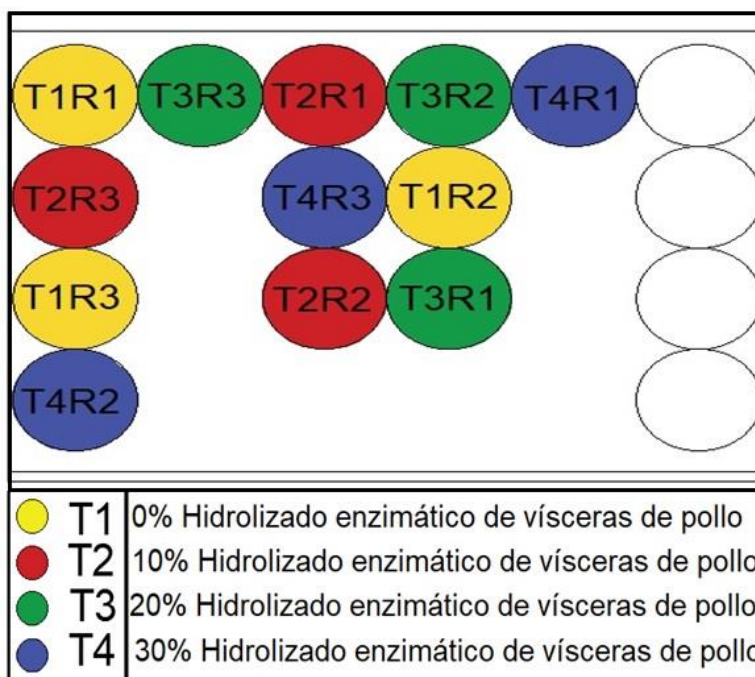
T3: 20% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% de vísceras enteras de trucha con 60 – 65%, GH)	
T4: 30% de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (80% de vísceras enteras de pollo + 20% de vísceras enteras de trucha con 60 – 65%, GH)	

Fuente: Este estudio, 2021

GH = Grado de hidrólisis. DAMS = Digestibilidad aparente de la materia seca. DAPC = Digestibilidad aparente de la proteína cruda. DAEE = Digestibilidad aparente del extracto etéreo. ACEN = Absorción de cenizas. ACa = Absorción del calcio. AP = Absorción de fósforo.

El análisis de los datos obtenidos se hizo a través del software SAS (Statistical Analysis System) versión 9,4. Cada una de las variables de respuesta se analizaron mediante un análisis de varianza ( $P < 0,05$ ). Para el contraste de medias se empleó el test de Duncan (Duncan, 1955), un valor de ( $\alpha < 0,05$ ) se tomó como diferencia significativa para determinar el desempeño de los tratamientos evaluados. También se utilizó el programa Curve Expert 2.6 para hacer un análisis de correlación, es decir, como el porcentaje de inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo afecta la digestibilidad de los nutrientes. En la figura 11 se observa la distribución del diseño experimental.

**Figura 11.** Diseño experimental completamente al azar



Fuente: Este estudio, 2021

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis fisicoquímico del agua se encontraban en  $26,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ; 6,8 de pH;  $5,1 \pm 0,0$  mg/l de oxígeno disuelto;  $0,9 \text{ mmol/L} \pm 0,0 \text{ mmol/L}$  de alcalinidad de carbonatos;  $1,5 \text{ mg/l} \pm 0,0 \text{ mg/l}$  de demanda química de oxígeno;  $3,98 \pm 0,1$  mg/l de demanda biológica de oxígeno;  $1,2 \pm 0,1$  mg/L amoniaco;  $0,6 \pm 0,0$  mg/L de nitratos y  $0,1 \pm 0,0$  mg/L nitritos, estos valores están dentro de los rangos óptimos para la cría de Tilapia roja, por tal motivo no se presentaron mortalidades (Castillo, 2012; FEDEACUA, 2018).

### 4.1 PERFIL DE AMINOÁCIDOS DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO Y ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES Y DEL HIDROLIZADO.

El resultado de la caracterización nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo evidencia que esta materia prima contiene los aminoácidos esenciales y uno de los dos considerados semi esenciales (tirosina y cisteína) para los peces, la tirosina, ya que fenilalanina pueden sintetizarse a partir de este (Ng & Romano, 2013). Además, contiene un 32,07% de materia seca, 27,48% de proteína, 35,15% de extracto etéreo, 7,69% de fibra bruta, 5,35% de cenizas, 24,34 extracto libre de nitrógeno y 6938,29 Kcal/Kg. En el cuadro 6 se presenta los resultados del análisis proximal y la caracterización nutricional del hidrolizado de vísceras de pollo respectivamente.

**Cuadro 6.** Perfil de aminoácidos y análisis proximal del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

Aminoácidos esenciales (%)	
Lisina	5,981
Metionina	1,356
Valina	2,962
Isoleucina	2,556
Leucina	3,017
Fenilalanina	1,6665
Histidina	1,2205
Arginina	5,474
Treonina	1,7865
Triptófano	0,013
Aminoácidos no esenciales (%)	

Tirosina	2,055
Ácido Aspártico	1,8825
Ácido glutámico	8,0235
Glicina	3,3605
Alanina	3,4835
Prolina	2,3665
Serina	6,656
Composición química del HEVP* 65,07 % GH**	
Materia seca Total – MS%	32,07 ± 0,18
Extracto etéreo – EE%	35,15 ± 1,06
Proteína cruda – PC%	27,48 ± 0,19
Fibra cruda – FC%	7,69 ± 0,23
Cenizas – CEN%	5,35 ± 0,01
Extracto libre de nitrógeno – ELN%	24,34
Energía bruta – EB Kcal/Kg	6938,29 ± 9,01
Fósforo – P (%)	0,78 ± 0,0
Calcio – C (%)	0,43 ± 0,0
pH	3,60 ± 0,08
Acidez titulable (%)	2,82 ± 0,10
Densidad	1,03 ± 0,01
Mesófilos aerobios (UFC/g)	0,0
Mohos y levaduras (UFC/g)	0,0
Coliformes totales (NMP/g)	0,0

Fuente: Este estudio, 2021

\* HEVP: hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

\*\* GH: grado de hidrólisis.

**cuadro 7.** Composición química calculada de las dietas experimentales en %.

Composición química	T1 (Control*)	T2 (10%HEVP**)	T3 (20%HEVP***)	T4 (30%HEVP****)
	Cantidad g	Cantidad g	Cantidad g	Cantidad g
Proteína cruda – PC	32,89	32,89	32,89	32,89
Extracto Etéreo – EE	7,0	8,46	9,79	12,79
Carbohidrato – CHO	39,74	39,23	37,89	34,59
Fibra bruta – FB	2,02	2,60	3,11	3,83
Cenizas – Cen	12,14	11,01	10,04	9,05
Energía digestible (kcal/kg) – ED	3035,05	3035,05	3035,05	3035,05
Calcio – Ca	1,79	1,52	1,50	1,50

Fósforo – P	1,13	1,00	1,00	1,00
Metionina – Met	1,45	1,45	1,45	1,45
Lisina – Lys	1,85	2,28	2,78	2,97
Triptófano – Trp	0,48	0,48	0,48	0,48

Fuente: Este estudio, 2021

\* Control: 0% de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

\*\* 10%HEVP: 10% inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

\*\*\* 20%HEVP: 20% inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

\*\*\*\* 30%HEVP: 30% inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo.

Los hidrolizados de proteínas, producidos por enzimólisis de fuentes de proteínas, se han utilizado como ingredientes de piensos en dietas para peces debido a sus excelentes propiedades funcionales (palatabilidad y mejora de la salud) y valores nutritivos (alta digestibilidad) (Gunathilaka *et al.*, 2020).

Las proteínas hidrolizadas se definen como productos de la reacción de hidrólisis de enlaces peptídicos en proteínas que dan como resultado, péptidos más cortos o aminoácidos de fácil absorción para los animales. Es un excelente suplemento proteico compuesto en gran medida por aminoácidos libres y péptidos de bajo peso molecular, y también puede actuar como un promotor del crecimiento con la presencia de péptidos bioactivos (Wosniak *et al.*, 2016). En condiciones optimizadas en términos de pH, temperatura y tiempo de hidrólisis, una reacción de hidrólisis produce hidrolizados de proteínas de alta calidad (Riyadi *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta los autores anteriormente mencionados y según, Dos Santos *et al.* (2021) la proteína de subproductos avícolas hidrolizada (HPP) se presentó como una fuente nutritiva con alta disponibilidad de fracciones de proteína y energía cuando se incluyó en las dietas de tilapia, promovió mejoras en la salud y rendimiento de relleno; propició una mejora de los cambios morfológicos en el intestino y optimizó el metabolismo energético. Además, las HPP contienen un adecuado balance nutricional, aportando aminoácidos esenciales, los cuales presentan altos porcentajes de lisina y metionina que son limitantes en la formulación de dietas para peces. Por otro lado, HPP tiene efecto palatable en el pienso y se puede utilizar de forma eficaz para estimular consumo de alimento en Tilapia del Nilo, así, estos compuestos muestran altos valores de fracciones nutricionales de interés para la acuicultura. Por tanto, el hidrolizado de vísceras de pollo se plantea como una alternativa proteica para tener en cuenta al momento de formular piensos para peces.

La caracterización de los hidrolizados en el presente estudio indicó excelentes propiedades químicas, en términos de alto grado de hidrólisis, valiosa concentración de proteína soluble, equilibrio adecuado de aminoácidos y alta digestibilidad. Estos beneficios hacen de los hidrolizados un complemento proteico

valioso y de fácil digestión, con altas propiedades nutricionales y aplicaciones interesantes como ingrediente para alimentos funcionales (Vázquez *et al.*, 2020).

Distintos estudios reportan valores diferentes con respecto a este estudio en referencia al perfil de aminoácidos del hidrolizado enzimático de subproductos avícolas y análisis proximal tanto del mismo como de las dietas experimentales, esto se debe posiblemente a la fuente de la enzima y las condiciones de hidrólisis, las condiciones de extrusión y el origen de la materia prima (Bui *et al.*, 2014; Gutiérrez, Yossa & Vázquez, 2011)

En este estudio, entre los aminoácidos esenciales del HEVP con mayor porcentaje se encuentran, la lisina (5,981%) y arginina (5,474%) seguidos de leucina (3,017%), valina (2,962%) e isoleucina (2,556%). Para los aminoácidos no esenciales el ácido glutámico (8,0235%) y serina (6,656%) representan los de mayor proporción, seguida de alanina (3,4835%) y glicina (3,3605%). Estos valores son relativamente similares a los encontrados por Dos Santos *et al.* (2021), quienes evaluaron hidrolizados de subproductos avícolas (plumas -HFP, vísceras de pollo -HPP) y porcinos (hígado porcino -HSLP, mucosa porcina -HSMP); sin embargo, son inferiores a los encontrados por Wu *et al.* (2020) quienes evaluaron hidrolizados de hígado de pollo (E-CLM). No obstante, el contenido de aminoácidos encontrados en este estudio, son superiores a los resultados encontrados por Sanches *et al.* (2020) quienes evaluaron hidrolizados de subproductos avícolas. Además, al comparar el resultado de proteína cruda de este estudio se confirma que es inferior al reportado por Wu *et al.* (2020); Nursinatrio & Agung (2019); y López & Salas (2021), pero superior en extracto etéreo, cenizas, energía bruta y fibra cruda con respecto a los mismos autores. Por último, el contenido de materia seca para el HEVP reportada en esta investigación, es inferior a la reportada por Wu *et al.* (2020) quienes evaluaron hidrolizado enzimático de hígado de pollo.

