



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE
LAS**

ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieras Agroindustriales

AutoraV:

Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth

Orozco Correa Josselin Alexandra

Tutora:

Moreano Terán Nancy Fabiola

LATACUNGA – ECUADOR

Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth, con cédula de ciudadanía No. 0550478465 y Orozco Correa Josselin Alexandra, con cédula de ciudadanía No. 0550557698, declaramos ser autoras del presente Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”**, siendo la Ingeniera Mg. Nancy Fabiola Moreano Terán, Tutora del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 22 de julio del 2025



Priscila Lisbeth Guanoquiza Iza
C.C: 0550478465
ESTUDIANTE



Josselin Alexandra Orozco Correa
C.C: 0550557698
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **GUANOQUIZA IZA PRISCILA LISBETH**, identificada con cédula de ciudadanía **0550478465** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2025

Tutor: Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán Mg.

Tema: **“OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 22 días del mes de julio del 2025.

Priscila Lisbeth Guanoquiza Iza
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **OROZCO CORREA JOSSELIN ALEXANDRA**, identificada con cédula de ciudadanía **0550557698** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (Oreochromis niloticus)**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2020 – Marzo 2021

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2025

Tutor: Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán Mg.

Tema: “**OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (Oreochromis niloticus)**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 22 días del mes de julio del 2025.

Josselin Alexandra Orozco Correa
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

“OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”, de Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth y Orozco Correa Josselin Alexandra, de la Carrera de Agroindustria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 22 de julio del 2025



Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán, Mg.

C.C: 0503352122

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, las postulantes: Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth y Orozco Correa Josselin Alexandra, con el título del Proyecto de Investigación: “**OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 22 de julio del 2025



Ing. Ana Maricela Trávez Castellano, Mg
CC: 0502270937
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Manuel Enrique Fernández Paredes, Mg
CC: 0501511604
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Edwin Ramiro Cevallos Carvajal, Mg
CC: 0501864854
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud y las oportunidades para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios, han sido mi mayor inspiración y guía. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación, y por confiar en mí en todo momento.

A mi tutora y profesores, especialmente a la Ing. Moreano Terán Nancy Fabiola Mg., por su orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos y palabras de aliento han sido fundamentales para que este trabajo sea posible.

A mis compañeros y amigos, que con su apoyo, colaboración y motivación hicieron que este camino fuera más llevadero. Gracias por estar ahí en los momentos de incertidumbre y celebrar conmigo los pequeños logros.

Priscila Lisbeth Guanoquiza Iza

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado por el camino del bien a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y darme fuerzas en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por permitirme formar parte de la institución a la cual estimo, en especial a la carrera de Ingeniería Agroindustrial y a todos sus docentes los cuales me brindaron sus conocimientos durante mi vida académica.

Un agradecimiento sincero y muy especial a la Ing. Moreano Terán Nancy Fabiola Mg. tutor del proyecto de investigación por su apoyo, acertadas sugerencias y valiosas colaboraciones que fue de gran ayuda para la culminación de este proyecto. A los tribunales por que han brindado sus enseñanzas y sabios consejos.

Josselin Alexandra Orozco Correa

DEDICATORIA

A mi mamá Matilde Iza: Esta tesis es el resultado de tu amor, apoyo y sacrificio en mi viaje educativo. Cada día que trabajaste incansablemente y cada vez que me brindaste tu cariño son tesoros que valoro profundamente, esta tesis es un tributo a ti, mi fuente inagotable de fortaleza y amor en mi búsqueda de conocimiento. A través de tus enseñanzas y cariño, has dejado una huella imborrable en mi vida, y me siento orgullosa de ser un reflejo de tu inquebrantable dedicación. Te amo con todo mi corazón y esta tesis es mi modesta forma de demostrarlo. A mi papá Roberto Guanoquiza: Esta tesis es un tributo a tu influencia y apoyo en mi educación. Cada sacrificio que hiciste por mi educación es invaluable. Mi éxito académico es un reflejo de tu amor y guía. Te amo, papá.

A mis hermanas, Mónica y Nayeli, por nunca dudar de mí, apoyarme siempre y por acompañarme con cariño, risas y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Gracias por ser parte fundamental de mi vida por su amor y por estar presentes. Y sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser su orgullo. A mi amiga Nahomi, te agradezco sinceramente tu amistad, compañía y apoyo a lo largo de este proceso, todo eso ha sido fundamental para mantenerme enfocada y motivada en mi trayectoria académica y han contribuido significativamente a fortalecer mi ánimo y determinación.

3ULVFL0D/LVEHWK*XDQRTXLJD,JD

DEDICATORIA

A mis padres Marcelo y Patricia, cuyo amor incondicional y guía constante me han formado en cada paso de mi vida. A mis hermanos y a mi hija, por ser soporte, por sus palabras de aliento y por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles.

A la familia Orozco Correa, quienes, con su apoyo incondicional y sabios consejos, se convirtieron en un faro de luz en cada etapa de este camino. Su presencia fue una guía, brindándome fuerza y motivación para seguir adelante.

A mis amigos más cercanos por estar a mi lado en cada etapa compartiendo no solo victorias sino también desafíos. Su amistad ha sido un pilar en este viaje y siempre llevare su apoyo en mi corazón.

-RVVHOLQ\$OH[DQGU2UR]FR&RUUHD

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
TÍTULO: “OBTENCIÓN DE COLÁGENO EN POLVO A PARTIR DE LAS
ESCAMAS DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”

Autoras:

Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth

Orozco Correa Josselin Alexandra

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue obtener colágeno en polvo a partir de escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) mediante hidrólisis alcalina, aprovechando un subproducto de la industria pesquera para generar un producto con valor agregado. La metodología incluyó la caracterización bromatológica de las escamas, que mostraron un alto contenido proteico (60,77%), bajo porcentaje de grasa (1,09%) y un moderado contenido de ceniza (33,26%). Se aplicó un diseño experimental factorial A×B×C en la combinación de los factores se obtuvo 8 tratamientos con 2 réplicas, variando la concentración de NaOH (0,2 M y 0,3 M), el tiempo de hidrólisis (3 horas y 6 horas) y el tiempo de extracción (1 hora y 2 horas). Los resultados fisicoquímicos, analizados, indicaron que el mejor tratamiento fue el t₄ (NaOH 0.2 M, 6 horas de hidrólisis, 2 horas de extracción), con 45.03% de proteína, 9,11% de humedad, pH de 7,75, solubilidad de 89,96% y un rendimiento de 7,51%. Además, el colágeno obtenido cumplió con los estándares microbiológicos (aerobios mesófilos < 10⁵ UFC/g), ausencia de *Salmonella* y presentó un perfil aminoacídico destacado, con concentraciones superiores al 8% de glicina, prolina, ácido glutámico y alanina. Estos hallazgos demuestran que la hidrólisis alcalina es un método eficaz para extraer colágeno de alta calidad a partir de escamas de tilapia, contribuyendo a la valorización de residuos acuícolas y ofreciendo una alternativa sostenible a fuentes tradicionales de colágeno. El producto final cumple con normativas según la NTE INEN 1961 de calidad e inocuidad, lo que abre oportunidades para su aplicación en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica.

Palabras claves: escamas, tilapia, hidrólisis, colágeno

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES THEME:****“OBTAINING COLLAGEN POWDER FROM TILAPIA SCALES****(*Oreochromis niloticus*)”.****Authors:**

Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth

ABSTRACT

The objective of this research was to obtain collagen powder from tilapia (*Oreochromis niloticus*) scales by alkaline hydrolysis, taking advantage of a by-product of the fishing industry to generate a value-added product. The methodology included the bromatological characterisation of the flakes, which showed a high protein content (60,77%), low fat percentage (1,09%) and moderate ash content (33,26%). A factorial experimental design A×B×C was applied in the combination of the factors to obtain 8 treatments with 2 replicates, varying the NaOH concentration (0,2 M and 0,3 M), the hydrolysis time (3 hours and 6 hours) and the extraction time (1 hour and 2 hours). The physicochemical results, analysed, indicated that the best treatment was t4 (NaOH 0.2 M, 6 hours hydrolysis, 2 hours extraction), with 45,03% protein, 9,11% moisture, pH of 7,75, solubility of 89,96% and a yield of 7,51%. In addition, the collagen obtained met microbiological standards (mesophilic aerobes < 10⁵ CFU/g), absence of salmonella and presented an outstanding amino acid profile, with concentrations above 8% of glycine, proline, glutamic acid and alanine. These findings demonstrate that alkaline hydrolysis is an efficient method to extract high quality collagen from tilapia flakes, contributing to the valorisation of aquaculture waste and offering a sustainable alternative to traditional collagen sources. The final product complies with quality and safety standards, which opens up opportunities for its application in the food, cosmetic and pharmaceutical industries.

KEYWORDS: flakes, tilapia, hydrolysis, collagen

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi

DEDICATORIA	xii	
RESUMEN	xiii	
ABSTRACT	xiv	
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xv	
INDICE DE TABLAS	xviii	
INDICE DE FLUJOGRAMA	xix	
INDICE DE GRÁFICOS		xix
INTRODUCCIÓN	1	
1. INFORMACIÓN GENERAL	3	
2. DISEÑO DEL INFORME	4	
2.1. Planteamiento del problema	4	
2.2. Justificación del problema	5	
2.3. Formulación del problema	7	
2.4. Objetivos	7	
2.4.1. Objetivo General.....	7	
2.4.2. Objetivos específicos	7	
2.5. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.	8	
2.6. Fundamentación teórica	9	
2.6.1. Antecedentes	9	
2.6.2. Tilapia	9	
2.6.3. Valor nutricional de la tilapia	10	
2.6.4. Proteínas Estructurales	10	
2.6.5. Escamas de tilapia	10	
2.6.6. Beneficios de las escamas de la tilapia	11	
2.6.7. El Colágeno	11	
2.6.8. Tipos de Colágeno	12	
2.6.9. Métodos de extracción de colágeno.....	12	
2.6.10. Proceso de extracción de colágeno de la escama de tilapia	14	
2.6.11. Propiedades y uso del colágeno en la industria	15	
2.6.12. Alteraciones físicas y su impacto en el rendimiento del producto	16	
2.6.13. Ventajas y desventajas de utilizar escamas de tilapia como fuente de colágeno... ..	17	
2.6.14. Evaluación fisicoquímica y funcional del colágeno obtenido de escamas de tilapia... ..	17	
2.6.15. Regulaciones y normativas en evaluación de colágeno	18	

2.7.	MARCO CONCEPTUAL	20
2.7.1.	Alcalina:	20
2.7.2.	Colágeno:	20
2.7.3.	Escamas:	20
2.7.4.	Extracción:	20
2.7.5.	Hidrólisis:	20
2.7.6.	Proteína:	20
2.7.7.	Proteína tipo I:	20
2.7.8.	Rendimiento:	21
2.7.9.	Solubilidad:	21
2.7.10.	Subproductos:	21
2.7.11.	Tilapia:	21
2.7.12.	Humedad:	21
2.7.13.	pH:	21
2.7.14.	Aminoácidos:	21
2.8.	Metodología del proceso de investigación	22
2.8.1.	Tipos de investigación	22
2.8.2.	Investigación bibliográfica	22
2.8.3.	Investigación descriptiva	22
2.8.4.	Investigación experimental	22
2.8.5.	Materias primas y materiales	23
2.8.6.	Metodología para el análisis bromatológico de la materia prima.	24
2.8.7.	Metodología para el proceso de extracción por el método de hidrólisis alcalina	26
2.8.8.	Diagrama de flujo para la obtención del colágeno	27
2.8.9.	Metodología para la evaluación de pruebas fisicoquímicas del colágeno	28
2.8.10.	Metodología para el análisis microbiológico realizado al mejor tratamiento	30
2.8.11.	Metodología para el perfil de aminoácidos realizado al mejor tratamiento	31
2.9.	Validación de las preguntas científicas o hipótesis	32
2.9.1.	Hipótesis nula (H ₀):	32
2.9.2.	Hipótesis alternativa (H _a):	32
2.9.3.	Validación de las hipótesis	32
2.10.	Diseño experimental	32

2.10.1.	Operacionalización de variables	33
2.10.2.	Factores de estudio	33
2.10.3.	Formulación de los Tratamientos	34
2.10.4.	Esquema de ADEVA para la obtención de colágeno en polvo a partir de las escamas de tilapia	36
2.11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
2.11.1.	Caracterización de la materia prima, escamas de Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)... ..	36
2.11.2.	Evaluación fisicoquímica del colágeno de las escamas de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) mediante el método de hidrólisis alcalina	38
2.11.3.	Análisis microbiológico del mejor tratamiento de la obtención del colágeno en polvo.	61
2.11.4.	Análisis del perfil de aminoácidos realizado al mejor tratamiento	62
3.	IMPACTOS DEL PROYECTO	65
3.1.	Impacto técnico	65
3.2.	Impacto ambiental	65
3.3.	Impacto económico	65
3.4.	Impacto social	65
4.	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	66
5.	CONCLUSIONES	70
6.	RECOMENDACIONES	71
7.	BIBLIOGRAFÍA	72
8.	ANEXOS	78

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Sistema de actividades y tareas por objetivos realizados	8 Tabla
2: Tipos de variables	33
Tabla 3: Factores de estudio	34
Tabla 4: Tratamientos en el estudio de obtención de colágeno en polvo a partir de escamas de tilapia	35
Tabla 5: Esquema ADEVA análisis fisicoquímicos	36
Tabla 6: Composición bromatológica de las escamas de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	36
Tabla 7: Determinación del análisis de varianza del % Humedad	39
Tabla 8: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de Hidróxido de Sodio)	39

39	Tabla 9: Determinación del análisis de varianza de la proteína	42
41	Tabla 10: Prueba de Tukey para TH (Tiempo de Hidrólisis)	42
	Tabla 11: Prueba de Tukey para TE (Tiempo de Extracción)	42
	Tabla 12: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de Hidróxido de Sodio* Tiempo de extracción)	43
	Tabla 13: Prueba de Tukey para las interacciones entre TH * TE (Tiempo de Hidrólisis * Tiempo de Extracción).	43
	Tabla 14: Determinación del análisis de varianza del pH	46
	Tabla 15: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de Hidróxido de Sodio)	46
	Tabla 16: Prueba de Tukey para TH (Tiempo de Hidrólisis)	47
	Tabla 17: Prueba de Tukey para TE (Tiempo de Extracción)	47
	Tabla 18: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TH (Concentración de Hidróxido de NaOH * Tiempo de Hidrólisis)	48
	Tabla 19: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción)	48
	Tabla 20: Prueba de Tukey para las interacciones entre TH * TE (Tiempo de Hidrolisis * Tiempo de Extracción)	49
	Tabla 21: Prueba de Tukey para los tratamientos	49
	Tabla 22: Determinación del análisis de varianza de solubilidad	52
	Tabla 23: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de NaOH)	52
	Tabla 24: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción)	53
	Tabla 25: Determinación del análisis de varianza de rendimiento	55
	Tabla 26: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de Hidróxido de Sodio)	55
	Tabla 27: Prueba de Tukey para TH (Tiempo de Hidrólisis)	56
	Tabla 28: Prueba de Tukey para TE (Tiempo de Extracción)	56
	Tabla 29: Prueba de Tukey para los tratamientos	57
	Tabla 30: Valores de las medias del mejor tratamiento (t ₄)	59
	Tabla 31: Análisis microbiológico realizado al mejor tratamiento	61
	Tabla 32: Análisis del perfil de aminoácidos realizado al mejor tratamiento.	63
	Tabla 33: Materia prima	66
	Tabla 34: Reactivos	67
	Tabla 35: Materiales	67
	Tabla 36: Costo del empaque	68
	Tabla 37: Costos indirectos de producción.....	68
	Tabla 38: Costo de análisis	69

INDICE DE FLUJOGRAMA

Flujograma 1. Obtención del colágeno a partir de escamas de tilapia	Pág. 27
--	-------------------

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comportamiento de la variable humedad en los tratamientos en estudio	Pág. 40
Gráfico 2: Gráfica del comportamiento de la variable proteína en los tratamientos	45
Gráfico 3: Comportamiento de variable pH en los tratamientos	51
Gráfico 4: Comportamiento de la variable solubilidad en los tratamientos	54
Gráfico 5: Comportamiento de la variable rendimiento en los tratamientos	58

INDICE DE ECUACIÓN Ecuación 1: Formula para calcular humedad definido. **¡Error! Marcador no**

Ecuación 2: Formula para calcular proteína	25
Ecuación 3: Formula para calcular grasa	26
Ecuación 4: Formula para calcular ceniza	26
Ecuación 5: Fórmula para calcular humedad	29
Ecuación 6: Fórmula para calcular proteína	29
Ecuación 7: Fórmula para calcular rendimiento	30
Ecuación 8: Fórmula para calcular solubilidad	30

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de vida de la tutora	Pág. 78
Anexo 2. Hoja de vida del postulante 1	79
Anexo 3. Hoja de vida del postulante 2	78
Anexo 4. Resultados bromatológicos de la materia prima	81
Anexo 5. Resultados de análisis físico químicos a los tratamientos	82
Anexo 6. Factura de reactivos	83
Anexo 7. Fotografías del proceso realizado para la obtención de colágeno en polvo a partir de las escamas de tilapia	84

INTRODUCCIÓN

La industria pesquera y acuícola produce una gran cantidad de residuos sólidos, como pieles, vísceras, huesos y escamas, que en muchas regiones no se aprovechan adecuadamente, lo que se convierte en un problema ambiental (Zambrano, 2019). La tilapia (*Oreochromis niloticus*), una de las especies más cultivadas en el mundo gracias a su alta adaptabilidad y rápido crecimiento, genera durante su procesamiento grandes volúmenes de subproductos, siendo las escamas uno de los componentes más abundantes y menos utilizados (FAO, 2020). Por lo tanto, es fundamental desarrollar alternativas sostenibles para convertir estos residuos en productos de alto valor agregado.