Por otra parte, al contrastar los valores de aminoácidos esenciales del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo con harina de pescado, los resultados son relativamente similares a los reportados por Cao *et al.* (2020) para lisina (7,782%), metionina (1,485%), valina (2,883%), isoleucina (2,263%), e histidina (1,421%), sin embargo es relativamente inferior con respecto al aminoácido leucina (5,043), quienes evaluaron harina de plumas tratada con enzimas (EFM) como sustituto de harina de pescado en la dieta de rodaballo. En un estudio realizado por Wu, *et al.*, (2021) quienes evaluaron harina de pescado para tilapia nilótica genéticamente mejorada (GIFT), reportaron valores inferiores a los encontrados en este estudio, con respecto a lisina (0,5%), metionina (0,2%), valina (0,7%) isoleucina (0,5%), leucina (0,8%), fenilalanina (0,5%) e histidina (2,7%), e incluso siguen siendo inferiores a los reportados en este estudio cuando se hidrolizó la harina de

pescado, a excepción de histidina (13,6%) y metionina (2,4%); e inferiores cuando se comparan con otras materias primas (harina de hígado de cerdo -SL, hígado de ave -PL, subproductos de tilapia -TR y cabeza de atún -TH) como sustitutos de harina de pescado para juveniles de dorado (*Salminus brasiliensis*) (Lorenz *et al.*, (2018). Sin embargo, en un estudio realizado por (Choi *et al.*, 2020) quienes evaluaron harina de soya fermentada para trucha arcoíris reportaron valores relativamente superiores a los de este estudio para metionina (1,69%), valina (3,18%), isoleucina (2,79%) leucina (5,06%), fenilalanina (2,67%), histidina (1,83%), pero inferiores para lisina (4,95%) y arginina (3,89%)

Por otro lado, los valores de ceniza de este estudio, se encontró que son inferiores a los encontrados por Cao *et al.*, (2020) quienes reportaron valores de 17,395%. Por otra parte, en un estudio realizado por Lorenz *et al.*, (2018), donde evaluaron cuatro materias primas (harina de hígado de cerdo -SL, hígado de ave -PL, subproductos de tilapia -TR y cabeza de atún -TH) como sustituto a la harina de pescado para juveniles de dorado (*Salminus brasiliensis*) reportaron valores inferiores a los encontrados en este estudio para calcio (0,094%; 0,085%; 0,238% y 0,205% para SL, PL TR y TH respectivamente) y fósforo (0,37%; 0,481%; 0,345%; 0,395% para SL, PL TR y TH respectivamente).

#### 4.2 DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES Y ABSORCIÓN DE MINERALES

En el cuadro 7 se presenta los valores medios para digestibilidad aparente de materia seca, proteína cruda, energía bruta y extracto etéreo, también se ilustran los valores de absorción de cenizas, calcio y fósforo, obtenidos en la evaluación nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*).

**Cuadro 8.** Valores medios de digestibilidad de nutrientes, energía y absorción de minerales obtenidos en Tilapia roja alimentada con dieta a partir de la inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP).

Variable	T1 (Control)	T2 (10%)	T3 (20%)	T4 (30%)	Anova Pr > F
DAMS	94,67±0,45 <sup>b</sup>	95,60±0,30 <sup>a</sup>	95,31±0,31 <sup>ab</sup>	94,92±0,23 <sup>b</sup>	0,0373
DAPC	90,79±0,98 <sup>a</sup>	90,21±0,27 <sup>a</sup>	91,11±0,18 <sup>a</sup>	89,07±0,43 <sup>b</sup>	0,0097
DAEB	79,74±0,74 <sup>a</sup>	77,11±0,88 <sup>bc</sup>	77,92±0,68 <sup>b</sup>	76,38±0,41 <sup>c</sup>	0,0019
DAEE	93,00±0,12 <sup>d</sup>	94,31±0,30 <sup>b</sup>	94,77±0,14 <sup>a</sup>	93,85±0,01 <sup>c</sup>	0,0001
ACEN	46,57±3,23 <sup>b</sup>	49,95±0,31 <sup>a</sup>	51,21±0,25 <sup>a</sup>	51,32±0,40 <sup>b</sup>	0,0243
ACa	47,71±5,00 <sup>b</sup>	50,40±0,58 <sup>ab</sup>	52,94±0,16 <sup>a</sup>	54,09±0,08 <sup>a</sup>	0,0579
AP	55,31±4,50 <sup>b</sup>	59,61±0,23 <sup>a</sup>	59,92±0,05 <sup>a</sup>	60,42±0,32 <sup>a</sup>	0,0800

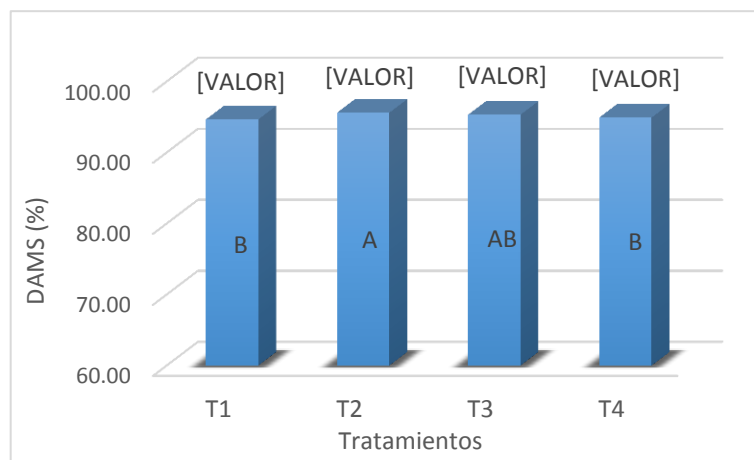
Fuente: Este estudio, 2021

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

#### 4.2.1 Digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS).

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0373$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 12. La prueba de promedios de Duncan permitió observar que el T3 (20% HEVP) con digestibilidad del 95,31% no tuvo diferencias significativas con respecto a T1 (0% HEVP), T2 (10% HEVP) y T4 (30% HEVP) y el T2 con valores de digestibilidad del 95,6% fue superior a T1 y T4.

**Figura 12.** Digestibilidad aparente de materia seca (DAMS)



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

La digestibilidad de la materia seca influye en el uso del pienso por parte de los peces, además, propicia la reducción de residuos en el agua, es decir a mayor digestibilidad, menos excretas. Kleber et al. (2018) sugiere que altos coeficientes de digestibilidad aparente de los hidrolizados son el resultado de elevados contenidos de proteína y bajo contenido de cenizas y fibra en la dieta. En este estudio la proteína fue el 32% de la dieta, con un contenido de cenizas inferior al 12%, con excepción de la dieta control, que presentaba un 12,14% de cenizas, con respecto a la fibra, las dietas estuvieron por debajo del 4%. El contenido de cenizas en la harina de pescado puede variar dependiendo de la especie de pescado y si se está usando pescado entero o subproductos, un estudio realizado por Yu *et al.* (2012), reporto contenido de cenizas para la harina de pescado de 18,86%, mientras que Quijije *et al.* (2019) y Barreto *et al.* (2016) reportaron valores de 22,09% y 25,9% respectivamente, esto evidencia que la harina de pescado es una materia prima que contiene cenizas en altas cantidades, por tal motivo, se podría argumentar que el contenido de cenizas en la harina de pescado pudo

afectar la digestibilidad de los nutrientes en la dieta control. Paralelamente Perea *et al.* (2021) y Valbuena *et al.* 2012 argumenta que contenidos de cenizas superiores al 12% de la dieta afectan la digestibilidad de los nutrientes.

Además, los subproductos avícolas como fuente de proteína animal tienen una composición de aminoácidos más equilibrada en comparación con las proteínas vegetales (Hao *et al.*, 2020). Paz *et al.* (2016), también argumentan que la calidad biológica, composición de aminoácidos, interacción de nutrientes y presencia de factores inespecíficos de crecimiento en el extracto seco de hidrolizado de vísceras de pescado, son factores que intervienen positivamente en la digestibilidad de esta materia prima. El hidrolizado enzimático de vísceras de pollo evaluado, además de ser de origen animal, presenta un adecuado perfil de aminoácidos, entre estos, los aminoácidos esenciales para los peces y, elevados coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes. Por otro lado, Perea *et al.* (2021), argumenta que la digestibilidad aparente de la materia seca de subproductos de origen animal es superior a la de materias primas de origen vegetal, debido a que las últimas tienen como limitante la fibra y factores anti-nutricionales.

El hidrolizado utilizado en este estudio tuvo un grado de hidrólisis del 65,07 %, en esta predigestión, se obtienen aminoácidos y péptidos de bajo peso molecular, Javaherdoust *et al.* (2020), hace referencia a esto, afirmando que los péptidos de los hidrolizados no solo se absorben fácilmente, sino que también median la alta digestión intestinal y la absorción de nutrientes al estimular la secreción de enzimas digestivas a través de la acción directa de las actividades antioxidantes en las células receptoras intestinales y/o en las células diana dentro del cuerpo, es decir, se propicia un buen funcionamiento del sistema enzimático de los peces.

Los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca (DAMS) encontrados en este estudio (94,67% a 95,60%) son superiores a los reportados por Kleber *et al.* (2018) quienes reportaron digestibilidades de 85,98%, 79,61%, 83,21% y 82,25% del hidrolizado de residuos de tilapia, hidrolizado de cabeza de atún, hidrolizado de hígado de cerdo e hidrolizado de hígado de ave respectivamente en *Salminus brasiliensis* (Dorado). También son superiores a los de Hao *et al.* (2020) quienes evaluaron hidrolizados enzimáticos de subproductos avícolas, en Rodaballo, y reportaron una digestibilidad aparente de  $83,16 \pm 3,23\%$ . Igualmente superan a la DAMS del hidrolizado de plumas (83,06%) e hidrolizado de vísceras de pollo (91,29%) evaluados en Tilapia del Nilo (Dos Santos *et al.*, 2021).