El colágeno es una proteína estructural que representa entre el 25 % y el 30 % del total de proteínas en el cuerpo humano y animal; Según (Silva, 2020), su presencia es fundamental en tejidos conectivos como la piel, los huesos, los cartílagos, los ligamentos y las escamas. Esta importancia se refleja en que actualmente el colágeno se emplea ampliamente en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica y biomédica, debido a sus propiedades funcionales, tales como la biocompatibilidad, la biodegradabilidad y su capacidad para formar geles, la demanda de esta proteína ha aumentado considerablemente, lo que, según (Zambrano, 2018), ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas que sean más sostenibles, seguras y aceptables para diferentes grupos.

Las escamas de tilapia constituyen una fuente prometedora y viable para la obtención de colágeno tipo I, el cual es el más abundante y ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales; (Brussil, 2016), estas estructuras rígidas están compuestas de colágeno y minerales, como la hidroxiapatita, lo que les confiere características mecánicas únicas. Además, mediante procesos de desmineralización y extracción ácida o enzimática, es posible aislar colágeno con un alto grado de pureza y funcionalidad; posteriormente, este colágeno puede transformarse en polvo utilizando técnicas de secado como la liofilización, lo que resulta en un producto estable, fácil de almacenar y aplicar (Bohórquez, 2015).

El método de extracción por hidrólisis alcalina consiste en someter la muestra proteica a una solución alcalina, generalmente hidróxido de sodio (NaOH), para romper enlaces peptídicos y solubilizar las proteínas o colágeno presentes en la matriz. Este proceso se realiza bajo condiciones controladas de concentración, temperatura y tiempo para optimizar el grado de hidrólisis y la recuperación del producto deseado, de acuerdo con (Vargas, 2015).

Las escamas de pescado presentan valiosas aplicaciones en la industria alimentaria, destacándose la extracción de colágeno para la elaboración de gelatinas, postres y embutidos. Asimismo, se utilizan en la producción de harina proteica destinada a snacks y suplementos nutricionales. Gracias a su alto contenido de calcio y fósforo, las escamas también funcionan como fortificantes naturales en productos como panes y bebidas. Además, pueden ser procesadas para obtener condimentos con sabor umami, ideales para sopas y salsas, o emplearse como espesantes naturales en productos lácteos y salsas. De este modo, se aprovecha su composición rica en proteínas y minerales, contribuyendo a la reducción del desperdicio en la industria pesquera (Vega, 2023).

Esta investigación se alinea con el enfoque de economía circular, ya que busca aprovechar un residuo acuícola que normalmente se descarta y convertirlo en un insumo de valor agregado; además, responde a una tendencia global que busca sustituir fuentes tradicionales de colágeno (como las bovinas o porcinas), que pueden presentar riesgos zoonóticos o limitaciones religiosas, por fuentes marinas o acuáticas que son más aceptadas y seguras (Coelho, 2017).

El propósito principal de este estudio es crear un método para obtener colágeno en polvo a partir de escamas de tilapia, utilizando técnicas fisicoquímicas que faciliten su extracción, purificación y secado. Además, se evaluarán las propiedades fisicoquímicas del producto final. Con esto, se busca contribuir a la valorización de subproductos pesqueros, fortalecer la sostenibilidad del sector acuícola y ofrecer conocimientos técnicos sobre una fuente alternativa de colágeno (Quinteros, 2017).

1. INFORMACIÓN GENERAL

Institución:

Universidad Técnica de Cotopaxi **Fecha**

de inicio:

Octubre 2024

Fecha de finalización:

Agosto 2025

Título del proyecto de investigación:

“Obtención de colágeno en polvo a partir de las escamas de tilapia (*oreochromis niloticus*)” **Lugar de ejecución:**

País: Ecuador

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi **Facultad**

que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales **Carrera**

que auspicia:

Agroindustria

Nombres de equipo de investigadores

Tutor: Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán Mg.

Estudiante: Guanoquiza Iza Priscila Lisbeth

Orozco Correa Josselin Alexandra

Línea de investigación: Procesos tecnológicos, bioquímica, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria

Sub línea de investigación: Optimización de procesos tecnológicos agroindustriales

2. DISEÑO DEL INFORME

2.1.Planteamiento del problema

En el mundo se consumen elevadas cantidades de diferentes especies de peces, lo que genera importantes volúmenes de desperdicios, equivalentes al 50-70% del peso inicial del pescado. Estos residuos están compuestos en un 30% de huesos, piel y escamas, donde el 5% corresponden a las escamas del pescado. Las escamas son ricas en proteínas especialmente colágeno, por lo que su aprovechamiento puede constituir una materia prima valiosa para la elaboración de productos con alto valor agregado, como señala (Garcés, 2018).

En Ecuador, la industria pesquera es una de las más relevantes, contribuyendo significativamente a la economía nacional con un aporte aproximado del 1.7% al Producto Interno Bruto (PIB) y generando miles de empleos directos e indirectos. Sin embargo, esta actividad produce grandes cantidades de residuos, como restos de pescado, escamas,

vísceras y piel, que a menudo son desechados sin un tratamiento adecuado. Esto incluye residuos específicos provenientes de especies como la tilapia, cuya producción es especialmente relevante en el país, (García, 2021).

Las escamas de tilapia son consideradas como materias primas sustitutas en la producción de colágeno tipo I, debido a que otros países la obtienen de diversos orígenes como porcinos y bovinos; las escamas contienen una alta cantidad de proteína con una concentración de 41 a 84%, la cual depende del tipo de pez que se quiere evaluar, teniendo en cuenta el lugar de cultivo y el tipo de alimentación que tuvieron durante su crecimiento (Zambrano, 2017).

En la provincia de Cotopaxi, la industria pesquera genera grandes cantidades de escamas que son desechadas, que mediante procesos de transformación se pueden utilizar como materia prima, para varios procesos industriales como la obtención de colágeno, así como también elaboración de harinas de residuos de pescado que han sido ampliamente utilizadas en alimentación animal, debido a su elevado contenido proteico y a su completa composición de aminoácidos esenciales, como indica (Ramos, 2018). Sin embargo, en la región no se aprovecha este potencial, a pesar de que su extracción podría convertirse en una fuente de ingresos para los acuicultores y reducir el impacto ambiental.

Este problema contribuye a la contaminación ambiental, ya que los residuos generados no son gestionados de manera adecuada. La falta de conocimiento técnico y de infraestructura para aprovechar estos subproductos limita las oportunidades de diversificación productiva y de mejora en los ingresos de los productores locales. La ineficiente gestión de residuos de pescado, como escamas, pieles y vísceras, impacta directamente en la conservación del ambiente. Estos residuos, al ser desechados de forma inapropiada, contribuyen a la contaminación del suelo y las fuentes de agua, afectando los ecosistemas locales y la calidad de vida de las comunidades (Garcés, 2018); Por ello, esta investigación busca determinar si es viable extraer colágeno de las escamas de tilapia en Cotopaxi, evaluando métodos de obtención como la hidrólisis alcalina, calidad del producto y beneficios económicos-ambientales, contribuyendo así a una solución sostenible para el sector acuícola (Naranjo, 2019).

2.2. Justificación del problema

Las escamas de tilapia representan un subproducto significativo de la industria pesquera, que en muchas ocasiones es descartado como residuo. Sin embargo, su aprovechamiento para la obtención de colágeno ofrece una alternativa sostenible y valiosa para reducir el

desperdicio y añadir valor a la cadena productiva. Este enfoque no solo mitigaría el impacto ambiental, sino que también permitiría transformar un material desechado en un recurso de alta demanda en mercados nacionales e internacionales (Bastidas, 2017).

Por ello, el aprovechamiento de las escamas de tilapia para la producción de colágeno representa una oportunidad valiosa para diversificar las fuentes de ingresos de las empresas del sector pesquero. Este proceso no solo incrementaría la rentabilidad de las operaciones, sino que también impulsaría la generación de empleo, beneficiando tanto a las comunidades locales como a la economía nacional. Además, promover el uso sostenible de estos subproductos contribuiría al desarrollo de una industria más responsable y alineada con los principios de la economía circular (Ramos, 2018).

El colágeno es uno de los productos más comercializados, tanto en la industria estética como en la de la salud, en diferentes presentaciones como pastillas, cremas y polvo. En Ecuador, según investigaciones, el colágeno en polvo es el más demandado y uno de los productos que más se importa, siendo el colágeno bovino en polvo de Suiza, bajo el nombre de Vitagel el más popular (Bastidas, 2017).

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un proceso eficiente que permita aprovechar las escamas de tilapia para obtener colágeno en polvo, con características similares o de mejor calidad que el importado (Naranjo, 2018).

El colágeno marino tiene aplicaciones versátiles en diversas industrias. En la salud, es utilizado como complemento alimenticio para mejorar la elasticidad de la piel, fortalecer las articulaciones y prevenir enfermedades degenerativas como la osteoporosis. En la cosmética, su capacidad para estimular la producción natural de colágeno lo convierte en un ingrediente esencial en productos antienvjecimiento y de cuidado de la piel. En la farmacéutica, se emplea en la fabricación de biomateriales, como membranas para curación de heridas y regeneración tisular. Por su origen natural y sostenible, el colágeno marino también se alinea con las tendencias globales hacia productos más saludables y amigables con el medio ambiente (Cordero, 2018).

La extracción de colágeno mediante hidrólisis alcalina presenta diversas ventajas que la hacen una opción atractiva para el aprovechamiento de subproductos como las escamas de tilapia. Este método utiliza soluciones alcalinas suaves, como hidróxido de sodio, para romper las uniones en las proteínas estructurales, facilitando la liberación del colágeno de la matriz orgánica (Naranjo, 2020). Entre sus principales beneficios se encuentran su eficiencia en la obtención de altas concentraciones de colágeno, la reducción de tiempos

de procesamiento y su menor impacto ambiental en comparación con otros métodos más agresivos. Además, permite obtener colágeno con características específicas, como una mayor pureza y funcionalidad, que son ideales para aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (Cobeña, 2022).

Existen tres métodos principales para la obtención de colágeno: hidrólisis ácida, básica y enzimática. En este proyecto se optó por la hidrólisis alcalina, ya que es más eficiente y específica, manteniendo la estructura química de la molécula y preservando los aminoácidos. Este método es el más utilizado en la industria para la obtención de colágeno de alta calidad (Zambrano, 2018).

El proceso de extracción, particularmente mediante métodos como la hidrólisis alcalina o enzimática, requiere una inversión inicial relativamente baja en comparación con otras tecnologías más complejas. Además, el costo operativo es reducido, dado que las escamas no compiten con otros usos industriales significativos y están ampliamente disponibles en regiones con alta producción de tilapia, como Ecuador (Flores, 2019). Este proyecto, además, puede abrir oportunidades en el desarrollo de nuevos productos derivados del colágeno marino, mejorando la competitividad de la industria pesquera y beneficiando tanto a los sectores productivos como a los consumidores que buscan productos más naturales y eco amigables (Delgado, 2020).

Las escamas de tilapia presentan aplicaciones innovadoras en diversas industrias, tales como la alimentaria, donde se emplean como fuente de colágeno para la elaboración de gelatinas y suplementos; la cosmética, en la formulación de cremas y productos capilares; la medicina, para procesos de cicatrización e ingeniería de tejidos; y la agricultura, como fertilizantes o en la producción de bioplásticos. Además, su uso se extiende a la fabricación de artesanías, filtros de agua y en investigaciones científicas, contribuyendo así a la reducción de residuos pesqueros y fomentando la sostenibilidad. Esta versatilidad posiciona a las escamas de pescado como un recurso valioso con un alto potencial económico y ecológico, de acuerdo (Gómez, 2021).

2.3. Formulación del problema

¿La aplicación de hidrólisis alcalina influirá en el proceso de obtención de colágeno en polvo a partir de las escamas de tilapia?

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General

Obtener colágeno en polvo a partir de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) por el método de hidrólisis alcalina.

2.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) mediante análisis bromatológico.
- Extraer el colágeno de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) mediante el método de hidrólisis alcalina.
- Evaluar el método de extracción de hidrólisis alcalina mediante análisis fisicoquímicos.
- Realizar análisis microbiológico y determinación del perfil de aminoácidos del mejor tratamiento obtenido de colágeno.

2.5. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Tabla 1: Sistema de actividades y tareas por objetivos realizados

Objetivo	Actividad	Metodología	Resultado
Caracterizar las escamas de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).	-Realizar los análisis fisicoquímicos de las escamas de tilapia.	-Humedad (AOAC/Gravimétrico/AOAC 925.10) -Materia seca (AOAC/Gravimétrico/AOAC 925.10) -Proteína (AOAC/kjeldahl/AOAC 2001.11) -Fibra (AOAC/Gravimétrico/AOAC 930.15) -Grasa (AOAC/Goldfish/AOAC 920.39) -Ceniza (AOAC/Gravimétrico/AOAC 923.03) -Materia Orgánica (AOAC/Gravimétrico/AOAC 923.03)	-Resultados análisis bromatológico. (Tabla 6)
Obtener el colágeno de las escamas de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) mediante el método de hidrólisis alcalina.	-Obtención de colágeno en polvo de las escamas de tilapia.	-Método de hidrólisis alcalina.	-Concentración de hidróxido de sodio (NaOH). -Tiempo de hidrólisis -Tiempo de extracción (Diagrama de flujo 1)
Evaluar el método de extracción a través de la determinación de humedad, contenido de proteína, pH, solubilidad y rendimiento.	-Análisis del producto obtenido.	-Análisis Estadístico	-Determinar el mejor tratamiento (Tabla 7: Humedad) (Tabla 9: Proteína) (Tabla 14: pH) (Tabla 22: Solubilidad) (Tabla 25: Rendimiento)
Realizar un análisis microbiológico y determinar el perfil de aminoácidos al mejor tratamiento de colágeno en polvo obtenido.	-Análisis del mejor tratamiento.	-Aerobios Mesófilos (AOAC 990.12) -Coliformes totales (AOAC 991.14) -Enterobacteriaceas (NTE INEN 1529-13) -Salmonella (NTE INEN 1529-15) -Mohos y levaduras (AOAC 975.55) -Aminoácidos: Glicina, Prolina, Ácido Glutámico, Alanina (HPLC (AOAC 994.12))	-Resultados de los análisis realizados. (Tabla 29 y 30)

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

2.6.Fundamentación teórica

2.6.1. Antecedentes

La investigación en colágeno de tilapia es un campo en constante evolución, con nuevas oportunidades y áreas de estudio emergentes. Se están explorando tecnologías de extracción y purificación más eficientes, como la utilización de enzimas y métodos de purificación avanzados; además, se está investigando el potencial del colágeno de tilapia en aplicaciones biomédicas, como la creación de tejidos artificiales y materiales para la ingeniería de tejidos, como señala (Gómez, 2017). También se están estudiando los beneficios para la salud del colágeno de tilapia, como su contenido de aminoácidos y minerales, y su potencial como suplemento nutricional. Finalmente, se están desarrollando métodos sostenibles para la producción de colágeno de tilapia, como la utilización de subproductos de la industria pesquera y la reducción de residuos (Moreno, 2019).

El potencial de escalabilidad y comercialización de productos basados en colágeno de tilapia es alto, debido a la creciente demanda de productos de colágeno en la industria cosmética, farmacéutica y de alimentos, la tilapia es un recurso abundante y de bajo costo, lo que facilita la producción a gran escala de colágeno, según (Quiminet, 2015). Además, el colágeno de tilapia tiene propiedades únicas, como su alta pureza y biodisponibilidad, lo que lo hace atractivo para aplicaciones en la salud y la belleza; la escalabilidad de la producción de colágeno de tilapia puede lograrse a través de la implementación de tecnologías de extracción y purificación más eficientes, así como la optimización de los procesos de producción, (Guevara, 2020).

2.6.2. Tilapia

El término tilapia hace referencia a un grupo de peces originarios de África, que comprenden diversas especies de valor económico. Este pez pertenece al género *Oreochromis* y es cultivado en acuicultura en numerosos países; en su hábitat natural, se localiza en zonas tropicales que favorecen su crecimiento y reproducción acelerados; de las especies más conocidas de tilapia es la negra (*Oreochromis*), y Roja (*Oreochromis sp*) (Tituaña, 2015).

La tilapia es un pez de agua dulce que presenta una notable resistencia a condiciones ambientales adversas, como variaciones en temperatura y salinidad. Puede tolerar temperaturas entre 8 y 41 °C y bajos niveles de oxígeno disuelto. Además, tiene una alta

capacidad reproductiva, alcanzando la madurez sexual entre los 3 y 6 meses de edad, lo que le permite reproducirse cada 3 a 6 semanas bajo condiciones óptimas. Este pez puede habitar en aguas saladas y dulces, y es capaz de adaptarse a ambientes con bajos niveles de oxígeno. Su distribución incluye el sur del Caribe, el sudeste asiático, América Central y el sur de Norteamérica (Naranjo, 2020).

2.6.3. Valor nutricional de la tilapia

La tilapia es un pescado de alto valor nutricional, lo que la convierte en una excelente opción para quienes buscan una alimentación saludable y equilibrada. Además, es una fuente rica en minerales esenciales como potasio, fósforo y sodio, los cuales contribuyen al metabolismo energético, la salud ósea y el adecuado funcionamiento del sistema nervioso (Zambrano, 2017).

De acuerdo con la FAO (1993) nos indica que los peces, como cualquier otro material de origen animal, poseen agua y diversas propiedades importantes, así también como compuestos importantes para el ser humano, en su mayoría el pescado posee lípidos, constituidos de micronutrientes esenciales, así como las diversas vitaminas B, A y D, sin dejar de lado los minerales como el calcio, selenio entre otros (García, 2021).

2.6.4. Proteínas Estructurales

Las proteínas primordiales presentes en el colágeno son la actina y la miosina, las cuales forman entre el 75 y el 85% de su composición, esta información es vital ya que en mamíferos con la misma tipología esta se reduce al 41%, así mismo también son solubles en diversas soluciones básicas de fuerza iónica mayor (0,5 M) indica que la clase de proteínas, ubicadas en la célula del músculo son miofibrilares, incluyendo en este punto a la miosina y actina, debido a que estas dos sustancias están ubicadas dentro del ciclo de relación y contracción del músculo (Vélez, 2019).

2.6.5. Escamas de tilapia

Las industrias pesqueras aprovechan al máximo la carne del pescado. En el caso de la industria (Tropack) determina que en el proceso de tilapia procesadas obtiene 85% de carne, que es tratada para exportación y consumo a nivel nacional; el 15% restante son subproductos derivados del proceso, incluyen: piel, vísceras, huesos y escamas; el 3% de estos subproductos corresponde a escamas que son sometidas a un secado antes de ser exportadas, logrando un rendimiento del 35%. Es muy útil maximizar el aprovechamiento de todos los residuos generados en el procesamiento de pescado, ya que esto podrá

producir una variedad de productos de valor agregado utilizados principalmente en las industrias alimentaria, biomédica, cosmética y como alimento balanceado para animales, como indica (Arias, 2022). El colágeno extraído de las escamas tiene una estructura proteica compleja, que al ser consumido por humanos aporta elasticidad y fortaleza a la piel, ligamentos, huesos, músculos, vasos sanguíneos, tendones, ojos y cabello. Por lo tanto, el uso de colágeno es de gran relevancia en las industrias farmacéuticas, cosméticas, de biomateriales y en materiales biomédicos (Beltrán, 2018).

2.6.6. Beneficios de las escamas de la tilapia

Las escamas de tilapia ofrecen varios beneficios nutricionales y funcionales que las convierten en un recurso valioso en diversas industrias, especialmente en la producción de colágeno. En primer lugar, las escamas son ricas en proteínas, con una concentración que puede variar entre el 41% y el 84%, dependiendo del tipo de tilapia y su alimentación, (Bohórquez, 2015).

Este alto contenido proteico hace que las escamas sean una materia prima ideal para la extracción de colágeno tipo I, que es ampliamente utilizado en aplicaciones alimentarias, cosméticas y biomédicas. Además, el colágeno extraído de las escamas de tilapia se considera más puro y con menor contenido graso en comparación con el colágeno derivado de mamíferos, lo que lo hace atractivo para los consumidores preocupados por la salud (Gómez, 2015).

Otro beneficio significativo de las escamas de tilapia es su potencial para contribuir a la sostenibilidad ambiental. Al aprovechar un subproducto que de otro modo sería desechado, se minimiza el desperdicio en la industria pesquera. Esto no solo mejora la eficiencia económica al generar valor a partir de residuos, sino que también promueve prácticas sostenibles en la acuicultura. Además, el colágeno obtenido a partir de escamas de tilapia es libre de enfermedades zoonóticas asociadas con otras fuentes animales, lo que lo convierte en una opción más segura para el consumo humano (Torres, 2017).

2.6.7. El Colágeno

Las indagaciones del colágeno a escala molecular dieron inicio en la década de 1950, con las investigaciones de Highberger y Schmitt en 1952, quienes lograron caracterizar el colágeno molecular utilizando un microscopio eléctrico. Ramachandran y Kartha en 1954 y Rich y Crick en 1955 crearon patrones para el estudio de la estructura de triple hélice del colágeno y, por último, Boedtker y Doty en 1956 establecieron las características

fisicoquímicas de la molécula de colágeno en solución, al comparar la estriación cruzada la cual se encuentra aproximadamente a los 70 nm o el equivalente a una cuarta parte de la fibrilla de colágeno en la que su longitud es de 280 nm; Smithch fue el primero en desarrollar el concepto de una serie escalonada de moléculas en las fibrillas nativas en el año de 1956 , de acuerdo con (Zambrano, 2018).

El colágeno está conformado por tres cadenas polipeptídicas que se enlazan formando una triple hélice, proveyendo estabilidad en los tejidos y su unidad estructural básica es una proteína larga (300 nm) con un diámetro de 1,5 nm compuesta por tres subunidades en espiral. Cada cadena contiene cerca de 1050 aminoácidos. Eventualmente se encontró que todos los colágenos contenían segmentos helicoidales de tres cadenas con estructura similar (Garcés, 2018).

2.6.8. Tipos de Colágeno

-Colágeno Tipo I.- Es el tipo más abundante en el cuerpo humano, representando aproximadamente el 90% del colágeno total. Se encuentra predominantemente en la piel, huesos, tendones y ligamentos, y su función principal consiste en otorgar resistencia y soporte estructural a los tejidos, según (Bastidas, 2017).

-Colágeno Tipo II.- Este tipo se localiza principalmente en el cartílago y es crucial para la salud articular. Proporciona soporte y resistencia a la presión intermitente, lo que lo hace esencial para el funcionamiento adecuado de las articulaciones, de acuerdo con (Delgado, 2020).

-Colágeno Tipo III.- Se halla mayoritariamente en la piel, huesos, tendones y ligamentos. Este tipo de colágeno es importante para proporcionar soporte a estructuras que requieren flexibilidad y está frecuentemente asociado con el colágeno tipo I (Naranjo, 2019).

- Colágeno Tipo IV.- Presente en las membranas basales que subyacen a los epitelios, este tipo no forma fibrillas como los anteriores, sino que se organiza en una red que ayuda en la filtración y soporte estructural (Pérez, 2015).

2.6.9. Métodos de extracción de colágeno

La extracción de colágeno se ha realizado mediante métodos tradicionales y modernos. Los métodos tradicionales incluyen la hidrólisis ácida, la hidrólisis enzimática y la extracción con solventes orgánicos, que han sido utilizados durante siglos para obtener colágeno de tejidos animales, según (Guevara, 2020).

Sin embargo, estos métodos tienen limitaciones, como la degradación del colágeno y la presencia de impurezas. Los métodos modernos, por otro lado, incluyen la extracción asistida por ultrasonido, la extracción asistida por microondas y la extracción con fluidos supercríticos, que permiten una extracción más eficiente y selectiva del colágeno (López, 2018). Además, se han desarrollado métodos de extracción más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, como la extracción con agua y la extracción con enzimas, que reducen el uso de solventes tóxicos y la generación de residuos (Acosta, 2016).

En resumen, la extracción de colágeno ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, y los métodos modernos ofrecen ventajas importantes en términos de eficiencia, selectividad y sostenibilidad (Flores, 2019).

-Hidrólisis ácida: Se fundamenta en la ebullición extendida de proteínas en soluciones ácidas fuertes (HCl y H₂SO₄). Este método destruye completamente el triptófano y parte de la Serina y la treonina, según (Núñez, 2016) la hidrólisis ácida es el método más prevalente para descomponer una muestra proteica y puede realizarse en condiciones líquidas o de vapor. Aunque se pueden emplear distintos ácidos para este proceso, el HCl 6 M es el más utilizado. Al evaporarse el HCl, también puede ser aprovechado para recuperar el hidrolizado en pequeñas cantidades de solución tampón, lo cual es particularmente ventajoso para muestras de menor volumen. Asimismo, la flexibilidad del HCl permite su aplicación tanto en hidrólisis líquida como en vapor (Cordero, 2018).

-Hidrólisis alcalina: La hidrólisis alcalina es un proceso químico en el que una sustancia se descompone en presencia de un medio alcalino (generalmente una base fuerte como el hidróxido de sodio, NaOH, o el hidróxido de potasio, KOH) y agua. Este método se utiliza en diversas aplicaciones industriales, en la síntesis química y en el tratamiento de residuos orgánicos, incluyendo la degradación de tejidos biológicos. Los reactivos más utilizados son NaOH, NH₃, CaO y Ca (OH)₂, y a diferencia de los tratamientos ácidos, no requieren temperaturas tan elevadas, aunque generalmente necesitan tiempos de reacción más largos, además de no descomponer tanto los azúcares, como señala (Lozano, 2021); Su fórmula química es NaOH, conocido como soda cáustica, que es un sólido cristalino blanco y tiene la capacidad de absorber la humedad del ambiente (es higroscópico). Su exposición al entorno puede irritar los ojos y el sistema respiratorio. El hidróxido de sodio es altamente corrosivo y se usa en forma sólida o en una solución al 50%. Se emplea en la industria como base química principalmente en las producciones de papel, textiles y

detergentes, a temperatura ambiente, el NaOH capta humedad del aire (higroscópico) (Vargas, 2017).

La desproteínización consiste en la hidrólisis de las proteínas que conformen la materia prima, sometiéndose a disoluciones acuosas alcalinas en concentraciones entre el 1% al 10%, a temperaturas entre los 65°C a 100°C y con un tiempo de reacción de entre 0.5 h a 72 h según lo requiera el proceso. Posteriormente, se recomienda neutralizar el material con la intención de precipitar las proteínas. Algunos de los álcalis más empleados son: NaOH (Salguero, 2018).

2.6.10. Proceso de extracción de colágeno de la escama de tilapia

La obtención de colágeno a partir de escamas de tilapia implica varios procesos y técnicas para asegurar la calidad y pureza del producto final. A continuación, se describen los pasos generales para la obtención de colágeno a partir de escamas de tilapia, según (Serrano, 2015).

-Recolección y limpieza de las escamas: Las escamas de tilapia se recogen y limpian para eliminar cualquier contaminante o residuo, de acuerdo con (González, 2017).

-Desmineralización: La desmineralización mantiene la concentración de la estabilidad del disolvente de extracción a través de la extracción de colágeno solubilizado en ácido. Por lo tanto, es un proceso crítico de desmineralización para la extracción de colágeno de escamas de pescado. Las escamas se someten a un proceso de desmineralización para eliminar los minerales y obtener una fuente de colágeno pura el tiempo de extracción de 95 min, concentración de HCl de 1,0 M y relación de material a solución de 1:11 (López, 2018).

-Acidificación: Las escamas se acidifican para desnaturalizar las proteínas y facilitar la extracción del colágeno. La acidificación de las escamas de pescado es un paso importante en la extracción de colágeno. El pH óptimo para la acidificación es entre 2 y 3. Esto ayuda a descomponer las proteínas y a liberar el colágeno. El ácido más comúnmente utilizado para la acidificación es el ácido clorhídrico (HCl) o el ácido acético (CH₃COOH). La concentración óptima es entre 0,1 y 0,5 M. El tiempo de acidificación puede variar entre 30 minutos y 2 horas, dependiendo de la concentración del ácido y la temperatura. La temperatura óptima para la acidificación es entre 10 y 20°C. Esto ayuda a prevenir la degradación del colágeno. La relación líquida/sólido óptima es entre 10:1 y

20:1. Esto asegura que las escamas de pescado estén completamente cubiertas por el ácido, de acuerdo con (Barrera, 2018).

-Calidad de las escamas: La calidad de las escamas de tilapia utilizadas para la extracción del colágeno es crucial. Escamas contaminadas o de baja calidad pueden afectar negativamente la calidad del colágeno extraído, según (González, 2017).

-Método de extracción: El método de extracción utilizado puede afectar la eficiencia y calidad del colágeno extraído. La hidrólisis alcalina y la extracción con solventes son comúnmente utilizadas, pero pueden tener diferentes efectos en la calidad del colágeno, de acuerdo con, (López, 2018).

-Condiciones de extracción: Las condiciones de extracción, como la temperatura, el pH y el tiempo de extracción, pueden afectar la eficiencia y calidad del colágeno extraído (Hernández, 2015).

-Purificación: La purificación del colágeno es un paso crucial para asegurar la calidad del producto final. La ultrafiltración y la cromatografía son técnicas comúnmente utilizadas para purificar el colágeno (Naranjo, 2018).

-Secado y molienda: El secado y la molienda del colágeno pueden afectar su calidad y estabilidad. Es importante controlar estas etapas para asegurar la calidad del producto final, (López, 2018).

2.6.11. Propiedades y uso del colágeno en la industria

-Industria Alimentaria. - El colágeno se utiliza en la industria alimentaria para mejorar la textura y la consistencia de productos como gelatinas, yogures y carnes procesadas. En la producción de embutidos, el colágeno ayuda a mejorar la retención de agua y la textura del producto final. Su capacidad para formar geles lo convierte en un ingrediente clave en la elaboración de alimentos funcionales (Acosta, 2016)

-Farmacología. - En el ámbito farmacéutico, los materiales a base de colágeno se utilizan como matrices para la liberación controlada de medicamentos. Esto permite una administración más efectiva y prolongada de fármacos en el organismo. Además, su biocompatibilidad lo hace adecuado para aplicaciones en medicina regenerativa, según (Alzamora, 2019). El colágeno es ampliamente utilizado en odontología, especialmente en implantes dentales y procedimientos de regeneración ósea. Su capacidad para

promover la integración de implantes y facilitar la curación de tejidos en la cavidad oral es fundamental para el éxito de estos tratamientos (Fernández, 2020).

-Ciencia de Materiales. - En el campo de la ciencia de materiales, el colágeno se utiliza como biomaterial en la fabricación de andamios (*scaffolds*) para la ingeniería de tejidos y la regeneración de órganos. Su estructura natural proporciona un entorno adecuado para el crecimiento celular y la formación de nuevos tejidos, de acuerdo (Buitrago, 2017). -

Cosmética. -El colágeno también tiene aplicaciones significativas en la industria cosmética, donde se utiliza en cremas, geles y lociones para mejorar la elasticidad y apariencia de la piel. Se han desarrollado productos como inyecciones subcutáneas que ayudan a reducir arrugas y otros signos del envejecimiento, (Vélez, 2019).

-Cicatrización de Heridas. - Los apósitos y parches a base de colágeno son utilizados en tratamientos para acelerar la cicatrización de heridas, disminuir la inflamación local y reducir la carga bacteriana en las lesiones. Su capacidad para promover la reparación tisular los hace valiosos en medicina, como indica (Zambrano, 2017).

2.6.12. Alteraciones físicas y su impacto en el rendimiento del producto

Cambios en las propiedades físicas del producto: El colágeno obtenido puede variar en sus propiedades fisicoquímicas dependiendo de las condiciones de extracción, como la temperatura y la concentración del agente hidrolizante. Esto puede resultar en un colágeno que no cumpla con los estándares deseados para aplicaciones específicas, afectando su solubilidad, viscosidad y capacidad de gelificación (Cordero, 2018).

-Efectos sobre el Rendimiento del producto: Los rendimientos del colágeno pueden fluctuar significativamente según las condiciones del proceso. La comparación de las escamas de tilapia con otras fuentes de colágeno en términos de rendimiento y calidad es crucial para determinar su viabilidad como fuente de colágeno. En términos de rendimiento, las escamas de tilapia tienen un rendimiento de colágeno similar al de la piel de cerdo y la piel de pollo, pero inferior al de los huesos de cerdo, según (González, 2017). Entre las principales causas que originan problemas en la obtención de colágeno tenemos:

-Composición Química de las Escamas: Las escamas de tilapia contienen una alta proporción de proteínas, pero también incluyen componentes como minerales y lípidos que pueden interferir con la pureza del colágeno extraído. La presencia de enlaces covalentes entre las cadenas de colágeno puede dificultar su solubilización durante el proceso de extracción (Garcés, 2018).