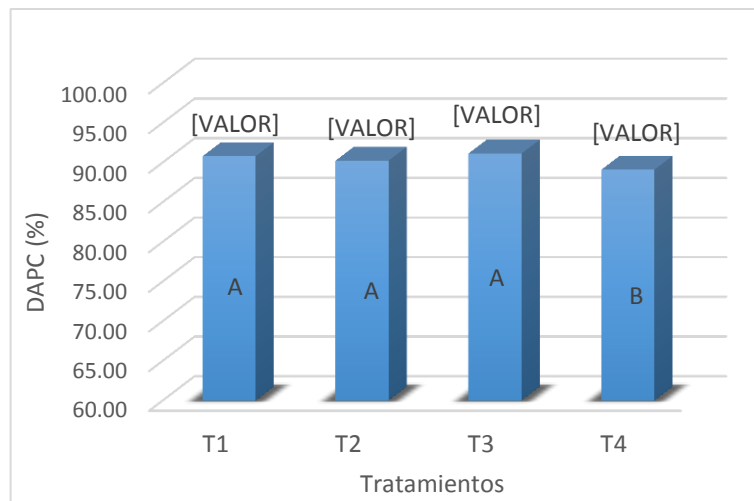


#### 4.2.2 Digestibilidad aparente de proteína cruda (DAPC)

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0097$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 13.

La prueba de promedios de Duncan permitió observar que hubo diferencias significativas, donde el T1 (0%HEVP), T2 (10% HEVP) y T3 (20% HEVP) con valores de digestibilidad del 90,79%; 90,21% y 91,11% respectivamente fueron superiores con respecto al T4 (30% HEVP), como se muestra en la figura 13

**Figura 13.** Digestibilidad aparente de proteína cruda (DAPC)



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

Según Kleber *et al.* (2018) la absorción entre péptidos de bajo peso molecular y proteínas intactas es asincrónica; la absorción de proteínas hidrolizadas puede ser tres veces más rápida, especialmente debido a la gran proporción de péptidos pequeños (cinco o menos aminoácidos), que, en general, se absorben de manera más eficiente, incluso en comparación con los aminoácidos libres. Las proteínas intactas presentes en la harina de pescado utilizada en el tratamiento control, debe descomponerse en pequeñas moléculas por las proteasas en el tracto digestivo para ser absorbidas y utilizadas por los peces, mientras que la mayoría de las de bajo peso molecular se pueden absorber y utilizar directamente, aumentando la tasa de absorción de proteínas y promoviendo el crecimiento de los peces (Hao *et al.*, 2020).

Numerosos estudios han confirmado que, durante el proceso de hidrólisis, las proteínas se descomponen en aminoácidos libres, di-, tri- y oligopéptidos que son fácilmente absorbidos en el intestino. Dado que la proteína de la dieta se absorbe en forma de aminoácidos y péptidos, la digestibilidad depende del grado de hidrólisis, la presencia de aminoácidos libres y la presencia significativa de pequeños péptidos en los hidrolizados influyó en la absorción de estos nutrientes (Perea *et al.*, 2021; Hao *et al.*, 2020; Kleber *et al.*, 2018; Gunathilaka *et al.*, 2020). Sin embargo, podemos deducir que existen otros factores que influyen en la digestibilidad de la proteína; según Javaherdoust *et al.* (2020), la propiedad emulsionante, característica de los hidrolizados varía con factores como la solubilidad y el nivel de pH; este autor sostiene que la adición de emulsionantes produce efectos positivos sobre la digestión de proteínas al ralentizar el paso de la digesta en el intestino y, en consecuencia, aumentar el tiempo de contacto de las enzimas con el nutriente, promoviendo la lisis de los enlaces peptídicos y su posterior absorción. Además, la extrusión a la cual fueron sometidas las dietas para obtener los pellets, con su alta humedad, temperatura, presión y fuerza de cizallamiento, promovieron la desnaturalización de las proteínas y propiciaron un aumento del coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína cruda, facilitando la interacción enzima-sustrato y su posterior digestión (Ma *et al.*, 2016). Por otro lado, de acuerdo con Hao *et al.* (2020), los hidrolizados enzimáticos de fuentes de proteínas animales aumentan la absorción de aminoácidos, porque promueve la actividad de las enzimas digestivas y mejora la eficiencia en la síntesis de proteínas repercutiendo en el aumento de la tasa de crecimiento de los peces.

Las altas tasas de digestibilidad resultantes de la inclusión de hidrolizados en las dietas pueden mejorar la retención y la deposición de aminoácidos, estos procesos son esenciales para la acumulación de proteínas, el crecimiento y el mantenimiento de los tejidos corporales por parte de los peces (Kleber *et al.*, 2018).

En definitiva, cotejando los valores encontrados en esta investigación se ratificó que un estudio realizado por Wu *et al.* (2020) donde evaluaron diferentes fuentes proteicas reportaron coeficientes de digestibilidad aparente de proteína cruda (DAPC) de 76,76%, 70,80% y 73,51% para harina de hidrolizado enzimático de pescado, hígado de pollo y mucosa porcina respectivamente, en piensos para Tilapia del Nilo, los cuales fueron inferiores a los del presente estudio (89,07 ± 43% - 91,11 ± 0,18%). Sin embargo, los resultados de esta evaluación son similares a los del estudio realizado por Gunathilaka *et al.* (2020), quienes evaluaron hidrolizado de camarón e hidrolizado de residuos de tilapia en *Paralichthys olivaceus* (89,4% y 88,3% DAPC); también son similares a los encontrados por Campos *et al.* (2017), que evaluaron harina de plumas hidrolizada

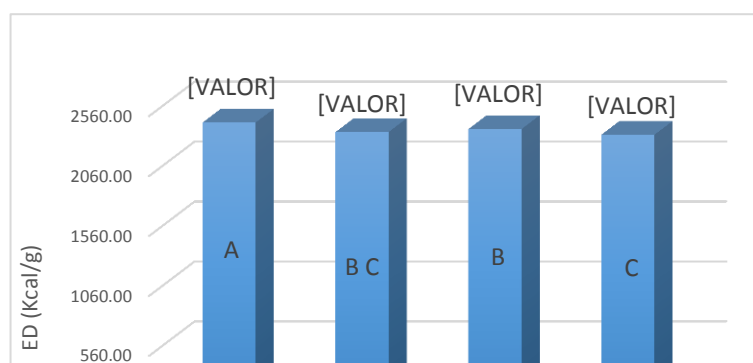
en *Dicentrarchus labrax* (91,9% DAPC) y Javaherdoust *et al.* (2020), que evaluaron hidrolizado visceral de trucha en *Oncorhynchus mykiss* (90% DAPC). Por otra parte, Khosravi *et al.* (2014) encontraron valores de DAPC relativamente superiores al evaluar hidrolizado de kril, hidrolizado de residuos de Tilapia e hidrolizado de camarón 94,9%, 93,5% y 94,7% respectivamente, en Platija del olivo (*Paralichthys olivaceus*).

#### 4.2.3 Digestibilidad aparente de energía bruta (DAEB) y energía digestible (ED)

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0019$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 14.

La prueba de promedios de Duncan permitió observar que hubo diferencias significativas, el T1 (0%HEVP) con valores de digestibilidad aparente de energía bruta de 79,74% fue superior al T3 (20% HEVP), T2 (10% HEVP) y T4 (30% HEVP) con valores de digestibilidad del 77,92%; 77,11% y 76,38% respectivamente como se muestra en la figura 14. Por otro lado, el T2 no presentó diferencias significativas con respecto a T3 y T4. Con respecto a la energía digestible Duncan permitió observar que hubo diferencias significativas, donde T1 (0% HEVP) con valores de energía 2420,25 Kcal/Kg fue superior al T3 (20% HEVP), T2 (10% HEVP) y T4 (30% HEVP) con valores de energía digestible de 2364,91; 2340,42 y 2318,07 Kcal/Kg respectivamente como se muestra en la figura 14. Por otro lado, el T2 no presentó diferencias significativas con respecto a T3 y T4.

**Figura 14.** Digestibilidad aparente de energía bruta y energía digestible



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

Los lípidos de la dieta son un importante proveedor de energía en todos los peces; en este sentido, la harina de pescado es una buena fuente de grasas y ácidos grasos esenciales (Galkanda *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos en esta evaluación muestran que la harina de pescado obtuvo un coeficiente de digestibilidad aparente de energía bruta más alto con respecto a los tratamientos que contenían hidrolizado, en base a esto Chi *et al.* (2016), argumentan que la harina de pescado por la longitud de la cadena de ácidos grasos, y el grado de insaturación de estos, propician una mejor oxidación, mejorando la digestibilidad de la energía bruta, considerando que, el contenido y la calidad de las grasas está directamente relacionado con la energía de la dieta.

Los ácidos grasos polinsaturados son más fáciles de digerir que los saturados, estos están presentes en elevados volúmenes en los hidrolizados, el contenido de energía digestible de los hidrolizados puede asociarse a la característica intrínseca de esta materia prima (Perea *et al.*, 2021). Paralelamente Maas *et al.* (2020) sugieren que el nivel de grasa y el nivel de energía en la dieta están altamente correlacionados, ya que la grasa tiene un alto equivalente energético ( $39,5 \text{ kJ g}^{-1}$ ), aumentando el contenido energético total de la dieta.

La tilapia, como pez omnívoro de aguas cálidas con un intestino largo, tiene el potencial de fermentación intestinal. La fermentación en el pescado tiene lugar en todo el intestino con una actividad microbiana creciente desde el extremo proximal al distal del intestino posterior, junto con niveles crecientes de ácidos grasos volátiles (AGV) hacia el extremo proximal. Los principales productos finales de los AGV de la fermentación de carbohidratos son acetato, propionato y butirato y, en menor medida, formiato, valerato, caproato y los ácidos de cadena ramificada isobutirato e isovalerato. Aunque la funcionalidad de los AGV en peces esta poco

documentada, se conoce que para cerdos y aves principalmente el acetato se utiliza como sustrato energético para el tejido muscular mediante síntesis de acetilcoenzima A. En el hígado, el propionato se usa para la gluconeogénesis, convirtiendo el propionato en glucosa, que proporciona una importante fuente de energía para las actividades metabólicas en el colon. El butirato es utilizado principalmente como fuente directa de energía por los colonocitos, proporcionando energía para sus actividades metabólicas y estimulando la proliferación de células epiteliales (Maas *et al.*, 2020). Por tanto, la susceptibilidad de fermentación de la fibra (7,69%) y el extracto libre de nitrógeno (24,34%) del HEVP, podrían haber contribuido en la digestibilidad de la energía bruta, propiciando una mejora del índice de eficiencia proteica, al limitar la cantidad de proteína que se utiliza como energía y optimizar las fuentes energéticas presentes en el hidrolizado (fibra y ELN) (Maas *et al.*, 2020).

López *et al.* (2015) argumentan que las especies omnívoras son más eficientes en la utilización energética con relación a los peces carnívoros y filtradores; la tilapia, especie utilizada en este estudio está catalogada dentro del grupo de peces omnívoros, por tanto, este factor se podría relacionar con los elevados coeficientes de digestibilidad aparente de energía bruta obtenidos en el presente trabajo.