-La composición de las escamas de tilapia es similar a la de la piel y los huesos, con una alta proporción de aminoácidos como glicina, prolina e hidroxiprolina; además, las escamas de tilapia contienen una pequeña cantidad de minerales como calcio, fósforo y magnesio, que son importantes para la salud ósea (Hernández y Barrera, 2018). La estructura de las escamas es similar a la de la piel y los huesos, lo que las hace una fuente adecuada de colágeno para diversas aplicaciones, (López, 2018).

-Hidrólisis: El término hidrólisis se origina de dos palabras griegas: "hidro", que significa "agua", y "lisis", que se traduce como "rompimiento". En el contexto de la reacción entre iones de una sal y un disolvente, ya sea agua u otro, se denomina solvólisis (Arias, 2022).

2.6.13. Ventajas y desventajas de utilizar escamas de tilapia como fuente de colágeno

El uso de escamas de tilapia como fuente de colágeno presenta ventajas significativas, tales como su abundancia y bajo costo, dado que son un subproducto de la industria pesquera, lo que las convierte en una opción sostenible y ecológica. Estas escamas contienen principalmente colágeno tipo I, ideal para aplicaciones en cosmética, medicina regenerativa y suplementos, debido a su alta biocompatibilidad y menor riesgo de alergias en comparación con otras fuentes animales, de acuerdo con (Acosta, 2016). No obstante, su principal desventaja radica en el procesamiento complejo, que requiere tratamientos químicos específicos para obtener colágeno puro, lo que puede incrementar los costos de producción. Además, es necesario superar el desafío de eliminar el olor y sabor a pescado para su incorporación en alimentos, así como establecer una mayor estandarización en los procesos para aplicaciones médicas, según (Hernández, 2018).

2.6.14. Evaluación fisicoquímica y funcional del colágeno obtenido de escamas de tilapia

El colágeno obtenido de escamas de tilapia es una proteína versátil con una variedad de propiedades físico químicas funcionales interesantes, que lo hacen potencialmente útil para una amplia gama de aplicaciones industriales y biomédicas. Estos deben cumplir con un rango específico de valores en términos de propiedades físico-químicas, incluyendo un contenido de humedad entre el 8% y el 10%, un contenido de cenizas del 0,5-1,5% y un pH de 6,5-7,5. Además, presenta una viscosidad de 3-5 mPa·s y un tamaño de partícula de 50-100 μm , lo que lo hace adecuado para su uso en suspensiones y dispersiones, de acuerdo con (Guillén, 2017).

En cuanto a propiedades funcionales, el colágeno de tilapia muestra una buena solubilidad en agua y una capacidad de formación de películas y membranas, lo que lo hace útil para la creación de materiales biodegradables y biocompatibles. También presenta propiedades de gelificación y espesamiento, lo que lo hace útil en aplicaciones alimentarias y farmacéuticas, como la creación de gelatinas y espesantes naturales. Además, el colágeno de tilapia tiene propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que lo hace interesante para aplicaciones en la industria de los alimentos y la cosmética, como la creación de productos con propiedades preservantes y protectoras (Barrera, 2018).

Comparación con estándares de calidad y especificaciones para diferentes aplicaciones. El colágeno obtenido de escamas de tilapia se compara favorablemente con los estándares de calidad y especificaciones para diferentes aplicaciones, lo que lo hace un material prometedor para su uso en diversas industrias. En términos de pureza, el colágeno de tilapia tiene un contenido de proteínas del 90-95%, lo que cumple con los estándares de calidad para aplicaciones alimentarias y farmacéuticas, donde se requiere un alto grado de pureza para garantizar la seguridad y eficacia de los productos (Beltrán, 2018), además, el colágeno de tilapia tiene un contenido de humedad del 8-10%, un contenido de cenizas del 0,5-1,5% y un pH de 6,5-7,5, lo que cumple con los estándares de calidad para aplicaciones biomédicas y cosméticas, donde se requiere un control preciso de la humedad y la acidez para garantizar la estabilidad y eficacia de los productos. En cuanto a las especificaciones para diferentes aplicaciones, el colágeno de tilapia cumple con los requisitos para su uso en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y biomédica, lo que lo hace un material versátil y prometedor para su uso en diversas aplicaciones. Por ejemplo, el colágeno de tilapia se puede utilizar como ingrediente en alimentos funcionales, como gelatinas y espesantes naturales, y cumple con los estándares de calidad para su uso en la industria alimentaria (Moreno, 2020).

2.6.15. Regulaciones y normativas en evaluación de colágeno

El colágeno, como ingrediente clave en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos, está sujeto a regulaciones específicas que varían según su uso y región. En el caso de los dispositivos médicos, normas como la ISO 22442 garantizan su seguridad; además, cada país exige evaluaciones rigurosas de calidad, pureza y etiquetado para asegurar la eficacia y seguridad del colágeno en sus distintas aplicaciones, según (Naranjo, 2024) .

2.6.15.1. Marco regulatorio y normativo relacionado con la extracción y uso de colágeno en diferentes países

El marco regulatorio y normativo relacionado con la extracción y uso de colágeno varía según el país y la industria en la que se utilice. En la Unión Europea, el colágeno utilizado en la industria cosmética debe cumplir con el Reglamento (EC) No 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, que establece normas de seguridad y calidad para los productos cosméticos (European Commission, 2009). En los Estados Unidos, el colágeno utilizado en la industria farmacéutica debe cumplir con las normas de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), que establecen requisitos de pureza y seguridad para los productos farmacéuticos (FDA, 2020). En América Latina, los países miembros del Mercosur han establecido normas comunes para la producción y comercialización de colágeno, que incluyen requisitos de calidad y seguridad, de acuerdo con (Beltrán, 2018).

2.6.15.2. Los requisitos de calidad y seguridad para productos de colágeno varían según el marco regulatorio.

En la Unión Europea, los productos cosméticos deben cumplir con el Reglamento (EC) No 1223/2009 y las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) (European Commission, 2009). En los Estados Unidos, los productos farmacéuticos deben cumplir con las normas de la FDA y las BPM (FDA, 2020). En América Latina, los productos de colágeno deben cumplir con las normas de calidad y seguridad establecidas por el Mercosur y las BPM. (Fernández, 2020).

2.7.MARCO CONCEPTUAL

2.7.1. Alcalina:

Se refiere a una sustancia o medio que tiene un pH superior a 7. Durante el proceso de obtención de colágeno, se utiliza un tratamiento alcalino (normalmente con hidróxido

de sodio) para eliminar compuestos no deseados, como grasas y proteínas que no son colágeno, de la materia prima (Torres, 2015) .

2.7.2. Colágeno:

Es la proteína estructural más importante del cuerpo, presente en la piel, huesos, cartílagos y tejidos conectivos. En este caso, se extrae de las escamas de tilapia para aplicaciones alimenticias, cosméticas o farmacéuticas (Cardenas, 2019).

2.7.3. Escamas:

Son las estructuras dérmicas que cubren el cuerpo de los peces, compuestas principalmente de colágeno y sales minerales. Representan un subproducto abundante y valioso para la obtención de colágeno (Rodríguez, 2015).

2.7.4. Extracción:

Es el proceso que permite separar un componente específico (como el colágeno) de una materia prima. En este contexto, incluye varias etapas, como pretratamiento, desmineralización, desproteización y extracción mediante calor, ácido o enzimas (Herrera, 2018).

2.7.5. Hidrólisis:

Es un proceso químico que descompone enlaces en las moléculas mediante la adición de agua. En la obtención de colágeno, se refiere comúnmente a la hidrólisis del colágeno nativo para producir colágeno hidrolizado o gelatina, que tiene un peso molecular más bajo y mayor solubilidad (Bastidas, 2018).

2.7.6. Proteína:

Es una macromolécula formada por cadenas de aminoácidos, esencial para las funciones estructurales y metabólicas en los seres vivos. El colágeno es un tipo de proteína fibrosa (Bastidas, 2024).

2.7.7. Proteína tipo I:

Es el tipo de colágeno más abundante en el cuerpo y el principal componente del tejido conectivo. Se encuentra en la piel, huesos, tendones y escamas de pescado, y es el objetivo principal en la extracción de colágeno (Torres, 2015).

2.7.8. Rendimiento:

Indica la cantidad de colágeno obtenida en relación a la cantidad de materia prima utilizada. Se expresa generalmente en porcentaje y es un indicador clave de la eficiencia del proceso de extracción (Bastidas, 2018).

2.7.9. Solubilidad:

Es la capacidad de una sustancia para disolverse en un solvente, como el agua. En el caso del colágeno, la solubilidad mejora al ser hidrolizado (Rivera, 2015).

2.7.10. Subproductos:

Son los materiales secundarios que se generan durante el procesamiento de los productos principales. Por ejemplo, las escamas de tilapia son un subproducto de la industria pesquera y acuícola, y se pueden reutilizar para extraer colágeno (Naranjo, 2020).

2.7.11. Tilapia:

Este es un género de peces de agua dulce que se cultiva ampliamente en acuicultura. Su carne es consumida en todo el mundo, y sus subproductos, como las escamas, pueden ser aprovechados para la obtención de colágeno (Herrera, 2018).

2.7.12. Humedad:

La humedad en el colágeno corresponde a la cantidad de agua que se encuentra incorporada en la estructura molecular de esta proteína fibrosa. Debido a su naturaleza, el colágeno posee una notable capacidad para retener agua, característica esencial que influye directamente en su función biológica, estabilidad estructural y propiedades físico-químicas. El contenido de humedad del colágeno puede variar considerablemente según diversos factores, tales como el tipo específico de colágeno, su origen biológico, y los métodos y condiciones empleadas durante su extracción y procesamiento (Cardenas, 2019).

2.7.13. pH:

Es un factor crítico en el manejo del colágeno de tilapia, ya que influye significativamente en su extracción, solubilidad y estabilidad. Este colágeno se disuelve de manera óptima en medios ácidos (pH 2.0–4.0), donde agentes como el ácido acético o cítrico rompen enlaces no covalentes. En contraste, en condiciones alcalinas (pH 8.0– 12.0) se eliminan proteínas no colágenas; sin embargo, un tratamiento prolongado en estas condiciones puede provocar la desnaturalización del colágeno (Bastidas, 2018).

2.7.14. Aminoácidos:

El colágeno de tilapia es una proteína única cuya composición de aminoácidos determina sus propiedades y aplicaciones; más del 50% de su estructura está formada por solo tres aminoácidos: glicina (33%), prolina y su derivada hidroxiprolina (20-25% combinados (Herrera, 2018).

2.8. Metodología del proceso de investigación

2.8.1. Tipos de investigación

El presente trabajo se planteó mediante metodologías que permitieron responder interrogantes y generar conocimientos a lo largo del proyecto de investigación. Se basó en distintos tipos como: la aplicación bibliográfica, experimental y descriptiva,

asegurándose de dar relevancia a los datos obtenidos durante el periodo de estudio del proyecto.

2.8.2. Investigación bibliográfica

Esta investigación tuvo como finalidad recopilar datos relevantes y específicos a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica que incluyó artículos científicos, manuales, revistas y libros, entre otros fuentes, para llevar a cabo un análisis crítico de la información obtenida, según (Zambrano, 2018). Este enfoque documental permitió la recopilación y el análisis de información preliminar sobre metodologías para la obtención de colágeno en polvo a partir de las escamas de la tilapia y su posterior caracterización. Al sistematizar los hallazgos de estudios previos, se logró establecer una guía preliminar para el proceso de extracción y purificación de colágeno en polvo derivado de escamas de tilapia, asegurando que las técnicas propuestas fueran apropiadas para su posterior análisis y validación, de acuerdo con (Sánchez, 2023).

2.8.3. Investigación descriptiva

Se centró en la caracterización de procesos mediante métodos que permitieron la recolección de datos claros y precisos; en particular, se realizó una descripción detallada de las propiedades del colágeno en polvo obtenido de las escamas de tilapia, utilizando métodos analíticos y evaluando propiedades bromatológicas relevantes, con el objetivo de determinar el porcentaje de contenido proteico del colágeno, según (Garcés, 2018).

2.8.4. Investigación experimental

Este tipo de investigación consiste en modificar deliberadamente las variables independientes con el fin de observar su efecto sobre la variable dependiente en condiciones controladas. Se caracteriza por la meticulosidad en la recolección de datos y la utilización de pruebas estadísticas para evaluar la significancia de los resultados (Bastidas, 2017). La investigación experimental fue fundamental para evaluar cómo las variaciones en las condiciones de precipitación influyen en la calidad del colágeno en polvo obtenido de las escamas de tilapia. Al manipular variables como el tiempo de precipitación y el pH, se pudo observar su impacto directo en la eficiencia de la extracción de colágeno. Este enfoque experimental garantizó que las conclusiones sobre las propiedades del colágeno fueran sólidas y fundamentadas, permitiendo una comprensión más precisa de los factores que afectan la obtención de colágeno de alta calidad (Beltrán, 2018).

2.8.5. Materias primas y materiales

Materia prima

-Escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Reactivos

-NaOH (0,2 M – 0,3 M)

-Ácido acético

-NaClO 2%

-Agua destilada

-Indicador universal de pH

Equipos de proceso

-Balanza electrónica (medidor de masa en gramos) CENTURY.

-Termómetro digital de sonda larga (10 °C a 200 °C).

-Cocina industrial

-Molino

-Estufa (SNB 100-400 SNF 400-500 MEMMER)

-Vaso de precipitación 100 ml

Materiales de proceso

-Ollas de acero inoxidable

-Agitador de vidrio

-Bandejas de aluminio (15*10)

-Bowl de aluminio

-Coladera

-Fundas Zipper

2.8.6. Metodología para el análisis bromatológico de la materia prima.

2.8.6.1. Humedad Total y Materia seca

La metodología AOAC 925.10 (AOAC Internacional 2005) para la determinación gravimétrica de humedad y materia seca en colágeno en polvo consiste en pesar 2g de una muestra representativa y secarla en estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante. El contenido de humedad se calcula como el porcentaje de masa perdida por evaporación del agua, mientras que la materia seca corresponde al residuo restante tras el secado. Este

método, reconocido y validado internacionalmente proporciona resultados precisos y reproducibles, siendo fundamental para el control de la calidad y estabilidad del colágeno en polvo. Además, ha sido aplicado con éxito en diversos productos alimenticios, lo que confirma su eficacia para análisis gravimétrico de humedad y materia seca (García, 2015).

Ecuación 1: *Formula para calcular humedad (base húmeda)*

$$\text{Humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

-W1 = Peso de muestra del secado (g)

- W2 = Peso de muestra después de secado (g)

2.8.6.2. Proteína

Para la determinación del contenido de proteína en colágeno en polvo, se empleó el método Kjeldahl, siguiendo la metodología oficial (AOAC 2001.11), ampliamente reconocida para el análisis de nitrógeno en muestras orgánicas y utilizada como referencia en alimentos el contenido se pesan 2g de colágeno en polvo y se digieren con ácido sulfúrico (H₂SO₄) y un catalizador hasta obtener una solución incolora, lo que transforma todo el nitrógeno de la muestra en sulfato de amonio. Luego, se agrega sosa (NaOH) para liberar amoníaco (NH₃), que se destila y atrapa en ácido bórico. El amoníaco se mide con una titulación con HCl, y el resultado se usa para calcular el nitrógeno total del colágeno (Isabe, 2018).

Ecuación 2: *Formula para calcular proteína*

$$\text{Proteína} = \left(\frac{(V_s - V_b) * M * 14.007 * 100}{W} \right) * 6.25 \quad (\text{Ec. 2})$$

V_s = Volumen de ácido titulante usado en la muestra (mL)

V_b = Volumen de ácido titulante usado en el blanco (mL)

M = Molaridad del ácido titulante (normalmente 0.1 M)

N = Factor de normalidad (usualmente 1 para ácido sulfúrico)

14.007 = Peso molecular del nitrógeno (g/mol)

W = Peso de la muestra (mg o g, según unidades usadas)

F = Factor de conversión para proteína, que depende del tipo de alimento:

6.25 para la mayoría de alimentos

2.8.6.3. Grasa

La determinación de contenido de grasa en colágeno en polvo se realizó mediante el método AOAC 920.39 (Goldfish), una técnica reconocida internacionalmente para el

análisis proximal en alimentos en polvo (AOAC International, 2005; Codex Alimentarius, 2010). El procedimiento consistió en pesar exactamente 2g de muestra seca, colocarla en un cartucho poroso dentro del extractor Goldfish, realizar una extracción continua utilizando éter etílico como disolvente orgánico, evaporar el disolvente y cuantificar gravimétricamente la grasa extraída. Los resultados se expresaron como porcentaje de grasa en base seca (Zapata, 2018).