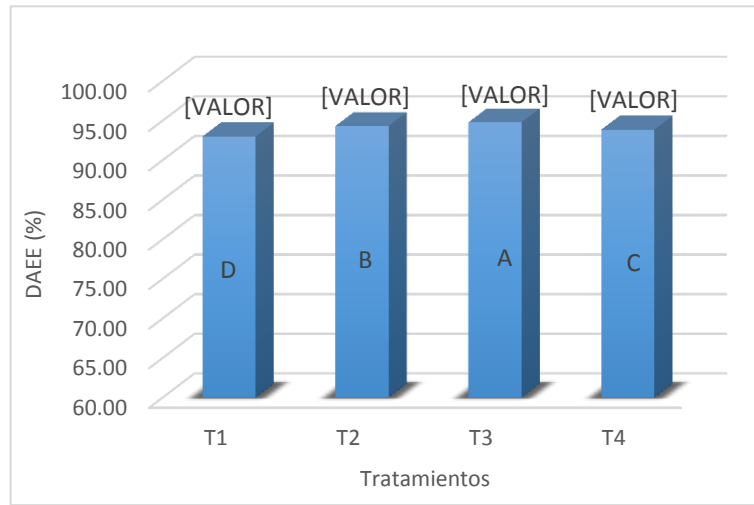
Estudios realizados por Aranibar *et al.* (2020) quienes evaluaron dos alternativas proteicas: hidrolizado de piel de ovejo (HSS) e hidrolizado de piel de alpaca (HSA) con un nivel de inclusión del 30% en piensos para Trucha arcoíris, reportaron coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de 73,3% HSS y 74,0% HSA respectivamente. De igual forma Paz *et al.* (2016) reportaron valores de CDA de 63,6% en harina de hidrolizado de vísceras de cachama evaluado en Arawana (*Osteoglossum bicirrhossum*), estos resultados son relativamente inferiores a los encontrados en este estudio (76,38% – 79,74%). Sin embargo, Campos *et al.* (2017), reportan coeficientes de DAEB superiores al evaluar hidrolizado de harina de plumas en piensos (5% inclusión) para Lubina europea, obteniendo valores de 85,55%. Por su parte, Dos Santos *et al.* (2021) también reporta coeficientes de DAEB superiores al evaluar proteínas hidrolizadas de hígado porcino, mucosa porcina, plumas y vísceras de pollo con valores de CDA de 79,53%, 96,62%, 83,37% y 87,29% respectivamente; estudio realizado en Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

#### **4.2.4 Digestibilidad aparente de extracto etéreo (DAEE)**

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0001$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 15.

La prueba de promedios de Duncan permitió observar diferencias significativas, donde el mejor fue T3 (20% HEVP) con valores de digestibilidad del 94,77% seguido de T2 (10% HEVP), T4 (30% HEVP) y T1 (0% HEVP) con valores de digestibilidad del 94,31; 93,85 y 93,00% respectivamente como se muestra en la figura 15.

**Figura 15.** Digestibilidad aparente del extracto etéreo (DAEE)



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

Los resultados sugieren que la hidrólisis de la proteína mejora el coeficiente de digestibilidad del extracto etéreo hasta el 20% inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, esto se puede explicar posiblemente debido a que la calidad de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico principalmente) presentes en los hidrolizados, facilitan la digestibilidad de los lípidos en los peces (Hoyos *et al.*, 2018). Por otro lado, Paz *et al.* (2016), afirman que los ácidos grasos de las series omega 3 y omega 6 tienen funciones fisiológicas relacionadas con el crecimiento y el sistema inmunológico. Los mismos autores sostienen que estos ácidos grasos están presentes en los hidrolizados de vísceras de pescado y de pollo, y como consecuencia se registra mejor digestibilidad de las grasas en comparación con materia primas tradicionales. De otro modo, según Wu *et al.* (2020) la hidrólisis a la cual fueron sometidas las vísceras además de liberar péptidos y aminoácidos tiene la capacidad de hidrolizar las grasas liberando ácidos grasos; en contraste las grasas contenidas en la harina de pescado se encuentran en su forma intacta, estas deben hidrolizarse para ser absorbida por el organismo

Por otra parte, la propiedad emulsionante, característica de los hidrolizados, media la mezcla de grasas en agua, lo que conduce a la formación de moléculas polares y apolares y facilita el efecto de la enzima lipasa sobre estas moléculas y mejora la digestión de las grasas (Javaherdoust *et al.*, 2020). Además, Kleber *et al.* (2018) sostienen la hipótesis de que una menor concentración de fuentes de energía no proteica probablemente estimula la secreción de lipasa y de este modo se optimiza la digestión de la grasa en la dieta, en este estudio la energía de la dieta se suministró teniendo en cuenta el requerimiento energético de la especie, por tanto, se podría suponer que este fue un factor que influyó favorablemente en la DAEE como se evidencia en los resultados.

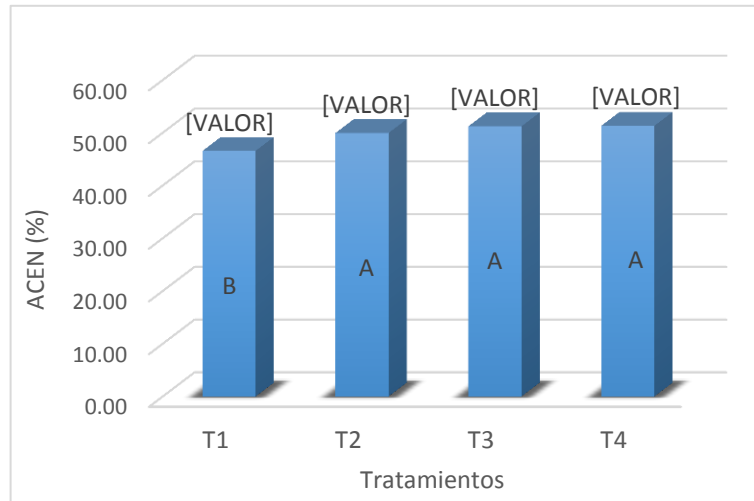
Contrastando los valores reportados, se comprobó que en un estudio realizado por Wu *et al.* (2020) encontraron datos inferiores a los encontrados en este estudio ( $93 \pm 0,12\%$  -  $94,77 \pm 0,14\%$ ) con respecto a coeficientes de digestibilidad aparente de energía bruta (DAEE) de 85,06%, 87,69% y 88,37% para harina de hidrolizado enzimático de pescado, hígado de pollo y mucosa porcina respectivamente, evaluados en *Oreochromis niloticus*. Los datos de este estudio son superiores a los reportados por Aranibar *et al.* (2020) quienes evaluaron hidrolizado de piel de ovejo e hidrolizado de piel de alpaca en Trucha arcoíris, los coeficientes de DAEE fueron 70,0% y 70,4% respectivamente. También son superiores a los reportados por Hao *et al.* (2020) quienes evaluaron en rodaballo (*Scophthalmus maximus*) hidrolizados enzimáticos de subproductos avícolas, donde encontraron valores de DAEE de 83,67%; Paz *et al.* (2016) reportaron una DAEE de 90,4% al evaluar hidrolizado de vísceras de cachama en Arawana (*Osteoglossum bicirrhossum*), estos valores son inferiores a los reportados en este estudio. Por su parte López *et al.* (2015) reportan coeficientes de DAEE relativamente superiores 95,3% al evaluar harina de hidrolizado de vísceras de Cachama blanca en la misma especie.

#### **4.2.5 Absorción de cenizas (ACEN)**

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0243$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 16.

La prueba de promedios de Duncan permitió observar que hubo diferencias significativas, donde T4 (30% HEVP), T3 (20% HEVP) y T2 (10% HEVP) con valores de absorción de cenizas de 51,32%; 51,21% y 49,95% respectivamente fueron superiores al T1 (0% HEVP) con valores de 56,57%, como se muestra en la figura 16.

**Figura 16.** Absorción de cenizas (ACEN)



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

De acuerdo con Perea *et al.* (2021) los resultados de este estudio se pueden explicar posiblemente a la utilización de ácidos orgánicos (fórmico) en el proceso de hidrólisis, este fluido influye en el aprovechamiento de los minerales por el animal, debido a la solubilidad generada por la acidez. Además, las materias primas con alto contenido de cenizas podrían afectar la digestibilidad de otros nutrientes (proteína) en la dieta, por tanto, los mismos autores recomiendan que el contenido de cenizas en un ingrediente se mantenga inferior al 12%, por último, los resultados también se pueden explicar posiblemente a la acidez gástrica que es un factor importante que afecta favorablemente la biodisponibilidad de los minerales dietéticos. (Hossain & Yoshimatsu, 2014). Los hidrolizados enzimáticos de fuentes animales pueden mejorar su eficiencia de utilización al aumentar la absorción de elementos minerales y, por lo tanto, pueden mejorar la tasa de crecimiento (Hao *et al.*, 2020).

Los valores reportados en un estudio realizado por Javaherdoust *et al.* (2020) donde evaluaron hidrolizado de vísceras de trucha son superiores (67%) a los encontrados en este estudio ( $51,32\% \pm 0,40$ ). Por el contrario, los resultados de absorción de cenizas en un estudio realizado por Perea *et al.* (2021) llevado a cabo en Cachama blanca donde se evaluó tres alternativas proteicas (43,27% hidrolizado vísceras de trucha, 42,42% hidrolizado vísceras de pollo y 43,84% hidrolizado vísceras de cerdo) fueron inferiores a los encontrados en esta investigación

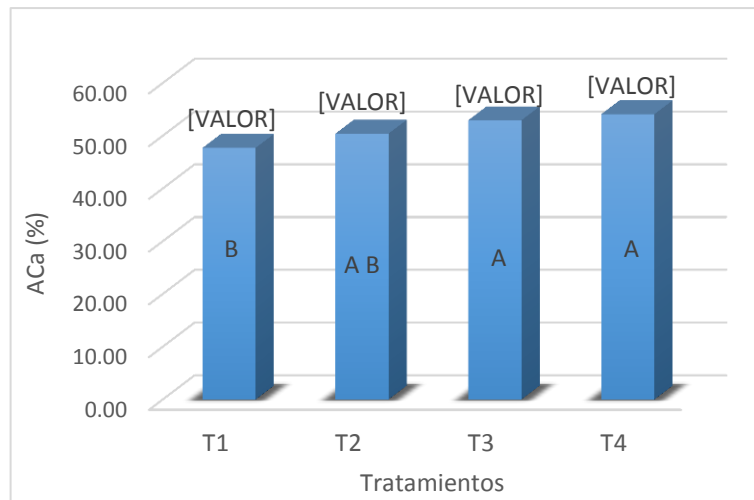


#### 4.2.6 Absorción de calcio (ACa)

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0579$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 17.

La prueba de promedios de Duncan permitió observar que hubo diferencias significativas, donde T4 (30% HEVP) y T3 (20% HEVP) y T2 (10% HEVP) con valores de absorción de calcio de 54,09%; 52,94% y 50,40% respectivamente fueron superiores al T1 (0% HEVP), por otro lado, el T2 no presenta diferencias significativas con respecto al T1, como se muestra en la figura 17.

**Figura 17.** Absorción de calcio (ACa)



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

Shiau & Tseng. (2007) demostraron claramente que el Ca en la dieta es esencial para el crecimiento normal de la tilapia en fase juvenil criada en agua dulce. La harina de pescado es el ingrediente más utilizado en la alimentación de los peces, esta contiene cantidades suficientes de Ca y fósforo (P). Sin embargo, en esta materia prima, el Ca se combina con el P y forma el complejo hidroxiapatita o TCP. Debido a la complejidad de la estructura del TCP el Ca y el P están menos disponibles para algunas especies de peces; la baja solubilidad de este compuesto puede ser una de las razones que limitan su absorción (Hossain & Yoshimatsu, 2014). En contraste Perea *et al.* (2021), sugieren que altos valores de absorción aparente del Ca y P se deben

posiblemente al efecto del ácido fórmico presente en los hidrolizados, el cual, por el efecto acidificante solubiliza los minerales y mejora su disponibilidad. Paralelamente, Shiau & Tseng. (2007), argumentan que la forma en que se utiliza el Ca en la dieta influye directamente en su absorción.

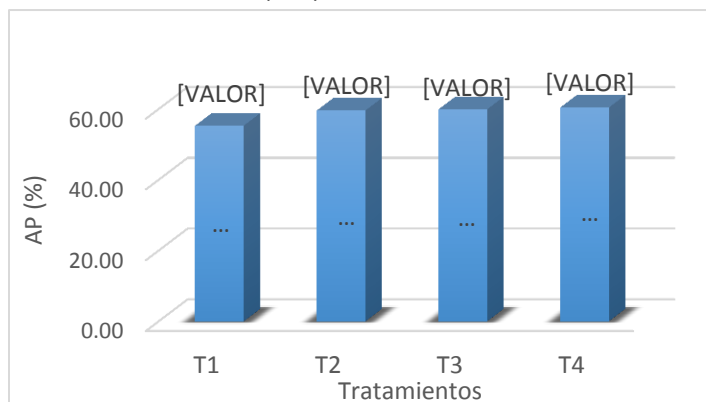
Contrastando, los resultados de absorción de calcio (Aca) de este estudio ( $47,71\% \pm 5 - 54,09 \pm 0,08\%$ ) se encontró que son relativamente inferiores a los reportados por Hekmatpour et al. (2018) (61,82% - 63,58%) quienes evaluaron harina de subproductos de aves de corral (PBM) en alimentación de juveniles de dorada de soba (*Sparidentex hasta*), e inferiores a los reportados por Frei et al. (2021) (60,08%) quienes evaluaron harina de subproductos avícolas (PBM) en bagre plateado (*Rhamdia voulezi*), sin embargo, son superiores a los reportados por Perea et al. (2021) quienes evaluaron hidrolizado de vísceras de trucha (38,69%), en hidrolizado de vísceras de pollo (38,46%) y en hidrolizado vísceras de cerdo (38,86%) evaluados en piensos para Cachama blanca.

#### 4.2.7 Absorción de fósforo (AP)

A través de un análisis de varianza (ANOVA) se observaron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0800$ ) entre los tratamientos, de acuerdo con el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP). Ver figura 18.

La prueba de promedios de Duncan permitió observar que hubo diferencias significativas, donde T4 (30% HEVP), T3 (20% HEVP) y T2 (10% HEVP) con valores de absorción de fósforo de 69,42%; 59,92% y 59,61% respectivamente fueron superiores al T1 (0% HEVP) como se muestra en la figura 18.

**Figura 18.** Absorción de fósforo (AP)



Fuente: Este estudio, 2021

Las medias con letra diferente entre las columnas indican que hay diferencia significativa entre los tratamientos ( $\alpha < 0,05$ ).

Al igual que otros animales acuáticos, los peces tienen la capacidad de absorber fósforo del agua. Cabe destacar que el aporte de este mineral por parte del agua es mínimo. Además, la absorción por este mecanismo es baja. Por tal motivo los peces deben obtener la mayor parte del fósforo de la dieta (Yao *et al.*, 2014; Hossain & Yoshimatsu, 2014). En base a esto, López *et al.* (2015) argumentan que la asimilación de este mineral ocurre en los primeros tramos del intestino. Complementariamente Torres & Hurtado. (2012) y Yao *et al.* (2014), plantean que la absorción de fósforo depende del grado de molido del alimento y la solubilidad en el punto de contacto con la membrana de absorción.

Por tanto, teniendo en cuenta lo anterior, y de acuerdo con Torres & Hurtado. (2012) quienes mencionan que el fósforo contenido en los alimentos vegetales es menos disponible, debido a que se encuentra en forma de ácido fítico y la tilapia no produce la enzima fitasa, necesaria para hidrolizar las sales del ácido fítico; se puede afirmar que los altos valores de absorción aparente de fósforo encontrados en el presente estudio con alimentos de origen animal (hidrolizados de vísceras), se debe posiblemente al efecto del ácido orgánico (ácido fórmico) utilizado en el proceso de hidrólisis, el cual solubilizó, hizo asimilable el mineral por parte de los peces (Perea *et al.*, 2021).

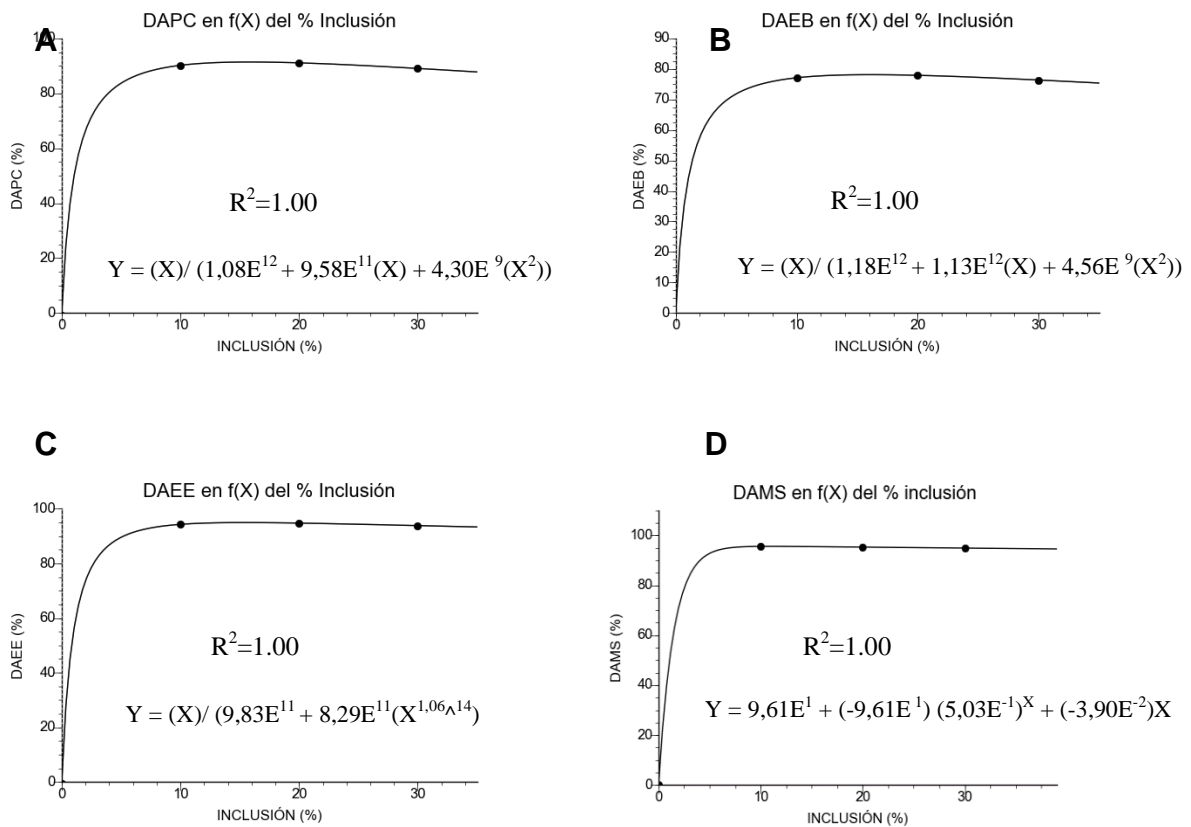
Por otra parte, aunque Torres & Hurtado. (2012) mencionan que niveles elevados de calcio en la ración promueven un efecto inhibitorio sobre la absorción del fósforo, debido a la formación de compuestos de baja solubilidad para los iones de calcio y fósforo, tener en cuenta los requerimientos de estos minerales para Tilapia roja favoreció la absorción del mineral (Vásquez, 2004).

Campos *et al.* (2017) reportaron valores de absorción de fósforo (AP) 44,4% en harina de hidrolizado enzimático de mucosa porcina en piensos para *Dicentrarchus labrax* (Lubina europea), siendo estos inferiores a los encontrados en este estudio ( $60,42 \pm 0,32\%$ ). Por otra parte, en un estudio realizado por Perea *et al.* (2021), la AP fue relativamente similar (53,22% - 54,49%) a los encontrados en este estudio ( $55,31 \pm 4,5\%$  -  $60,42 \pm 0,32\%$ ) cuando se evaluaron tres alternativas proteicas (hidrolizado vísceras de trucha, hidrolizado de vísceras de pollo e hidrolizado de vísceras de cerdo) en cachama blanca.

### 4.3 ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN DEL EFECTO DEL NIVEL DE INCLUSIÓN DEL HIDROLIZADO ENZIMÁTICO DE VÍSCERAS DE POLLO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE NUTRIENTES.

En la figura 19 (A, B, C y D) se puede observar que el nivel de inclusión de HEVP se encuentra directamente relacionada con la digestibilidad de la proteína cruda (PC), energía bruta (EB), extracto etéreo (EE) y la absorción de cenizas (CEN); el mayor porcentaje de coeficiente de digestibilidad se encuentra en un rango del 20% de inclusión y tiende a disminuir a medida que aumenta el porcentaje de inclusión de HEVP para DAPC, DAEB y DAEE. Sin embargo, la absorción de cenizas aumenta a medida que aumenta el nivel de inclusión.

**Figura 19.** Correlación del coeficiente de digestibilidad aparente y el porcentaje de inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP).