Ecuación 3: *Formula para calcular grasa*

$$\text{Grasa} = \frac{Pf - Pi}{Pm} * 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Pf= Peso final del vaso con grasa después de la extracción y secado (gr)

Pi= Peso inicial del vaso vacío (g)

Pm= Peso de la muestra analizada (g)

2.8.6.4. Ceniza y Materia orgánica

La metodología AOAC 923.03 es un método gravimétrico empleado para determinar el contenido de cenizas y la materia orgánica presente en alimentos. El procedimiento consiste en incinerar 3g muestra en un horno mufla a 525-550 °C hasta lograr la eliminación completa de la materia orgánica, obteniendo como residuo únicamente la fracción orgánica (cenizas). Para calcular el porcentaje de cenizas se registra el peso el crisol vacío, el crisol con la muestra antes de la incineración y el crisol con las cenizas después del proceso (Vives, 2019)

Ecuación 4: *Formula para calcular ceniza*

$$\text{Ceniza} = \frac{P \text{ cenizas} - P \text{ crisol}}{P \text{ muestra}} * 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

P cenizas = Peso del crisol con cenizas después de la incineración (g)

P crisol = Peso del crisol vacío (g)

P muestra = Peso de la muestra inicial (g)

2.8.7. Metodología para el proceso de extracción por el método de hidrólisis alcalina

-Recepción de la muestra: Se recibió una cantidad de 5kg de materia prima (escamas de tilapia) para realizar el análisis bromatológico. Posteriormente, se verifico que la materia prima estuviera en buen estado, con el fin de garantizar la inocuidad durante el proceso de obtención del colágeno.

-Lavado: Las escamas fueron lavadas con una solución de NaClO 2%. Este proceso de blanqueamiento se realiza para evitar que el colágeno adquiriera un color gris, característico de las escamas. Finalizado el blanqueamiento, se efectuaron tres lavados con agua destilada para eliminar el NaClO 2% presente en las escamas, evitando así que afecte la extracción.

-Hidrólisis: Las escamas de tilapia se colocaron por separado en soluciones de NaOH, cada una con su respectivo rotulado, lo que facilita la hidrólisis de la grasa y la desnaturalización del colágeno. La hidrólisis se llevó a cabo a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C), manteniendo las escamas en la solución durante 3 y 6 horas.

-Neutralización de pH: Se aplicó la metodología descrita por (García, 2017), que consiste en lavar el contenido de cada muestra y neutralizarlo con ácido acético hasta alcanzar un pH de 8.

-Extracción del colágeno: Al alcanzar un pH de 8, se procedió a la extracción con 300 ml de agua a 80°C durante 1 y 2 horas, utilizando baño María.

-Filtración y concentración: El colágeno obtenido en caliente fue filtrado y concentrado reduciendo su volumen a temperatura de ebullición (92°C) hasta formar un gel, que posteriormente se colocó en moldes para su secado.

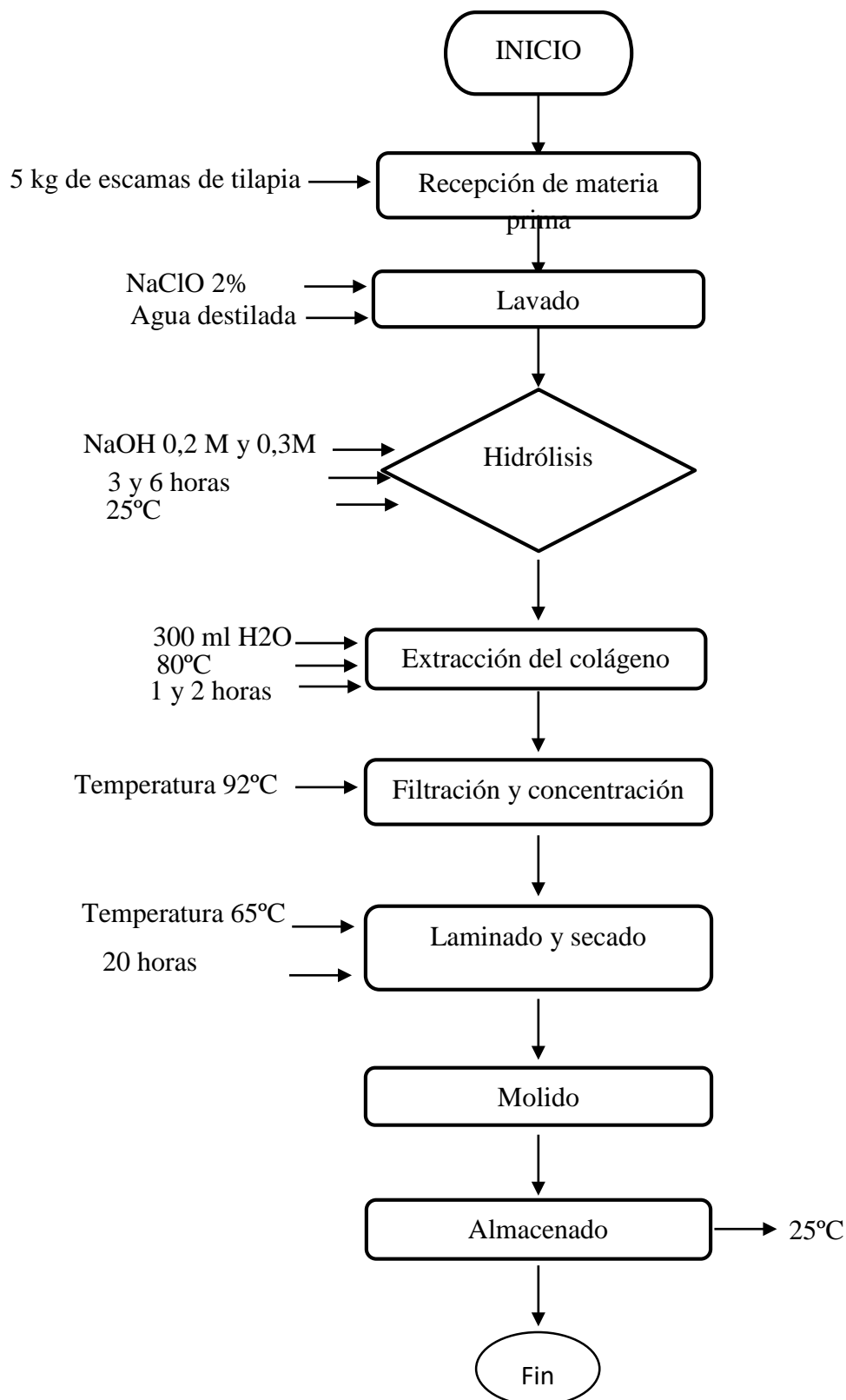
-Laminado y secado: El gel se laminó y se colocó en papel aluminio, todas las muestras se vertieron en moldes de base cuadrada para darle forma durante el secado, que se realizó en la estufa a 65°C durante 20 horas.

-Molido: La lámina seca de colágeno se sometió a molienda, dejando el colágeno listo para los análisis posteriores.

-Almacenamiento: Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente (25°C)

2.8.8. Diagrama de flujo para la obtención del colágeno

Flujograma 1. Obtención del colágeno a partir de escamas de tilapia



Fuente: (Guanquiza & Orozco., 2025)

2.8.9. Metodología para la evaluación de pruebas fisicoquímicas del colágeno

2.8.9.1. Humedad

El contenido de humedad es uno de los parámetros más relevantes para la evaluación de la calidad de granos, cereales y sus derivados. Para su determinación, se emplearon métodos oficiales reconocidos, tales como AOAC 32.1.03, ISO 6540:1980, NTC 2227:86 y COVENIN 2135:96.

Se aplicó la metodología de (AOAC/gravimétrico) que consiste en:

Para determinar la humedad se pesa una muestra de 3g de colágeno en una cápsula previamente tarada, se seca en la estufa a $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 3-4 horas (o hasta peso constante), se enfría en desecador y se vuelve a pesar; el porcentaje de humedad se calcula restando el peso seco de la inicial, dividiendo entre el peso inicial (3g) y multiplicando por 100.

Ecuación 5: *Fórmula para calcular humedad*

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (\text{Ec.5})$$

2.8.9.2. Proteína

El contenido de proteínas puede determinarse de distintos métodos. El método Kjeldahl nombrado así por su investigador Johann Kjeldahl, es un método que se encuentra básicamente dividido en tres etapas: digestión, destilación y valoración; y se puede cuantificar por medio del contenido de nitrógeno en la muestra.

Se aplicó la metodología de (Martínez, 2017) que consiste en:

Se pesa con precisión 0.5g de muestra y se digiere con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y un catalizador a 420°C durante 1-2 horas hasta obtener una solución transparente. Luego, se destila la mezcla alcalinizada con hidróxido de sodio (NaOH) al 40%, liberando amoníaco que es capturado en una solución de ácido bórico al 4% con indicador (mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo). Finalmente, se titula con ácido clorhídrico (HCl) 0.1N hasta el viraje de color (verde a rosa), y el porcentaje de proteína se calcula multiplicando el nitrógeno obtenido por el factor específico para colágeno.

Ecuación 6: *Fórmula para calcular proteína*

$$\text{Proteína} = \frac{\text{Peso colágeno seco}}{\text{Peso muestral seca}} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$

2.8.9.3. Rendimiento

Se aplicó la metodología de (Zambrano, 2018) que consiste en:

A partir del colágeno en polvo, el rendimiento se obtendrá según el experimento, se calculó el porcentaje de rendimiento tomando en cuenta que para la obtención de colágeno se tomó como muestra en cada una de las corridas 300g de escamas por medio de las ecuaciones presentadas en esta sección, en la cual se calcula el rendimiento en base a escamas.

Ecuación 7: Fórmula para calcular rendimiento

$$\text{Rendimiento en base a escamas} = \frac{\text{peso del colágeno en polvo}}{\text{peso de escamas que se uso}} \cdot 100 \quad (\text{Ec.7})$$

2.8.9.4. Solubilidad

En este proceso se realizó el cálculo del porcentaje de solubilidad mediante el método de (Huamani, 2020).

1. Pesar 1g de polvo se coloca 100 mL de agua destilada
2. Agitar manualmente hasta que se solubilice toda la muestra
3. Transferir a tubos para su centrifugación a 5260 rpm durante 5 min
4. Tomar una muestra de 25 mL del sobrenadante y se pasa a cajas Petri.
5. Colocar 25 ml de la muestra y pasa a cajas Petri
6. Secar en una estufa a 105°C durante una noche

Ecuación 8: Fórmula para calcular solubilidad

$$\text{Solubilidad} = \frac{(\text{Peso sólidos} \cdot 2)}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (\text{Ec.8})$$

2.8.9.5. pH

Se aplico la metodología para la determinación del pH de (Quintero, et al. 2017).

Para medir el pH del colágeno extraído de las escamas de tilapia se tomó 2g de muestra de colágeno y se disuelve en agua destilada con una relación de 1:10 (2gr en 20mL agua destilada), se utilizó un pH-metro calibrado siguiendo la norma ISO 10012:2003, que establece cómo gestionar y calibrar correctamente los instrumentos de medición para asegurar que los resultados sean precisos y confiables. Esto implica calibrar el equipo con soluciones estándar y verificar su correcto funcionamiento antes de cada medición, garantizando así que el pH registrado sea exacto y reproducible.

2.8.10. Metodología para el análisis microbiológico realizado al mejor tratamiento

2.8.10.1. Aerobios Mesófilos

Para el recuento de *Aerobios mesófilos* se aplicó el método AOAC 990.12. que consiste en pesar 10g de muestra y se mezclan con 90 ml de diluyente estéril. Se homogeneiza la mezcla y se preparan diluciones seriadas si es necesario. Luego, se inocula 1 ml de la dilución sobre placas Petrifilm para aerobios y se incuban a 30°C durante 48 horas. Finalmente, se cuentan las colonias formadas y se calcula el número de unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) multiplicando por el factor de dilución. Este método es confiable para evaluar la calidad microbiológica de productos en polvo (AOAC, 2016).

2.8.10.2. Coliformes Totales

Para el recuento de *Coliformes Totales* se aplicó el método AOAC 991.14, consiste en pesar asépticamente una muestra de 10 g y se mezcla con 90 ml de diluyente estéril, homogeneizando para obtener una suspensión uniforme. Se preparan diluciones seriadas si es necesario. Posteriormente, se inocula 1 ml de la dilución adecuada sobre placas Petrifilm específicas para *coliformes* y se incuban a $35 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 ± 2 horas. Tras la incubación, se cuentan las colonias rojas con o sin producción de gas, que indican la presencia de coliformes totales. El recuento se expresa en unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g), multiplicando el número de colonias por el factor de dilución correspondiente. Este método es ampliamente utilizado para el control microbiológico en alimentos en polvo, garantizando resultados confiables para evaluar la calidad sanitaria del producto (Arias, 2022).

2.8.10.3. Enterobacteriaceas

Para el recuento de *Enterobacteriaceas* se aplicó el método de NTE INEN 1529-13, este método se basa en la capacidad de estas bacterias para fermentar la glucosa y producir ácido, utilizando un medio selectivo como agar cristal violeta-rojo neutro-bilis-glucosa. Para su aplicación, se prepara una suspensión de la muestra en diluyente estéril, se realizan diluciones seriadas y se siembran por profundidad en placas con el medio VRBG. Las placas se incuban a $37 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 a 48 horas, tras lo cual se cuentan las colonias características de *Enterobacteriaceae*. Este procedimiento permite determinar el número de células viables presentes por gramo o mililitro de muestra, siendo útil para evaluar la calidad microbiológica y la seguridad alimentaria (NTE INEN 1529-13, 2013).

2.8.10.4. Salmonella

Para la determinación de *Salmonella* en 25g se aplicó el método: NTE INEN 1529-15, este método no es cuantitativo y se basa en etapas de pre-enriquecimiento en medios no

selectivos a 37°C para revitalizar células lesionadas, seguido de enriquecimiento selectivo en medios líquidos a 37°C y entre 42-43°C para favorecer el crecimiento de *Salmonella* y suprimir la flora competidora. Posteriormente, se realiza el aislamiento en medios sólidos selectivos como agar XLD o agar Hektoen, donde se identifican colonias características. Finalmente, se confirma la presencia de *Salmonella* mediante pruebas bioquímicas y serológicas. Este procedimiento garantiza la detección confiable de *Salmonella* en muestras de 25g, siendo ampliamente utilizado para asegurar la inocuidad alimentaria (NTE INEN 1529-15, 2013).

2.8.10.5. Mohos y levaduras

Para la determinación de Mohos y levaduras se aplicó el método AOAC 975.55, consiste en preparar una suspensión de la muestra en un diluyente estéril, realizar diluciones seriadas y sembrar alícuotas en placas de agar específico para hongos. Las placas se incuban a 25°C durante 5 a 7 días para permitir el crecimiento de mohos y levaduras. Tras la incubación, se cuentan las colonias características, expresando el resultado en unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g). Este método es ampliamente utilizado para evaluar la calidad microbiológica y detectar posibles contaminaciones que afectan la inocuidad y vida útil del producto (SENASA, 2016).

2.8.11. Metodología para el perfil de aminoácidos realizado al mejor tratamiento

-Aminoácidos: *Glicina, Prolina, Ácido Glutámico, Alanina*: Se aplicó el método de HPLC (AOAC 994.12), para determinar el perfil de aminoácidos como glicina, prolina, ácido glutámico y alanina en colágeno en polvo, se utiliza el método oficial AOAC 994.12, basado en la hidrólisis ácida de la muestra seguida de análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Primero, se pulveriza 100 mg de muestra la muestra y se somete a hidrólisis con ácido clorhídrico 6 N a 110 °C durante 24 horas para romper los enlaces peptídicos y liberar los aminoácidos libres. Posteriormente, el hidrolizado se neutraliza y se prepara para su inyección en el equipo HPLC, donde se separan y cuantifican los aminoácidos mediante un detector UV o fluorescencia, utilizando estándares y patrones internos para asegurar la precisión y exactitud del análisis. Este método permite una cuantificación precisa del contenido y perfil de aminoácidos en proteínas, siendo ampliamente aplicado en alimentos y piensos (UNAM, 2019).

2.9. Validación de las preguntas científicas o hipótesis

2.9.1. Hipótesis nula (H0):

La concentración de hidróxido de sodio (NaOH), tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción no influyen significativamente en las características fisicoquímicas del colágeno en polvo.

2.9.2. Hipótesis alternativa (Ha):

La concentración de hidróxido de sodio (NaOH), tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción si influyen significativamente en las características fisicoquímicas del colágeno en polvo.

2.9.3. Validación de las hipótesis

Los resultados sugieren que, utilizando una baja concentración de NaOH (0,2 M), un tiempo de hidrólisis prolongado (6 h) y un tiempo de extracción alto (2 h), se obtiene un nivel de humedad adecuado, un pH moderadamente alcalino, así como una mayor extracción de proteína, solubilidad y rendimiento. Estos hallazgos permiten rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, ya que la concentración de NaOH, el tiempo de hidrólisis y el tiempo de extracción influyen significativamente en la eficiencia de extracción del colágeno y en sus propiedades fisicoquímicas.

2.10. Diseño experimental

En el diseño experimental se emplearon tres factores de estudio.

-Factor A: Concentración de hidróxido de sodio (NaOH) con dos niveles: 0,20 M y 0,30 M.

-Factor B: Tiempo de hidrólisis (TH) con dos niveles: 3 horas y 6 horas.