Fuente: Este estudio, 2021

- A Correlación entre el nivel de inclusión de HEVP y DAPC
- B Correlación entre el nivel de inclusión de HEVP y DAEB
- C Correlación entre el nivel de inclusión de HEVP y DAEE
- D Correlación entre el nivel de inclusión de HEVP y ACEN

La disminución del coeficiente de digestibilidad aparente de los nutrientes en este estudio se observó al aumentar el nivel de inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP), con respecto a esto, se plantea que los nutrientes de la dieta pueden influir en las composiciones microbianas, lo que se ha demostrado en muchas especies de peces. Muchos microorganismos intestinales utilizan péptidos cortos como sustrato, y el hidrolizado de proteínas puede modular la interacción entre las bacterias y los enterocitos del huésped. Con la sustitución de harina de pescado por hidrolizados enzimáticos de subproductos avícolas (EHPB) se observó un cambio en la estructura de la comunidad microbiana, que aumentó las bacterias *Phyllobacterium*, *Sphingomonas* y *Delftia*, que están relacionados con la degradación de compuestos aromáticos. Una dieta alta en EHPB (340 g/kg) puede causar la acumulación de algunas sustancias tóxicas, posiblemente derivados de aminoácidos aromáticos en el tracto intestinal, que causan daño al cuerpo, conducen al desorden de la comunidad microbiana intestinal y luego afectan la digestión y absorción de los nutrientes (Hao *et al.*, 2020).

Por otra parte, un estudio realizado por Dawood *et al.* (2020), donde evaluaron harina de subproductos avícolas fermentados en alimentos para tilapia del Nilo, en diferentes niveles de inclusión (10%, 20%, 30% y 40 %), una de las variables de respuesta fue la actividad de las enzimas digestivas, estos autores argumentan que los altos niveles de inclusión de hidrolizados (40%) pueden debilitar la digestión y el uso de alimentos al afectar la actividad de las enzimas digestivas, entre estas, la lipasa, enzima que tiene como función degradar los lípidos contenidos en los alimentos. Complementariamente, Kleber *et al.* (2018), informaron que el tamaño y el exceso de péptidos pueden aumentar la actividad de la quimotripsina y reducir la producción de enzimas en el borde del cepillo intestinal, o aumentar el catabolismo y alterar la absorción de aminoácidos, produciendo una disminución de la síntesis de proteínas y reducción de la tasa de crecimiento en los peces.

Referente a la disminución de la digestibilidad aparente de la proteína cruda, Wei *et al.* (2019) evaluaron la absorción de aminoácidos y las expresiones génicas derivadas de utilizar hidrolizado de proteína de pescado en la alimentación de Rodaballo (*Scophthalmus maximus*), en su discusión los autores argumentan que, por un lado, un alto nivel de hidrolizado de proteína de pescado (180 g/Kg) puede causar una absorción más rápida de AA y péptidos pequeños a través de la pared intestinal, que eventualmente conduce a un desequilibrio en la absorción de AA. Por otra parte, sostienen que la absorción de AA y di- o tripéptidos es mediada por transportadores de péptidos y AA. PepT1, como transportador independiente de Na<sup>+</sup> y dependiente de H<sup>+</sup>, podría transportar todos los 400 dipéptidos y 8.000 tripéptidos potenciales. PepT1 se expresaba en gran medida en el intestino de los peces desde las regiones proximales a las distales, lo que sugeriría que todo el intestino podría estar involucrado en la absorción de péptidos (Xu *et al.*, 2016). En

su estudio Wei *et al.* (2019) analizaron la expresión de PepT1 en diferentes segmentos intestinales mostrando que altos niveles de hidrolizado de proteína de pescado regulaban negativamente la expresión de ARNm de PepT1 en el intestino proximal y distal, dado que PepT1 podría ser regulado por sus propios sustratos transportados, la inclusión de hidrolizado en altos niveles en las dietas podría proporcionar un exceso de dipéptidos o tripéptidos que no serían transportados al enterocito debido a la ausencia del transportador. De manera similar a PepT1, las expresiones de los transportadores de AA, incluidos B<sup>0</sup>AT1, CAT1, PAT1 y y+LAT2, habían disminuido en el intestino proximal o distal en los peces alimentados con la dieta que contenía hidrolizado de proteína de pescado. Los transportadores de AA exhibían distintas especificidades de sustrato para transportar AA al enterocito (Chen *et al.*, 2018). Los transportadores B<sup>0</sup>AT1, CAT1, y+LAT2 y PAT1 son responsables de la captación de AA neutros, AA catiónicos, AA neutros y catiónicos, e iminoácidos (prolina e hidroxiprolina) y glicina, respectivamente (Wei *et al.*, 2019).

Desde otra perspectiva, las altas concentraciones de un aminoácido pueden afectar la tasa de absorción de otro aminoácido, algunas diferencias en las tasas de absorción podrían ser el resultado de una ventaja competitiva de un determinado aminoácido sobre otros aminoácidos en la unión al mismo sitio de transporte en una molécula portadora. Además, las tasas de absorción comparativamente altas de algunos aminoácidos pueden ser causada por más de un sistema de transporte (Rosas *et al.*, 2008). En consecuencia, Javaherdoust *et al.* (2020), sugieren que la saturación de los mecanismos de transporte intestinal por péptidos y aminoácidos lumbales es una posible razón del crecimiento inferior en algunas especies. Estos autores afirman que un nivel apropiado de suplementación con hidrolizados podría mejorar los índices de crecimiento de los peces.

En este estudio se encontró una disminución del coeficiente de digestibilidad aparente de materia seca, a medida que se aumentó el nivel de inclusión de hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, las dietas presentaban mayor porcentaje de lípidos (8,46% a 12,79%), entre ellos los poliinsaturados, en base a esto Ma *et al.* (2016), mencionan que un nivel reducido o excesivo de lípidos podría disminuir la digestibilidad de los nutrientes, estos autores encontraron que tilapias alimentadas con dietas que contenía 60 g kg<sup>-1</sup> de lípidos tenían el coeficiente de digestibilidad aparente más alto de materia seca que los peces alimentados con dietas que contenían 40 u 80 g kg<sup>-1</sup> de lípidos. Paralelamente, JR Webb *et al.* (2010), mencionan que altos valores de lípidos poliinsaturados tienen una propensión a la autooxidación, lo que afecta la absorción de nutrientes, reduce la disponibilidad de lípidos en la dieta al producir una serie de subproductos tóxicos para los peces (rancidina, cetonas, radicales libres, etc.).

Por último, con relación al coeficiente de digestibilidad aparente de la energía bruta, se plantea que la disminución de este en la medida que aumentó el porcentaje de inclusión del hidrolizado es debido a la disponibilidad de aminoácidos di y tripéptidos suministrados en el hidrolizado, es decir, el pez metabólicamente utilizó estos para saciar sus requerimientos energéticos, lo que conllevó a la subutilización de la energía contenida en los carbohidratos y lípidos del hidrolizado (Teles *et al.*, 2019).

## 5 CONCLUSIONES

En este estudio se demuestra que el hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP) tiene alta calidad nutricional (equilibrio del perfil de aminoácidos) y excelentes resultados de digestibilidad aparente de materia seca ( $95,60 \pm 0,30\%$ ), extracto etéreo ( $94,77 \pm 0,15\%$ ), proteína cruda ( $91,11 \pm 0,18\%$ ) y energía bruta ( $79,74 \pm 0,74\%$ ) en alimentación de juveniles de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) en fase de levante.

El proceso de hidrólisis además de ser fácil, práctico y rápido promueve la disminución del impacto ambiental aprovechando subproductos provenientes de plantas de sacrificio del sector pecuario, específicamente las vísceras de pollo y trucha que generalmente son subestimadas; además contribuye a mejorar la rentabilidad de las estaciones piscícolas al sustituir parcialmente la harina de pescado

El hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP) es una materia prima de alto valor biológico para alimentación de peces, sin embargo, al incluir el 30% HEVP en la dieta, afectó el proceso de digestión y absorción a nivel intestinal, presentándose alteraciones en la actividad enzimática, flora intestinal, transportadores moleculares, acumulación de sustancias tóxicas e ineficiencia en el aprovechamiento de la energía, pese a ello el hidrolizado se puede incluir hasta un 20% con el 65,07% grado de hidrólisis en piensos para tilapia roja (*Oreochromis spp*).

El proceso de hidrólisis enzimático mejoró la absorción de los minerales a medida que se incrementó el nivel de inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo, debido a la utilización de ácido fórmico y capacidad digestiva que tiene el pez.



## 6 RECOMENDACIONES

Se recomienda la inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en un 20%, contrastándolo con parámetros productivos y de crecimiento, con el propósito de evidenciar la interacción que tiene el hidrolizado enzimático en el desarrollo y producción de biomasa en los peces.

Se sugiere evaluar el efecto nutricional del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo en la alimentación de Tilapia roja (*Oreochromis spp*) fase de levante como alternativa nutricional en porcentajes de inclusión entre el 20 y 30 % con un grado de hidrólisis del 65,07%, con el fin de encontrar la inclusión que optimice el aprovechamiento del hidrolizado.

La estructura molecular de la proteína de pescado posiblemente difiere al compararla con la de pollo, y aunque, el proceso de hidrólisis hace más disponible la proteína al llevarlos a aminoácidos, debido a su origen se recomienda realizar estudios que proporcionen más información del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP) sobre la microbiología y morfología intestinal, modulación de procesos energéticos, salud, composición corporal y condición final del pez para el mercado.

Por último, se recomienda realizar estudios de digestibilidad aparente de nutrientes bajo diferentes niveles de inclusión del hidrolizado enzimático de vísceras de pollo (HEVP) en otras especies de peces y en otras etapas productivas.

## BIBLIOGRAFÍA

ADAMIDOU, S, *et al.* Growth, feed utilization, health and organoleptic characteristics of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed extruded diets including low and high levels of three different legumes. *Aquaculture*, vol. 293, no 3, p. 263-271. 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.045>

AMIRKOLAIE, A. K., VERRETH, J. A., & SCHRAMA, J. W. Effect of gelatinization degree and inclusion level of dietary starch on the characteristics of digesta and faeces in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). *Aquaculture*, vol. 1, no 4, p. 194 - 205. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.039>.

ANGULO RODRÍGUEZ, Amanda Aleyda, *et al.* Bioquímica. Culiacán: Universidad Autónoma de Sinaloa, 2011, 202 p.

ARANÍBAR-ARANÍBAR, Marcelino Jorge, *et al.* Nutritive value and digestibility of macronutrients from sheep and alpaca skin hydrolysates as a new alternative in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feeding, *Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 23, no 1, 2020. <https://doi.org/10.1186/s41240-020-00174-7>

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 985.35. Cp. 50, p.15. 2005

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, Erland. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*, Vol 13 (3), p. 265 - 272. 1978.

AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA – AUNAP. Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia (PlaNDAS), 2014. Disponible en: <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf>

BARRETO CUIEL, Fernando, *et al.* Total and partial fishmeal substitution by poultry by-product meal (petfood grade) and enrichment with acid fish silage in aquafeeds for juveniles of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Revista latinoamericana de investigaciones acuáticas, vol. 44, no 2, p. 327 – 335. 2016.