-Factor C: Tiempo de extracción (TE) con dos niveles: 1 hora y 2 horas.

Cada factor presentó dos niveles, lo que resultó en un arreglo factorial A*B*C con 8 tratamientos evaluados. El estudio se basó en un diseño de bloques completamente al azar con dos repeticiones por tratamiento.

2.10.1. Operacionalización de variables

En la tabla 2, se presentan los tipos de variables, dependientes e independientes con sus respectivos indicadores, sobre diferentes aspectos de la calidad y composición del colágeno obtenido:

Tabla 2: Tipos de variables

<u>Variable dependiente</u>	<u>Variable independiente</u>	<u>Indicadores</u>
-----------------------------	-------------------------------	--------------------

Colágeno en polvo	-Factor A: Concentración de hidróxido de sodio (NaOH) <ul style="list-style-type: none"> ○ a₁: 0,20 M ○ a₂: 0,30 M. -Factor B: Tiempo de hidrólisis (TH) <ul style="list-style-type: none"> ○ b₁: 3 horas ○ b₂: 6 horas -Factor C: Tiempo de extracción (TE) <ul style="list-style-type: none"> ○ c₁: 1 hora ○ c₂: 2 horas 	<hr/> Fisicoquímicos: -Humedad -Proteína -pH -Solubilidad -Rendimiento
Análisis al mejor tratamiento		
Microbiológicos		-Aerobios Mesófilos -Coliformes Totales -Enterobacteriáceas -Salmonella -Mohos y Levaduras
Perfil de Aminoácidos		-Glicina -Prolina -Acido Glutámico -Alanina

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

2.10.2. Factores de estudio

Se realizaron diferentes formulaciones para la obtención de colágeno a partir de escamas de tilapia, aplicando los factores y niveles que se describen en la Tabla 3:

Tabla 3: Factores de estudio

Factor	Descripción	Niveles
Factor A	Hidróxido de sodio (NaOH)	a ₁ : 0,2 M a ₂ : 0,3 M
Factor B	Tiempo de hidrólisis (TH)	b ₁ : 3 h b ₂ : 6 h

Factor C	Tiempo de extracción (TE)	c ₁ : 1 h c ₂ : 2 h
-----------------	---------------------------	--

Fuente: (*Guanoquiza & Orozco., 2025*)

2.10.3. Formulación de los Tratamientos

En la Tabla 4, a continuación, se presenta las combinaciones de los niveles de las variables independientes, resultando 8 tratamientos con una réplica evaluando un total de 16 tratamientos a continuación, se describen los tratamientos:

Tabla 4: *Tratamientos en el estudio de obtención de colágeno en polvo a partir de escamas de tilapia*

Repeticiones	Tratamientos	Combinación	Descripción
--------------	--------------	-------------	-------------

	1		
	2	a ₁ b ₁ c ₁	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
	3	a ₁ b ₁ c ₂	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	4	a ₁ b ₂ c ₁	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
1	5	a ₁ b ₂ c ₂	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	6	a ₂ b ₁ c ₁	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
	7	a ₂ b ₁ c ₂	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	8	a ₂ b ₂ c ₁	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
	9	a ₂ b ₂ c ₂	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	10	a ₁ b ₁ c ₁	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
	11	a ₁ b ₁ c ₂	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	12	a ₁ b ₂ c ₁	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
2	13	a ₁ b ₂ c ₂	a ₁ : Concentracion de NaOH (0,2 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	14	a ₂ b ₁ c ₁	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
	15	a ₂ b ₁ c ₂	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₁ : Tiempo de Hidrólisis (3 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)
	16	a ₂ b ₂ c ₁	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₁ : Tiempo de extracción (1 hora)
	17	a ₂ b ₂ c ₂	a ₂ : Concentracion de NaOH (0,3 M); b ₂ : Tiempo de Hidrólisis (6 horas); c ₂ : Tiempo de extracción (2 horas)

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

2.10.4. Esquema de ADEVA para la obtención de colágeno en polvo a partir de las escamas de tilapia

Para analizar los datos de los análisis fisicoquímicos, comparar las medias y determinar si existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, se aplicó un diseño el

diseño experimental DBCA con arreglo factorial A*B*C, como se muestra el esquema en la tabla 5:

Tabla 5: Esquema ADEVA análisis fisicoquímicos

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamiento	7
Repeticiones	1
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
A x B	1
A x C	1
B x C	1
A x B x C	1
Error Experimental	7
Total	15

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

2.11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

2.11.1. Caracterización de la materia prima, escamas de Tilapia

(*Oreochromis niloticus*)

La caracterización de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*), proporcionan datos relevantes en la composición bromatológica, para la determinación de posibles aplicaciones en la industria alimentaria, como se puede observar en la tabla 6 se reporta los siguientes resultados:

Tabla 6: Composición bromatológica de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

PARÁMETRO	RESULTADOS
Humedad total (%)	6,78
Materia seca (%)	93,22
Proteína (%)	60,77
Grasa (%)	1,09
Ceniza (%)	33,26
Materia orgánica (%)	66,74

Fuente: Servicios de Transferencia y Laboratorio Agropecuario (SETLAB, 2025)

Los datos obtenidos indican que las escamas de tilapia poseen un alto contenido de proteína alcanzando un 60,77%. Este valor es relevante, ya que actualmente supera los estándares de calidad para proteínas hidrolizada, lo que permite su aprovechamiento a nivel industrial (OMS, 2007). Asimismo, se puede afirmar que este contenido proteico es elevado en comparación como otras materias primas animales utilizadas en la industria

de colágeno, como los huesos bovinos o pieles porcinas, que suelen presentar entre 25% y 45% de proteína en base seca de acuerdo con (Liu, et al. 2023). Por lo tanto, el contenido proteico obtenido en el análisis respalda el uso de las escamas de tilapia como una fuente rica en proteína para el desarrollo de productos alimenticios funcionales, como el colágeno.

La Humedad Total registrada es de 6,78%, un valor bajo que favorece la estabilidad y conservación del producto a elaborar, ya que resulta óptimo para su procesamiento industrial. Este porcentaje se encuentra dentro del rango ideal (4-8%) recomendado para productos deshidratados según la metodología de (García, et al. 2022). Un bajo contenido de humedad favorece significativamente a la estabilidad del producto, al inhibir el crecimiento microbiano y reducir las reacciones de deterioro. De acuerdo con (Ortega, et al. 2023), este nivel de humedad garantiza una adecuada conservación sin comprometer las propiedades funcionales de las proteínas, lo que lo hace ideal para los procesos de transformación en la industria alimentaria.

Por otro lado, el contenido de materia seca fue de 93,22%, un valor elevado y adecuado según los estándares industriales para subproductos de pescado destinados a procesos bioquímicos. Este resultado se encuentra dentro del rango reportado por (Almeida, et al. 2021), quienes señalaron valores entre 90% y 94%. Además, el porcentaje de materia seca indica que la materia prima utilizada en este estudio posee una alta proporción de componentes útiles como proteínas, minerales, grasa y otros compuestos orgánicos e inorgánicos no volátiles, lo que resulta favorable para su procesamiento posterior.

Asimismo, el contenido de grasa, con un valor de 1,09% es considerado bajo y favorable para los procesos de extracción de colágeno, ya que reduce la necesidad de desengrasado químico intensivo y minimiza la oxidación lipídica, lo cual podría comprometer la calidad del colágeno (González, et al. 2023).

El contenido de ceniza, con un valor de 33,26%, es elevado y refleja una importante fuente de minerales, especialmente calcio y fósforo, como lo reportan (Pérez, et al. 2023) en estudios con especies similares. Este aporte mineral puede contribuir a enriquecer el perfil nutricional de los productos en los que se incorpore esta materia prima. Lejos de ser un inconveniente, este alto contenido puede aprovecharse para desarrollar productos como el colágeno, ya que, según (Ramírez, et al. 2022), los minerales presentes en subproductos acuícolas presentan una excelente biodisponibilidad. Para los procesos de

extracción de colágeno, se recomienda implementar protocolos de purificación suaves que permitan conservar estos valiosos componentes minerales, al tiempo que se obtiene un colágeno de alta pureza.

Por último, se observa un alto contenido de materia orgánica (66,74%), lo cual es un indicador de contenido proteico, dado que la materia orgánica está compuesta por sustancias que contienen carbono, como proteínas, lípidos, aminoácidos, minerales ligados orgánicamente y colágeno, (Gómez, et al. 2023). En el caso de las escamas de tilapia, una parte significativa de esta fracción corresponde a colágeno tipo I, que constituye la principal proteína estructural en los tejidos conectivos de los peces. Estudios recientes de (Martínez, et al. 2024) confirman que valores superiores al 65% de materia orgánica en escamas están directamente asociados con altos rendimientos en la extracción de colágeno hidrolizado.

2.11.2. Evaluación fisicoquímica del colágeno de las escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) mediante el método de hidrólisis alcalina

La extracción de colágeno a partir de escamas de tilapia mediante el método de hidrólisis alcalina, según (Mamani, 2018), es una técnica ampliamente utilizada para obtener colágeno tipo I de materiales ricos en proteínas estructurales. Este proceso se basa en el uso de soluciones alcalinas, generalmente hidróxido de sodio (NaOH), para eliminar proteínas no colagénicas, lípidos, pigmentos y otras impurezas. La alcalinización rompe enlaces peptídicos secundarios y facilita la apertura de las estructuras del colágeno, sin alterar de forma significativa la triple hélice, especialmente si se controlan el tiempo y la temperatura (Velarde, et al. 2015)

2.11.2.1. Evaluación del contenido de humedad

La humedad representa el contenido de agua libre y ligada presente en una sustancia. En el contexto de procesamiento de colágeno, se mide como porcentaje del peso total del material, antes o después de tratamientos térmicos o químicos (Sampedro, et al. 2018). Este parámetro es de gran importancia, ya que constituye un indicador de la calidad y estabilidad del producto final.

A continuación, en la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos:

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Repeticiones	0,0800	1	0,0800	0,1700	0,6914ns

Concentración de NaOH	2,9200	1	2,9200	6,6200	0,0369 *
Tiempo de Hidrólisis	0,3800	1	0,3800	0,8700	0,3819ns
Tiempo de Extracción	0,7700	1	0,7700	1,7300	0,2295ns
CNAOH * TH	0,6800	1	0,6800	1,5400	0,2545ns
CHS * TE	1,7400	1	1,7400	3,9400	0,0874ns
TH* TE	0,7700	1	0,7700	1,7500	0,2271ns

Tabla 7: Determinación del análisis de varianza del % Humedad

	0,8000				
Error	3,0900				
Total	11,2400	15			
CV (%)	4,1600				
CNAOH * TH* TE		1	0,8000	1,8100	0,2201ns
		7	0,4400		

SC: suma de cuadrados, gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F: calculado, p -valor: probabilidad, NaOH: Concentración de NaOH, TH: Tiempo de Hidrolisis, TE: Tiempo de Extracción, CV (%): Coeficiente de varianza, *: Significativo; ns: no significativo

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

A partir de los datos obtenidos en el análisis de varianza se puede observar que en la obtención del colágeno de escamas de Tilapia presenta un p-valor de 0,0369, indicando que para el Factor A de Concentración de NaOH (Hidróxido de sodio) hay diferencia significativa, e influye en los tratamientos, por lo tanto, se acepta la H1 y se rechaza H0. Dado que se evidencia una diferencia significativa en el Factor A (Concentración de NaOH) en el contenido de humedad, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para este factor a continuación se muestra la tabla 8:

Tabla 8: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de Hidróxido de Sodio)

Concentración de NaOH	Medias	n	E. E	Subconjunto
a1	8,8600	8	0,2300	A
a2	9,7100	8	0,2300	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

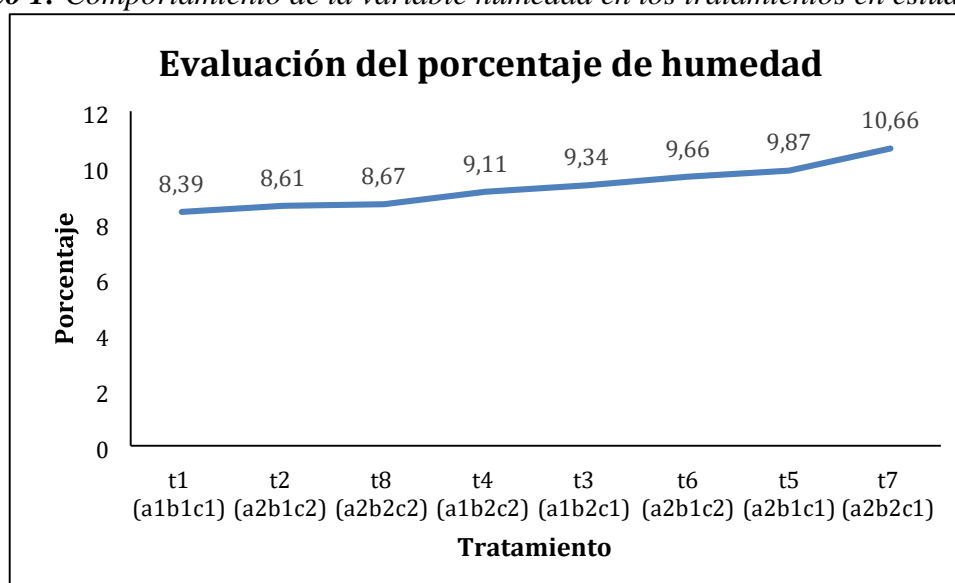
Al analizar los resultados de la prueba de Tukey al 5% para la obtención de colágeno a partir de escamas de tilapia, se identificaron dos subconjuntos (A y B), lo que indica que no pertenecen al mismo grupo homogéneo y, por tanto, existe una diferencia significativa. En particular, el factor a₂ (0.3 M (NaOH)) presentó una media del 9.7100%, siendo el porcentaje más alto observado. Esto sugiere que las formulaciones con dicha concentración influyen significativamente en la humedad del colágeno obtenido.

Por consiguiente, se obtiene como mejor tratamiento considerando el promedio al $t_4 a_1 b_2 c_2$ (0,2 M (NaOH) + 6 horas (TH) + 2 horas (TE)), puesto que alcanza una media de 9,11 %, identificándose en el subconjunto B seguido del $t_1 a_1 b_1 c_1$ (0,2 M (NaOH) + 3 horas (TH) + 1 hora (TE)) con una media de 8,39% lo que indica que la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción si afecta significativamente en la obtención de colágeno a partir de la hidrólisis alcalina de las escamas de la Tilapia. La concentración de NaOH influye directamente en la pureza y rendimiento del colágeno: concentraciones altas pueden degradar el colágeno, mientras que concentraciones bajas pueden resultar ineficaces (Zhang, et al, 2020).

En el presente trabajo, se obtuvo un valor de humedad del 8,39% y 9,11%, aceptables puesto que son valores intermedios y cumple con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 1961 y se encuentran dentro de los límites. De igual forma concuerda y cumplen con los estudios de (Sánchez, 2023) que obtuvo un colágeno a partir de escamas de pichagua por el método de hidrolisis alcalina con una humedad inferior al 10%. El contenido de humedad del colágeno final depende tanto del método de extracción como de la técnica de secado, de esta forma también cumpliendo con lo que establece la (ICMSF, 2022) establece que “el contenido de humedad del colágeno hidrolizado alcalino debe ser inferior al 10%”.

En el Gráfico 1 se observa el comportamiento de la variable humedad en los tratamientos evaluados, destacándose el tratamiento T_4 , que presentó un valor de 9,11%.

Gráfico 1: Comportamiento de la variable humedad en los tratamientos en estudio



Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

2.11.2.2. Evaluación del contenido de proteína

El colágeno es una proteína estructural fibrosa que representa aproximadamente el 30% del total de proteínas en los vertebrados y es el principal componente de tejidos conectivos como piel, huesos, tendones y escamas (Pazmiño, et al. 2025). La proteína específica que se extrae es el colágeno; el cual está compuesto por tres cadenas polipeptídicas (dos cadenas $\alpha 1$ y una cadena $\alpha 2$) que forman una triple hélice característica, rica en aminoácidos como glicina, prolina e hidroxiprolina (Avila, et al. 2024). La importancia de obtener esta proteína radica en sus propiedades funcionales y bioactivas el colágeno tipo I posee una alta capacidad para formar geles, retener agua, y actuar como ingrediente funcional en formulaciones alimentarias, cosméticas y farmacéuticas (Liu, et al. 2023)

A continuación, se presenta los resultados sobre el análisis de varianza del contenido de proteína del colágeno en polvo en la tabla 9:

Tabla 9: Determinación del análisis de varianza de la proteína

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Repeticiones	0,1100	1	0,1100	0,2500	0,6345ns
Concentración de NAOH	0,3500	1	0,3500	0,7600	0,4120ns
Tiempo de Hidrolisis	7,4700	1	7,4700	16,1800	0,0050*
Tiempo de Extracción	6,8300	1	6,8300	14,7900	0,0063*
CHS * TH	0,7800	1	0,7800	1,6900	0,2350ns
CHS * TE	3,4500	1	3,4500	7,4800	0,0291*
TH* TE	5,3900	1	5,3900	11,6900	0,0112*
Error		7	0,4600		1,2800
Total		15			3,2300
CV (%)				CHS * TH* TE	4,5800
	1	1,2800	2,7800	0,1394ns	

SC: suma de cuadrados, gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F: calculado, p-valor: probabilidad, NAOH: Concentración de NAOH, TH: Tiempo de Hidrolisis, TE: Tiempo de Extracción, CV (%): Coeficiente de varianza, F tablas: 4,543, *: significativo; ns: no significativo

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

A partir de los datos obtenidos en el análisis de varianza se observa que para el Factor B (tiempo de hidrolisis) presenta un p-valor de 0,0050 inferior a 0,05; de la misma manera el Factor C (tiempo de extracción) presenta un p-valor de 0,0063 inferior a 0,05; así como también en la interacción de NaOH * TE (concentración de NaOH y tiempo de extracción) presenta un p-valor de 0,0912 inferior a 0,05; también en la interacción entre TH* TE (tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción) presenta un p-valor de 0,0112 inferior a 0,05 lo cual indica que existe diferencia significativa, por lo que se acepta H.1 y se rechaza H.0.