BENÍTEZ, Ricardo, IBARZ Albert y PAGAN Jordi. Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, vol. 42, no 2, p. 227 - 236. 2008.

BRINGAS ALVARADO, Lorena, *et al.* Evaluación del ensilado fermentado de subproductos de tilapia y su utilización como ingrediente en dietas para bagre de canal. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, vol. 20, no 2, p. 85 - 94. 2018.

BUI, Hien Thi Dieu, *et al.* Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates. Aquaculture, vol. 418-419, pp. 11-16, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.046>

CAO, Suhui., *et al.* Assessing feasibility of replacement of fishmeal with enzyme-treated feather meal in the diet of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). vol. 2016, no. December 2019, pp. 1–13, 2020.

CAMPOS, I, *et al.* Hydrolyzed feather meal as a partial fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles, Aquaculture, vol. 476, p. 152–159, 2017. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.024

CARVALHO, Kerolay Valadão, *et al.* Poultry byproducts and swine liver used in diets for Nile tilapia juveniles, Lat. Am. J. Aquaculture Research, vol. 48, no. 5, p. 895–900, 2020. doi: 10.3856/vol48-issue5-fulltext-2524

CASTILLO CAMPO, Luis Fernando. Tilapia Roja 2011 Una evolución de 29 años, de la incertidumbre al éxito. Editorial Académica Española, 2012, 356 p.

CHEN, Cancan, *et al.* Glucose and amino acid in enterocyte: absorption, metabolism and maturation. *Frontiers In Bioscience*, vol. 23, no 9, pp 1721-1739. 2018. doi: <https://doi.org/10.2741/4669>

CHI, Shuyan, *et al.* The Apparent Digestibility Coefficients of 13 Selected Animal Feedstuff for Cobia, *Rachycentron canadum*. *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 48, no 2, pp 280-289. 2016.

CHO, C. Y; SLINGER, S. J & BAYLEY, H. S. Bioenergetics Of Salmonid Fishes" Energy Intake, Expenditure And Productivity. *Comparative Biochemistry Physiology*, vol. 73, no1, pp 25 - 41. 1982. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(82\)90198-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(82)90198-5)

CHOI, Dong Gyu. *et al.* Replacement of fish meal with two fermented soybean meals in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*. vol. 26, n.o 1, pp. 37-46, 2020.

CHOTIKACHINDA, Rutchanee , *et al.* Tuna viscera hydrolysate products prepared by different enzyme preparations improve the feed intake and growth of *Asian seabass, Latescalcarifer*, fed total fishmeal replacement diets. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, vol. 40, no 1, p. 167 - 177. 2018.

CONGRESO DE COLOMBIA. Estatuto nacional de protección de los animales Ley 84 de 1989 (Diciembre 27), vol. 5, Diciembre 27. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario, 1989, p. 15.

DA SILVA RIBEIRO, Melquisedeque, *et al.* Fish protein hydrolysate as an ingredient in diets for *Arapaima gigas* juveniles. *Vol. Inst. Pesca*, vol. 44. p. 85 - 92. 2017.

DAVID RUALES, Carlos A; BEDOYA MEJÍA, Oswaldo y MILLÁN CARDONA Leónidas. Silo de vísceras de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) como suplemento en alimentación de ovinos. *REVISTA PRODUCCIÓN + LIMPIA*, vol. 13, no 2, p. 29 - 36. 2018.

DAWOOD, Mahmoud A, *et al.* Evaluation of Yeast Fermented Poultry By-Product Meal in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Feed: Effects on Growth Performance, Digestive Enzymes Activity, Innate Immunity, and Antioxidant Capacity. *Frontiers in Veterinary Science*. vol. 6, no 516, p. 1-9. 2020. doi: 10.3389/fvets.2019.00516

DOS SANTOS CARDOSO, Marjana , *et al.* Apparent digestibility of protein hydrolysates from chicken and swine slaughter residues for Nile tilapia. *Aquaculture*, Vol 530, p. 1 - 8. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735720>

DUNCAN, David B. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*, vol. 11, no 1, p. 1 - 42. 1955.

EL-SAYED, Abdel-Fattah M. *Tilapia Culture: Second Edition* . Alexandria , Egypt: Prensa académica, 2019, 358 p.

ESCASO SANTOS Fernando, MARTÍNEZ GUITARTE José Luis y PLANELLÓ CARRO Maria del Rosario. *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal*. [ed.] Miguel Martín Romo. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S. A, 2010, 264 p.

FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Sostenibilidad en acción*. Roma: FAO, 2020, 244 p.

FEDERACIÓN COLOMBIANA DE ACUICULTORES (FEDEACUA), *Cartilla de productividad para Tilapia en Colombia*. 2018. [Citado el 2 septiembre 2020]. Disponible en: <https://fedecua.org/contact/>

FERRAZ DE ARRUDA, Lia; BORGHESI, Ricardo & OETTERER, Marília. Use of Fish as Silage - A Review. *Brazilian Archive of biology and technology*, vol. 50, 5, p. 879 - 886. 2007.

FREI, Guilherme Rodrigo, *et al.* Mineral digestibility of different animal sources for the silver catfish *Rhamdia voulezi*. *Latin American Journal of Aquatic Research*. vol. 49, no 3, p. 476-484. 2021. doi:10.3856/vol49-issue3-fulltext-2656

GALKANDA ARACHCHIGE, H S; WILSON A E, y DAVIS D A. Success of fishmeal replacement through poultry by-product meal in aquaculture feed formulations: a meta-analysis. *Reviews in Aquaculture* . vol. 12, no 3, p.1624-1636. 2019.

GÓMEZ DAZA, Elcy. Estudio de gestión ambiental para la empresa avícola agrícola mercantil del cauca - Agricca S.A. Trabajo presentado para optar al título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. 2012 [Citado el 15 de Junio del 2020]. Disponible en: [https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/563/402\\_Gómez\\_Daza\\_Elcy\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/563/402_Gómez_Daza_Elcy_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

GUO, Jingping, *et al.* Hydrolysed salmon meal as a replacement for salmon meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture Nutrition*. vol. 26, no. 2, p. 368–381. 2020.

GUNATHILAKA, Buddhi E, *et al.* Evaluation of shrimp or tilapia protein hydrolysate at graded dosages in low fish meal diet for olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture Nutrition*, vol. 26, no 5, p. 1592 - 1603. 2020. <https://doi.org/10.1111/anu.13105>

GUTIÉRREZ-ESPINOSA, Mariana Catalina; VELASCO-GARZÓN, Juan Sebastian & LEÓN-MORALES, Carlos Arturo. 'Revisión: necesidades nutricionales de peces de la familia Pimelodidae en Sudamérica (*Teleostei: Siluriformes*)', *Revista de Biología Tropical*. (Int. J. Trop. Biol. ISSN, vol. 67, no. 1, pp. 146–163, 2019.

GUTIÉRREZ-ESPINOSA, Mariana C; YOSSA-PERDOMO, Martha I y VÁSQUEZ-TORRES, Walter. 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.o 2, p. 169, 2011. doi:10.22579/20112629.16

HAHN-VON HESSBERG, Christine M; GRAJALES QUINTERO, Alberto y NARVÁEZ SOLARTE William. Coeficiente de Digestibilidad Aparente de Plantas Forrajeras Comunes en Zona Andina para Alimentación de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*). *Información Tecnológica*, vol. 27, no 4, p. 63 - 72. 2016.

HAO, Yao-Tong , *et al.* Effects of enzymatic hydrolysates from poultry by-products (EHPB) as an alternative source of fish meal on growth performance, hepatic

proteome and gut microbiota of turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture Nutrition, vol. 26, no 6, pp 1994 - 2006. 2020. <https://doi.org/10.1111/anu.13141>

HEKMATPOUR, Fatemeh *et al.* Inclusion of poultry by-product meal in the diet of *Sparidentex* hasta: Effects on production performance, digestibility and nutrient retention. Animal Feed Science and Technology. vol. 241, p.173-183, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.02.010>.

HLEAP ZAPATA, José Igor y GUTIÉRREZ CASTAÑEDA, Claudio Alejandro. Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. -Una revisión. Acta Agronómica, vol. 66, no 3, p. 311 – 322. 2017.

HOSSAIN, M A, & YOSHIMATSU, T. Dietary calcium requirement in fishes. Aquaculture Nutrition, vol. 20, no 1, p. 1-11. 2014. doi: 10.1111/anu.12135

HOYOS CONCHA, José Luis, *et al.* Chemical Characterization of Hydrolyzed Protein Meal Obtained from Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) By-Products Silage. Indian Journal of Science and Technology, vol. 11, no 16, p. 1-13. 2018.

JAVAHERDOUST, Shaghayegh; YEGANEH Sakineh & AMIRKOLAIE, Abdolsamad keramat. Effects of dietary visceral protein hydrolysate of rainbow trout on growth performance, carcass composition, digestibility and antioxidant enzyme in juvenile *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture Nutrition, Vol 26(1), p. 134 - 144. 2020. <https://doi.org/10.1111/anu.12975>

JR WEBB, KA; RAWLINSON, LT & HOLT, GJ. Effects of dietary starches and the protein to energy ratio on growth and feed efficiency of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. Rachycentron canadum. Nutrición de la acuicultura, vol. 16, no 5, p. 447–456. 2010. doi: 10.1111 / j.1365-2095.2009.00672.x

KHOSRAVI, S, *et al.* Effect of dietary hydrolysate supplementation on growth performance, non-specific immune response and disease resistance of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) challenged with *Edwardsiella tarda*. Aquaculture Nutrition, vol. 21, no 6, p. 321 - 331. 2014. <https://doi.org/10.1111/anu.12157>

KLEBER LORENZ, Evandro, *et al.* Dietary Protein Hydrolysates from Animal By-Products: Digestibility and Enzymatic Activity for *Dourado Salminus brasiliensis*.

Journal of Aquatic Food Product Technology, vol. 27, no 2, p. 236 - 246. 2018.  
<https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1424745>

LÓPEZ MACÍAS, Jorge Nelson; SALAZAR RAMOS, Diana Omaira y IZQUIERDO ROSERO, Cesar Andres. 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 Biológica Paranaense, vol. 44, no 1, p. 7 - 16. 2015.

LÓPEZ-MACÍAS, Jorge. & SALAS-BENAVIDES, Julbrinner. Efecto de harina de hidrolizado de vísceras en el crecimiento de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista MVZ Córdoba. Vol. 16, no 1, (2021).  
<https://doi.org/10.21897/rmvz.1989> Original

LUPATSCH, Ingrid. Quantifying nutritional requirements in aquaculture: the factorial approach, p. 417 - 439. 2009.

LLANES IGLESIAS, José E, *et al.* Evaluación de dieta seca con ensilado de subproductos cárnicos para cultivo intensivo de *Clarias gariepinus*. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras, vol. 32, no 1, p. 29-35. 2015.