Dado que se evidencia una influencia significativa en el tiempo de hidrólisis, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para identificar los tratamientos específicos que presentan diferencias significativas, como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10: Prueba de Tukey para TH (Tiempo de Hidrólisis)

Tiempo Hidrólisis	Medias	N	E. E	Subconjuntos
b ₁	42,24	8	0,24	A
b ₂	43,60	8	0,24	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de hidrólisis, se observa dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que b₂ (6 horas (TH)) alcanza una media de 43,60.

En la tabla 11 se realiza la prueba de Tukey al 5% dado que se evidencia una influencia significativa en el tiempo de hidrólisis, para identificar los tratamientos específicos que presentan diferencias significativas:

Tabla 11: Prueba de Tukey para TE (Tiempo de Extracción)

Tiempo Extracción	Medias	N	E. E	Subconjuntos
c ₁	42,27	8	0,24	A
c ₂	43,57	8	0,24	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de extracción, se observa dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que c₂ (2 horas (TE)) alcanza una media de 43,57.

En la tabla 12 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre la interacción NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción).

Tabla 12: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de Hidróxido de Sodio * Tiempo de extracción)

Concentración de NaOH	Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
-----------------------	-------------------	--------	---	------	--------------

a ₂	c ₁	41,6600	4	0,3400	A	
a ₁	c ₁	42,8800	4	0,3400	A	B
a ₁	c ₂	43,2600	4	0,3400		B
a ₂	c ₂	43,8900	4	0,3400		B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar la interacción entre NAOH * TE (Concentración de NAOH * Tiempo de Extracción), observándose dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que la interacción a₂ c₂ (0,3 M (NaOH); 2 horas (TE)) alcanza una media de 43,8900.

En la tabla 13 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre la interacción TH * TE (Tiempo de Hidrólisis * Tiempo de Extracción).

Tabla 13: Prueba de Tukey para las interacciones entre TH * TE (Tiempo de Hidrólisis * Tiempo de Extracción).

Tiempo Hidrólisis	Tiempo Extracción	Medias	n	E.E.	Subconjunto
b ₁	c ₁	42,1700	4	0,3400	A
b ₁	c ₂	42,3200	4	0,3400	A
b ₂	c ₁	42,3800	4	0,3400	A
b ₂	c ₂	44,8400	4	0,3400	B

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar la interacción entre TH * TE (Tiempo de Hidrólisis* Tiempo de Extracción), observándose dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que la interacción a₂ c₂ (0,3 M (NaOH); 2 horas (TE)) alcanza una media de 43,8900.

Por consiguiente, se obtiene como mejor tratamiento t₄ a₁b₂c₂ (0,2 M (NaOH) + 6 horas (TH) + 2 horas (TE)), puesto que alcanza una media de 45,03 %, seguido del t₁ a₁b₁c₁ (0,30 M (NaOH) + 6 horas (TH) + 2 horas (TE)) con una media de 44,6500% lo que indica que la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de hidrolisis y tiempo de extracción si afecta significativamente en la obtención de colágeno a partir de la hidrolisis alcalina de las escamas de la Tilapia.

La proteína que se obtiene del colágeno a partir de esta materia prima es el colágeno tipo I, el más abundante y funcionalmente importante en tejidos conectivos de vertebrados, incluidos peces. Esta proteína es responsable de proporcionar resistencia, estructura y elasticidad a tejidos como la piel, huesos, tendones, escamas y cartílagos. El colágeno tipo I está formado por tres cadenas polipeptídicas dispuestas en una triple hélice. Estas cadenas están constituidas principalmente por los aminoácidos glicina (Gly), prolina (Pro) e hidroxiprolina (Hyp). (Avila, et al. 2024)

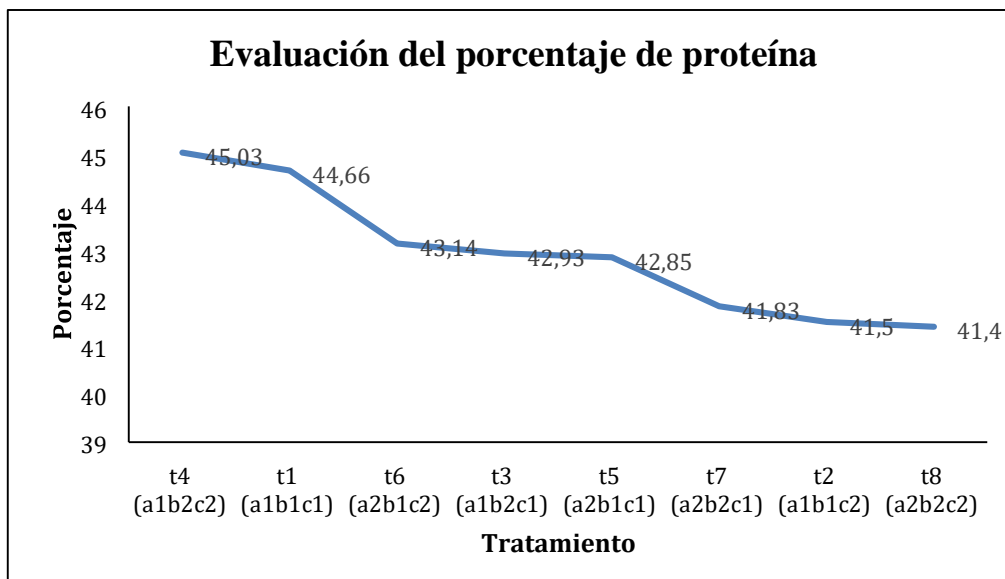
El colágeno tipo I tiene funciones importantes como estructural (soporte mecánico y elasticidad a tejidos), bioactiva (péptidos de colágeno derivados de su hidrólisis han demostrado efectos positivos en la salud de la piel, articulaciones, huesos y sistema inmunológico), tecnológica (en la industria alimentaria se utiliza como emulsionante, gelificante, agente de textura y estabilizante, debido a su capacidad de formar películas y retener agua) (Zhu, et al. 2023).

En la presente investigación, el colágeno extraído de escamas de tilapia mostró un contenido de proteína promedio del 45,03%, lo cual se encuentra dentro de los valores reportados en la literatura para colágeno tipo I de origen marino y piscícola. De acuerdo con la investigación de (Correa, et al. 2015) reportaron que el colágeno tipo I extraído de escamas de pescado puede contener entre un 35% y 55% de proteína, dependiendo del método de extracción y purificación utilizado. Así mismo, (Nalinanon, et al. 2010), al emplear pepsina como agente de hidrólisis, lograron un colágeno con 51,3% de contenido proteico a partir de la piel de peces tropicales. El contenido de proteína es uno de los parámetros fundamentales para evaluar la calidad del colágeno en polvo, ya que determina en gran medida su pureza y funcionalidad. El colágeno, por ser una proteína estructural, debe presentar un contenido proteico elevado, generalmente por encima del 85% en productos comerciales de alta calidad (Silva, et al. 2014).

El contenido proteico de las escamas de tilapia no solo valida su utilización como recurso sustentable para la bioconversión en colágeno, sino que también contribuye a la revalorización de residuos orgánicos de la industria acuícola, en línea con las tendencias de economía circular y bioeconomía en la transformación de subproductos.

En el Gráfico 2 se observa el comportamiento de la variable proteína en los tratamientos evaluados, destacándose el tratamiento t₄, que presentó un valor de 45,03%.

Gráfico 2: *Gráfica del comportamiento de la variable proteína en los tratamientos*



Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

2.11.2.3. Evaluación del contenido de pH

De acuerdo a lo reportado por (Mamani, 2018) en su estudio sostiene que la influencia del pH en el proceso de extracción del colágeno, especialmente en el método de extracción alcalina, es fundamental tanto para la eficiencia del proceso como para la calidad del colágeno obtenido. Puesto que el pH alcalino en el proceso de extracción alcalina es clave para: Eliminar eficientemente proteínas no deseadas, mejorar la pureza y funcionalidad del colágeno, preparar la matriz para una extracción más efectiva (UNACH, 2025).

En la determinación de pH se realiza el análisis de varianza para comprender los cambios que presentan cada uno de los datos obtenidos en la siguiente tabla 14:

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Repeticiones	0,1800	1	0,1800	289,0000	0,0001**
Concentración de NaOH	2,0300	1	2,0300	3249,0000	0,0001**
Tiempo de Hidrolisis	0,5300	1	0,5300	841,0000	0,0001**
Tiempo de Extracción	0,3300	1	0,3300	529,0000	0,0001**
CHS * TH	0,0200	1	0,0200	25,0000	0,0016**
CHS * TE	0,0300	1	0,0300	49,0000	0,0002**

TH* TE	0,0100	1	0,0100	9,0000	0,0199*
--------	--------	---	--------	--------	---------

Tabla 14: Determinación del análisis de varianza del pH

Error	7	0,0000		0,0100
Total	15			4,0300
CV (%)				3,1300
			CHS * TH* TE	3,3400
			1	0,0100
	9,0000	0,0199*		

SC: suma de cuadrados, gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F: calculado, p -valor: probabilidad, NaOH: Concentración de NaOH, TH: Tiempo de Hidrolisis, TE: Tiempo de Extracción, CV (%): Coeficiente de varianza, F tablas: 4,543, **: altamente significativo, *: significativo.

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

A partir de los datos obtenidos en el análisis de varianza se observa que todas las variables e interacciones presentan valores inferiores a 0,05 indicando diferencia significativa, por lo que se acepta H.1 y se rechaza H.0.

Dado que se evidencia una influencia significativa en la Concentración de Hidróxido de Sodio en el contenido de pH, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para identificar los tratamientos específicos que presentan diferencias significativas, como se muestra en la tabla 15:

Tabla 15: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de Hidróxido de Sodio)

Concentración de NaOH	Medias	n	E. E	Subconjunto
a ₁	7,0500	8	0,0090	A
a ₂	7,7630	8	0,0090	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al obtener los resultados de la prueba de Tukey al 5% en la concentración de hidróxido de sodio se observa dos tipos de rangos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que a¹ (0,2 M) alcanza una media de 7,0500 la cual es la que más se acerca a las especificaciones correspondientes.

En la tabla 16 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas en el tiempo de hidrolisis para determinar el mejor tratamiento.

Tabla 16: Prueba de Tukey para TH (Tiempo de Hidrólisis)

Tiempo Hidrólisis	Medias	n	E. E	Subconjunto
b ₁	7,2250	8	0,0090	A
b ₂	7,5880	8	0,0090	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de hidrólisis, se observa dos tipos de rangos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que b₁ (3 horas) alcanza una media de 7,2250.

En la tabla 17 se realiza la prueba de Tukey al 5 % para identificar las diferencias significativas en el Tiempo de Extracción para determinar el mejor tratamiento.

Tabla 17: Prueba de Tukey para TE (Tiempo de Extracción)

Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjunto
c ₂	7,2630	8	0,0090	A
c ₁	7,5500	8	0,0090	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de extracción, se observa dos tipos de rangos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que c₂ (2 horas) alcanza una media de 7,2630.

En la tabla 19 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre las interacciones entre NaOH * TH (Concentración de NaOH * Tiempo de Hidrólisis).

Tabla 18: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TH (Concentración de Hidróxido de NaOH * Tiempo de Hidrólisis)

Concentración de NaOH	Tiempo Hidrólisis	Medias	n	E. E	Subconjunto
a ₁	b ₁	6,9000	4	0,0100	A
a ₁	b ₂	7,2000	4	0,0100	B
a ₂	b ₁	7,5500	4	0,0100	C

a₂ b₂ 7,9700 4 0,0100 D

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % se obtienen los siguientes resultados para la interacción entre NaOH * TH (Concentración de NaOH * Tiempo de Hidrolisis), se observa cuatro tipos de subconjuntos (A, B, C, D) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que a₁ b₁ (0,2 M (NaOH); 3 hora (TH)) alcanza una media de 6,9000.

En la tabla 19 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de Hidróxido de Sodio * Tiempo de Extracción).

Tabla 19: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción)

Concentración de NaOH	Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
a ₁	c ₂	6,9500	4	0,0100	A
a ₁	c ₁	7,1500	4	0,0100	B
a ₂	c ₂	7,5700	4	0,0100	C
a ₂	c ₁	7,9500	4	0,0100	D

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción), se observa cuatro tipos de subconjuntos (A, B, C, D) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que a₁ c₁ (0,2 M (NaOH); 1 hora (TE)) alcanza una media de 7,1500.

En la tabla 20 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre las interacciones entre TH * TE (Tiempo de Hidrolisis * Tiempo de Extracción).

Tabla 20: Prueba de Tukey para las interacciones entre TH * TE (Tiempo de Hidrolisis * Tiempo de Extracción)

Tiempo Hidrolisis	Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
b ₁	c ₂	7,1100	4	0,0100	A
b ₁	c ₁	7,3500	4	0,0100	B
b ₂	c ₂	7,4200	4	0,0100	C
b ₂	c ₁	7,7500	4	0,0100	D

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para las interacciones entre TH * TE (Tiempo de Hidrólisis * Tiempo de Extracción) se observa cuatro tipos de subconjuntos (A, B, C, D) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que $b_2 c_1$ (6 horas (TH); 1 hora (TE)) alcanza una media de 7,7500.

En la tabla 21, se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre la Concentración de NaOH, Tiempo de Hidrólisis y Tiempo de extracción:

Tabla 21: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	Concentración de NaOH	Tiempo Hidrolisis	Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
t6	a ₂	b ₁	c ₂	8,20	2	0,01	A
t4	a ₁	b ₂	c ₂	7,75	2	0,01	B
t7	a ₂	b ₂	c ₁	7,70	2	0,01	B
t1	a ₁	b ₁	c ₁	7,40	2	0,01	C
t8	a ₂	b ₂	c ₂	7,30	2	0,01	C
t5	a ₂	b ₁	c ₁	7,10	2	0,01	D
t3	a ₁	b ₂	c ₁	7,00	2	0,01	D
t2	a ₁	b ₁	c ₂	6,80	2	0,01	E

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al obtener los resultados de la prueba de Tukey al 5% en la interacción de los tratamientos se observa cinco tipos de subconjuntos (A, B, C, D, E) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, donde se obtiene como mejor tratamiento al $t_4 a_1 b_2 c_2$ (0,2 M (NaOH) + 6 horas (TH) + 2 horas (TE)) con una media de 7,75, seguido del $t_1 a_1 b_1 c_1$ (0,2 M (NaOH) + 3 horas (TH) + 1 hora (TE)), puesto que alcanza una media de 7,40, lo que indica que la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción si afecta significativamente en la obtención de colágeno a partir de la hidrolisis alcalina de las escamas de la Tilapia.

Los colágenos I y II las moléculas de colágeno se juntan a través de puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes para formar las fibrillas. En los colágenos tipo I y III las fibrillas se asocian para formas fibras, la formación de fibras ocurre en pH 7.0 cuando ocurre la máxima interacción electrostática entre las moléculas de colágeno haciendo que las cargas resultantes en la molécula sean cero (colágeno nativo). (Huamán, 2018).

El control del pH durante la hidrólisis del colágeno es fundamental porque determina la eficiencia del proceso y la calidad del producto final. Como demostró (Villacís, 2021), un pH alcalino (7-8,5) favorece la ruptura controlada de las cadenas proteicas, generando

péptidos de bajo peso molecular con mayor biodisponibilidad y actividad biológica. (Mendoza, 2019) evidenció que desviaciones en el pH afectan la funcionalidad tecnológica del hidrolizado, particularmente su capacidad emulsificante y solubilidad. Además, (Pazmiño, 2020) comprobó que el ajuste preciso del pH post-hidrólisis es crucial para garantizar la estabilidad del producto. El pH no solo influye en las características fisicoquímicas del colágeno hidrolizado, sino también en su rendimiento industrial y beneficios para la salud.