MA, F, *et al.* Effects of extruded and pelleted diets with differing lipid levels on growth, nutrient retention and serum biochemical indices of tilapia (*Oreochromis aureus* x *Tilapia nilotica*). Aquaculture Nutrition, vol. 22, no 1, p. 61 - 71. 2016.  
<https://doi.org/10.1111/anu.12229>

MAAS, Roel M, *et al.* Carbohydrate utilisation by tilapia: a meta-analytical approach. Aquaculture, vol. 12, no 3, p. 1851 - 1866. 2020.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12413>

MACH, DTN & NORTVEDT, R. Free amino acid distribution in plasma and liver of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) fed increased levels of lizardfish silage. Aquaculture Nutrition, vol. 17, no 2, p. 644-656. 2011.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00814.x>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL - MADR. Dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas. 2020. [Citado el 13 de agosto del



2020]. Disponible en:  
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Paginas/Direccion-de-Cadenas-Pecuarias.aspx>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL – MADR. Decreto número 2113 de 2017. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario, 2017, p. 6.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL – MADR. DIRECCIÓN DE CADENAS PECUARIAS, PESQUERAS Y ACUÍCOLAS CADENA AVÍCOLA. p. 32, 2021.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL – MADR. Resolución número 253 de 2020. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario, 2020, p. 45.

NATES, Sergio F. Hidrolizados de co-productos de origen animal una fuente de importantes moléculas para alimentos. Revista AQUA Cultura, p. 28 – 31. 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - N.C.R. (Subcommittee on Fish Nutrition). Nutrient requirements of fish 1993 National Research Council (U.S.) Committee on Animal Nutrition; distributed by National Academy Press, Washington and Oxford; 1994; x + 114 pp.; GBP 16.95 (p, vol. 183, no. 2. 1994.

NURSINATRIO & NUGROHO, Rudy Agung. Hydrolyzed Chicken Feather Meal as Protein Source for Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) Aquafeeds. Vol. 51, p. 1489–1496 (2019). <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1489.1496>

NG, Wing-Keong y ROMANO, Nicholas. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. Aquaculture, vol. 5, no 4, p. 220-254. 2013. <https://doi.org/10.1111/raq.12014>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), Sistema de Información sobre Alimentos y Recursos Fertilizantes para la Acuicultura. 2020 [Citado el 18 de Agosto de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/nile-tilapia/metodos-de-suministro-de-alimentos/es/>

OSIRIS CARRANZA, Edgar; VELÁSQUEZ Rubín Ariel y RIVAS Ariel Fernando. Análisis de la proteína hidrolizada extraída del tejido de la Curvina y la Tilapia en el alimento del camarón. *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 1, no 22, p. 23 - 36. 2018.

PAZ A, Mario; MENESES R John y LÓPEZ M Jorge. Digestibilidad de dietas con harina de hidrolizado de pescado, para el levante de Arawana (*Osteoglossum bicirrhosum*). *Revista MVZ (Medicina Veterinaria y Zootecnia)*, vol. 21, no 1, p. 5177+. 2016.

PEREA ROMAN, Crispulo, *et al.* Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *Oreochromis* spp. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 16, no 1, p. 43 - 51. 2018.

PEREA ROMÁN, Crispulo, *et al.* Digestibilidad de hidrolizados enzimáticos de vísceras de origen animal en *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818\*. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 20, no 1. 2021.

PEREA ROMAN, Crispulo, *et al.* Evaluación de procesos para obtener ensilaje de residuos piscícolas para alimentación animal. *Ciencia en Desarrollo*, vol. 8, no 2, p. 39 - 50. 2017.

PRABHU P, A. J; SCHRAMA, J. W & KAUSHIK, S. J. Mineral requirements of fish: a systematic review. *Reviews in Aquaculture*, vol 8, no 2, p. 172-219. 2014. <https://doi.org/10.1111/raq.12090>

QUIJIJE MERO, Rony Anderson, VILLAREAL DE LA TORRE, David Jesús, & CHINGA ALCÍVAR Bianca Alexia. EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA DE LA HARINA DE PESCADO PROCESADA EN LA FÁBRICA TADEL S.A. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura "YAKU"*, vol 2, no 3, p. 16-25. 2019.

QUINTO, B.P.T, *et al.* Replacement of fishmeal by two types of fish protein hydrolysate in feed for postlarval shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition*, vol. 24, no 2, p. 768-776. 2017. <https://doi.org/10.1111/anu.12605>

RIYADI, Putut Har, *et al.* Chemical Characteristics and Amino Acids Profile of Protein Hydrolysates of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Viscera. *World's*

Veterinary Journal, vol. 9, no 4, p. 324-328. 2019.  
<https://dx.doi.org/10.36380/scil.2019.wvj41>

ROSAS, A, *et al.* Comparative intestinal absorption of amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), totoaba (*Totoaba macdonaldi*) and Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). *Aquaculture Nutrition*, vol. 14, no 6, p. 481 - 489. 2008.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00553.x>

SANCHES ALVES, Denis Rogério, *et al.* Palatability of protein hydrolysates from industrial byproducts for Nile tilapia juveniles, *Animals*, vol. 9, no 6, p. 1–11, 2019.  
doi:10.3390/ani9060311

SANCHES ALVES, Denis Rogério, *et al.* Attractability and palatability of liquid protein hydrolysates for Nile tilapia juveniles, *Aquaculture Research*, vol. 51, no 4, p. 1681–1688, 2020. doi: 10.1111/are.14514

SECRETARIA DE AGRICULTURA GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA), Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México. Comité Sistema Producto Tilapia de México AC. 2012 [Citado el 17 de Julio de 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/6837309-Criterios-tecnicos-y-economicos-para-la-produccion-sustentable-de-tilapia-en-mexico.html>

SAL, Facundo , *et al.* Inclusión de ensilado ácido en dietas extruidas para el engorde de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en jaulas en el nordeste Argentino. *Natura Neotropicalis*, vol. 46, no 2, p. 15 - 25. 2015.

SHIAU, S Y & TSENG, H. C. Dietary calcium requirements of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* · *O. aureus*, reared in fresh water. *Aquaculture Nutrition*, vol. 13, no 4, p. 298 - 303. 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00481.x>

SIDDIK M, A B, *et al.* Dietary tuna hydrolysate modulates growth performance, immune response, intestinal morphology and resistance to *Streptococcus iniae* in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Scientific Reports*, vol. 8, no 1, p. 1-11. 2018.  
doi:10.1038/s41598-018-34182-4

SOZA CHÍ, Undarica, *et al.* Estimación del contenido nutrimental, inocuidad y costos en cuatro ensilados químicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 7, no 1, p. 39 - 49. 2020.

TANG, Hong-gang, *et al.* Effects of fish protein hydrolysate on growth performance and humoral immune response in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.). *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, vol. 9, no 9, p. 684-690. 2008. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820088>

TELES, Aires Oliva, *et al.* Dietary protein Requirements of fish- a meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*. vol. 12, No 3, p. 1 – 33, 2019. doi:10.1111/raq.12391

TORRES NOVOA , Diana M y HURTADO NERY Víctor L. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Orinoquía*, vol.16, no 1, p. 63 - 68. 2012.

TREWAVAS, Ethelwynn. Tilapiine Fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. London: Trustees of the British museum (Natural History), 1983, 580 p. ISBN 0-565-00878-1.

USCANGA MARTÍNEZ, A, *et al.* Aplicaciones a la Mejora de la Utilización Nutritiva del Alimento en Cíclidos Cultivados en México. Monterrey: Avances en Nutrición Acuícola XI - Memorias del Décimo Primer Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, p. 46 - 104. 2011. ISBN 978-607-433-775-4

VALBUENA VILLAREAL, Rubén D, ZAPATA BERRUECOS, Beatriz E, & GUTIÉRREZ-ESPINOSA, Mariana C. Coeficientes de digestibilidad aparente de tres ingredientes proteicos para capaz, *Pimelodus grosskopfii*. *SciELO*, vol 16, no 2, p. 179-186. 2012.

VÁSQUEZ TORRES, Wálter. Principios de Nutrición Aplicada al Cultivo de Peces. Villavicencio: Juan XXIII Ltda, 2004, 101 p.

VÁZQUEZ, José Antonio, *et al.* Production, Characterization, and Bioactivity of Fish Protein Hydrolysates from Aquaculture Turbot (*Scophthalmus maximus*) Wastes. *Biomolecules*, vol. 10, no 2, p. 1-13. 2020. <https://doi.org/10.3390/biom10020310>

VELASCO-GARZÓN, Juan Sebastian & GUTIÉRREZ-ESPINOSA, Mariana Catalina. Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce, Revista Politécnica, vol. 15, no. 30, pp. 82–93, 2019.

Sanz, F. (2009). La nutrición y alimentación en piscicultura. Madrid. pp 803.

SALDAÑA RODRÍGUEZ, DIEGO. La carne de pollo (Procesamiento), en AVITECNIA Manejo de las Aves Domésticas más comunes, 4.a ed., no 257, Trillas, 2011, p. 405.

WEI, Yuliang; LIANG Mengqing & XU Houguo. Fish protein hydrolysate affected amino acid absorption and related gene expressions of IGF-1/AKT pathways in turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture Nutrition, vol. 26, no 1, p. 144 - 155. 2019. <https://doi.org/10.1111/anu.12976>

WICKI, G Dapello & LUCHINI, L. Optimización y Uso del Alimento Balanceado en Acuicultura de Agua Dulce, Revista Aqua Feed, p. 1 – 9. 2020.

WILLIAMS, C H; DAVID, D. J & IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. The Journal of Agricultural Science, vol. 59, no 3, p. 381 - 385. 1962.

WOSNIAK, Bárbara, *et al.* Effect of diets containing different types of sardine waste (*Sardinella sp.*) protein hydrolysate on the performance and intestinal morphometry of silver catfish juveniles (*Rhamdia quelen*). Latin american journal of aquatic research, vol. 44, no 5, p. 957-966. 2016. doi: 10.3856/vol44-issue5-fulltext-8

WU, Jin-ping, *et al.* Animal by-products with or without enzymatic hydrolysis completely replacement of fish meal in genetically improved farmed tilapia diets (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture Research, vol. 52, no 1, p. 1-11. 2020. doi: <https://doi.org/10.1111/are.14892>

XU, Dandan , *et al.* Postprandial nutrient-sensing and metabolic responses after partial dietary fishmeal replacement by soyabean meal in turbot (*Scophthalmus*

*maximus* L.). British Journal of Nutrition, vol. 115, no 3, p. 379-388. 2016.  
doi:10.1017/S0007114515004535

YAO, Y F, *et al.* Dietary phosphorus requirement of GIFT strain of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in freshwater. Aquaculture Nutrition, vol. 20, no 3, p. 273 - 280. 2014. doi: <https://doi.org/10.1111/anu.12075>

YU, H.-R, *et al.* Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. Aquaculture Nutrition, vol 19, no 2, p. 1-9. 2012.