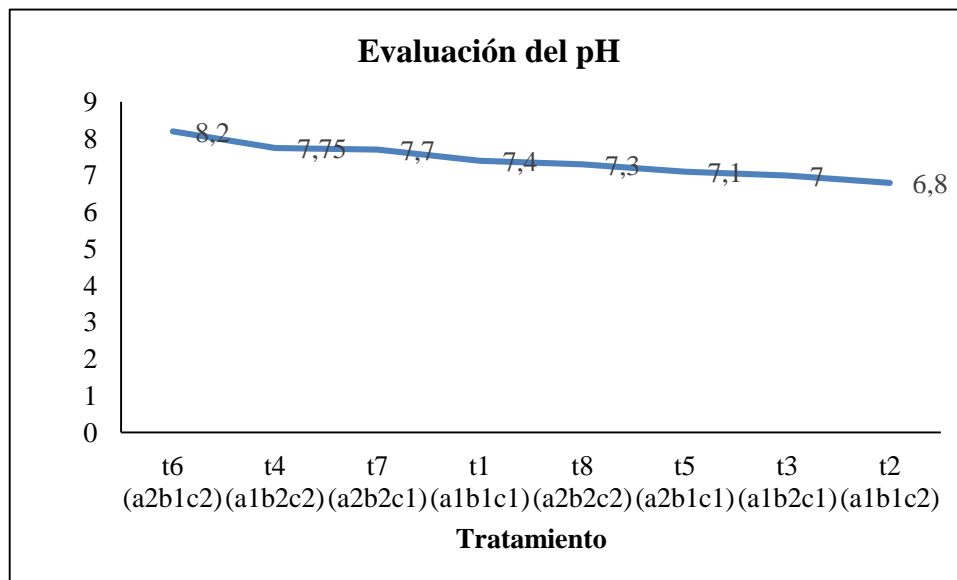
El control del pH durante la hidrólisis alcalina del colágeno es un factor determinante para obtener un producto de alta calidad. Cuando se utiliza una solución de NaOH 0.2 M, el rango de pH óptimo se encuentra entre 7 y 9, este rango específico, según lo reportado por (Villacís, 2021), permite una hidrólisis controlada que genera péptidos de bajo peso molecular. Mantener el pH en este intervalo evita tanto una hidrólisis incompleta como la degradación excesiva de aminoácidos esenciales. En cambio, para procesos que emplean una solución más concentrada de NaOH 0.3 M, el pH óptimo debe estar entre 10.0 y 11.0, (Mendoza, 2019) demostró que este rango asegura una hidrólisis eficiente. Sin embargo, es crucial no superar un pH de 11.5, ya que esto provocaría una sobre hidrólisis, generando péptidos demasiados pequeños con menor actividad funcional y sabores amargos indeseables.

Desde el punto de vista normativo, aunque no existe una regulación única y global que especifique el pH ideal para el colágeno en polvo, algunos estándares orientativos pueden encontrarse en normativas como la FAO y Codex Alimentarius sugiere que deben tener un pH próximo a la neutralidad (entre 5.0 y 8.0) para evitar reacciones de oxidación o descomposición microbiana. En el caso de gelatinas alimentarias, el Codex STAN 1921995 menciona un rango de pH aceptable entre 4.5 y 8.0. Por lo tanto, el colágeno obtenido en este estudio cumple con los criterios funcionales y de seguridad química para su uso potencial.

El colágeno en polvo obtenido en esta investigación, con un pH promedio de 6,8 a 8,20 se encuentra dentro del rango funcionalmente aceptado para productos derivados de colágeno y cumple con los estándares internacionales de inocuidad y estabilidad. Este valor es adecuado para aplicaciones alimenticias, demuestra que el proceso de extracción utilizado fue eficaz en mantener la calidad fisicoquímica del producto final.

En el Gráfico 3 se observa el comportamiento de la variable pH en los tratamientos evaluados, destacándose el tratamiento t₄, que presentó un valor de 7,75.

Gráfico 3: Comportamiento de variable pH en los tratamientos



Fuente: (Guanquiza & Orozco., 2025)

2.11.2.4. Evaluación del contenido de solubilidad

La solubilidad del colágeno es una propiedad crítica que determina su uso y funcionalidad en diferentes productos. Está influenciada directamente por el pH del medio, ya que el comportamiento de las proteínas frente a la carga eléctrica depende del equilibrio ácido-base (Regenstein, et al. 2023). Comprender esta relación permite optimizar procesos de extracción y formulación, asegurando un colágeno de alta calidad, estable y con alto valor comercial o nutricional.

En la determinación de solubilidad se realiza un análisis de varianza para comprender los cambios que presentan cada uno de los datos obtenidos en la siguiente tabla 22.

Tabla 22: Determinación del análisis de varianza de solubilidad

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Repeticiones	2,7400	1	2,7400	0,9600	0,3605ns
Concentración de NaOH	16,2000	1	16,2000	5,6600	0,0489*
Tiempo de Hidrolisis	0,3300	1	0,3300	0,1200	0,7439ns
Tiempo de Extracción	4,9500	1	4,9500	1,7300	0, 2298ns
CHS * TH	0,4800	1	0,4800	0,1700	0,6935ns
CHS * TE	19,5800	1	19,5800	6,8400	0,0346*
TH* TE	1,1100	1	1,1100	0,3900	0,5526ns
CHS * TH* TE		1	4,1000	1,4300	0,2702ns

Error	4,1000 20,0300	7	2,8600	-	-
Total	69,5200	15	-	-	-
CV (%)	5,9400	-	-	-	-

SC: suma de cuadrados, gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F: calculado, p-valor: probabilidad, NaOH: Concentración de NaOH, TH: Tiempo de Hidrolisis, TE: Tiempo de Extracción, CV (%): Coeficiente de varianza, F tablas: 4,543; *: significativo; ns: no significativo

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

A partir de los datos obtenidos en el análisis de varianza se observa que el Factor A (concentración de NaOH) presenta un p-valor de 0,0489 inferior a 0,05; así como también en la interacción NaOH * TE (concentración de NaOH y tiempo de extracción) presenta un p-valor de 0,0346 inferior a 0,05 lo cual indica que existe diferencia significativa, por lo que se acepta H.1 y se rechaza H.0.

Dado que se evidencia una influencia significativa en la concentración de hidróxido de sodio, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para identificar los tratamientos específicos que presentan diferencias significativas, como se muestra en la tabla 23:

Tabla 23: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de NaOH)

Concentración de NaOH	Medias	n	E. E	Subconjuntos
a ₁	86,2100	8	0,5900	A
a ₂	88,2300	8	0,5900	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de hidrólisis, se observa dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que a₂ (6 horas (NaOH)) alcanza una media de 88,2300.

En la tabla 24 se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre la interacción NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción) para determinar el mejor tratamiento

Tabla 24: Prueba de Tukey para las interacciones entre NaOH * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción)

Concentración de NaOH	Tiempo de Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
a ₁	c ₁	85,6600	4	0,8400	A
a ₂	c ₂	86,5600	4	0,8400	A B
a ₁	c ₂	86,7600	4	0,8400	A B
a ₂	c ₁	89,8500	4	0,8400	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar la CHS * TE (Concentración de NaOH * Tiempo de Extracción), se observa dos tipos de rangos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que $a_2 c_1$ (0,2 M (NaOH); 1 horas (TE)) alcanza una media de 89,8500.

Por consiguiente, se obtiene como mejor tratamiento $t_4 a_1 b_2 c_2$ (0,2 M (NaOH) + 6 horas (TH) + 2 horas (TE)), puesto que alcanza una media de 89,96%, seguido del $t_1 a_1 b_1 c_1$ (0,2 M (NaOH) + 3 horas (TH) + 1 hora (TE)) con una media de 87,56% lo que indica que la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción si afecta significativamente en la obtención de colágeno a partir de la hidrólisis alcalina de las escamas de la Tilapia.

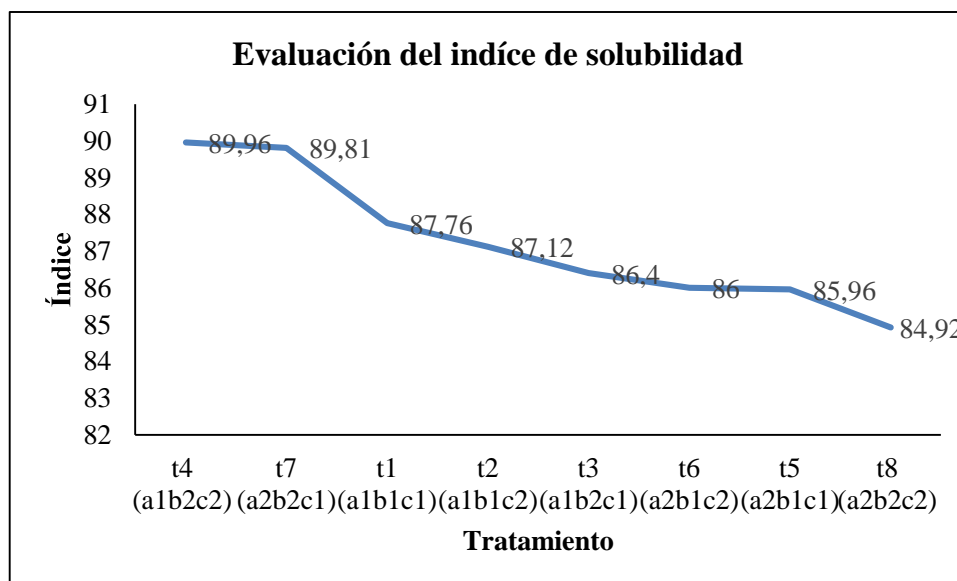
La solubilidad es un parámetro clave en la caracterización del colágeno en polvo, ya que determina su capacidad de dispersión en medios acuosos y, por ende, su eficacia en formulaciones alimentarias y farmacéuticas. En este estudio, el colágeno extraído de escamas de tilapia presentó una solubilidad promedio del 85- 90%. Según (Karim, et al. 2019), la solubilidad de colágeno hidrolizado de peces oscila típicamente entre el 85% y el 98%, dependiendo de factores como el grado de hidrólisis, el peso molecular promedio de los péptidos y la presencia de impurezas.

Algunos estándares orientativos pueden encontrarse en normativas como la FAO y Codex Alimentarius, que sugiere que deben tener 85-90% para el colágeno extraído de escamas de tilapia mediante hidrólisis alcalina. El mínimo requerido de solubilidad para proteínas hidrolizadas de uso alimentario es del 85%. Por lo tanto, el colágeno obtenido en este estudio cumple con los criterios funcionales y de seguridad química para su uso (Escobar, et al. 2017).

El colágeno en polvo obtenido en esta investigación, la solubilidad tiene un promedio de 85-90% lo que lo posiciona como un producto de alta calidad, se encuentra dentro del rango funcionalmente aceptado para productos derivados de colágeno convencionales, como el bovino o porcino. Y cumple con los estándares internacionales de inocuidad y estabilidad.

En el Gráfico 4 se observa el comportamiento de la variable Solubilidad en los tratamientos evaluados, destacándose el tratamiento t_4 , que presentó un valor de 89,96%.

Gráfico 4: *Comportamiento de la variable solubilidad en los tratamientos*



Fuente: (Guanquiza & Orozco., 2025)

2.11.2.5. Evaluación del rendimiento en la obtención del colágeno en polvo de escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*)

El rendimiento de extracción es un parámetro clave para evaluar la eficiencia del proceso de obtención de colágeno, ya que determina la cantidad de producto recuperado en relación con la materia prima utilizada (ESPOL, 2024). En el caso de las escamas de tilapia, el rendimiento puede verse influenciado por diversos factores como la composición de la materia prima, el tipo y concentración de soluciones químicas utilizadas, el tiempo de extracción, y las condiciones de secado (Mamani, 2018).

Es importante destacar que, si bien un mayor rendimiento es deseable desde el punto de vista económico, este no debe comprometer la calidad estructural del colágeno. El equilibrio entre rendimiento y propiedades funcionales (como solubilidad, pureza y contenido proteico) debe ser cuidadosamente evaluado para definir un proceso industrial viable (Giraldo, 2019).

En la determinación del rendimiento se realiza un análisis de varianza para comprender los cambios que presentan cada uno de los datos obtenidos en la siguiente tabla 25:

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p-valor
Repeticiones	0,0100	1	0,0100	0,0500	0,8307ns
Concentración de NaOH	23,0200	1	23,0200	132,5400	0,0001**
Tiempo de Hidrolisis	8,9900	1	8,9900	51,7400	0,0002**
Tiempo de Extracción	6,5200	1	6,5200	37,5200	0,0005**

CHS * TH	0,1800	1	0,1800	1,0300	0,3444ns
CHS * TE	0,8600	1	0,8600	4,9500	0,0614ns
TH* TE	0,9000	1	0,9000	5,1700	0,0572ns

Tabla 25: Determinación del análisis de varianza de rendimiento

	2,1500	
Error	1,2200	
Total	43,8300	15
CV (%)	4,8300	
CHS * TH* TE	1 2,1500 12,4000	0,0097 ** 7 0,1700

SC: suma de cuadrados, gl: grados de libertad, CM: cuadrados medios, F: calculado, p -valor: probabilidad, NaOH: Concentración de NaOH, TH: Tiempo de Hidrólisis, TE: Tiempo de Extracción, CV (%): Coeficiente de varianza, F tablas: 4,543, **: altamente significativo, ns: no significativo

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

A partir de los datos obtenidos en el análisis de varianza se observa que en NaOH (concentración de NaOH) presenta un p-valor de 0,0001, en el tiempo de hidrólisis se presenta un p-valor de 0,0002, en el tiempo de extracción se presente un p-valor de 0,0005, de la misma manera en la interacción NaOH*TH*TE (concentración de NaOH * tiempo de hidrólisis * tiempo de extracción) presenta un p-valor de 0,0097 todos estos valores son inferiores a 0,05 indicando diferencia significativa por lo que se acepta H.1 y se rechaza H.0.

Dado que se evidencia una influencia significativa en NaOH en el contenido, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para identificar los tratamientos específicos que presentan diferencias significativas, como se muestra en la tabla 26:

Tabla 26: Prueba de Tukey para NaOH (Concentración de Hidróxido de Sodio)

Concentración de NaOH	Medias	n	E. E	Subconjuntos
a ₁	3,5200	8	0,1400	A
a ₂	5,9200	8	0,1400	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al obtener los resultados de la prueba de Tukey al 5% en la concentración de hidróxido de sodio se observa dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencias significativas, se obtiene que a₂ (NaOH) alcanza una media de 5,9200.

En la tabla 27, se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas en el tiempo de hidrólisis.

Tabla 27: Prueba de Tukey para TH (Tiempo de Hidrólisis)

Tiempo Hidrólisis	Medias	N	E. E	Subconjuntos
b ₂	3,9700	8	0,1400	A
b ₁	5,4700	8	0,1400	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de hidrólisis, se observa dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencias significativas, se obtiene que b₁ (3 horas (TH)) alcanza una media de 5,4700.

En la tabla 28, se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas en el Tiempo de Extracción.

Tabla 28: Prueba de Tukey para TE (Tiempo de Extracción)

Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
c ₁	4,0800	8	0,1400	A
c ₂	5,3500	8	0,1400	B

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al realizar la prueba de Tukey al 5% se obtienen los siguientes resultados para determinar el tiempo de extracción, se observa dos tipos de subconjuntos (A, B) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que existe diferencia significativa, se obtiene que c₂ (2 horas (TE)) alcanza una media de 5,3500.

En la tabla 29, se realiza la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 29: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	Concentración de NaOH	Tiempo Hidrólisis	Tiempo Extracción	Medias	n	E. E	Subconjuntos
t ₄	a ₁	b ₂	c ₂	7,52	2	0,29	A
t ₁	a ₁	b ₁	c ₁	6,07	2	0,29	B
t ₈	a ₂	b ₂	c ₂	6,04	2	0,29	B
t ₂	a ₁	b ₁	c ₂	5,18	2	0,29	C
t ₇	a ₂	b ₂	c ₁	4,06	2	0,29	D
t ₅	a ₂	b ₁	c ₁	3,15	2	0,29	E

t ₃	a ₁	b ₂	c ₁	3,07	2 0, 29	E
t ₆	a ₂	b ₁	c ₂	2,68	2 0, 29	F

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Al obtener los resultados de la prueba de Tukey al 5% en la interacción de los tratamientos se observa seis tipos de subconjuntos (A, B, C, D, E, F) indicando que no pertenecen al mismo grupo homogéneo por lo que sí existe diferencia significativa, donde se obtiene como mejor tratamiento t₄ a₁b₂c₂(0,2 M (NaOH) + 6 horas (TH) +2 horas (TE)), puesto que alcanza una media de 7,52%, seguido del t₁ a₁b₁c₁ (0,2 M (NaOH) + 3 horas (TH) + 1 hora (TE)) con una media de 6,07% lo que indica que la concentración de hidróxido de sodio, el tiempo de hidrólisis y tiempo de extracción si afecta significativamente en la obtención de colágeno a partir de la hidrólisis alcalina de las escamas de la Tilapia.

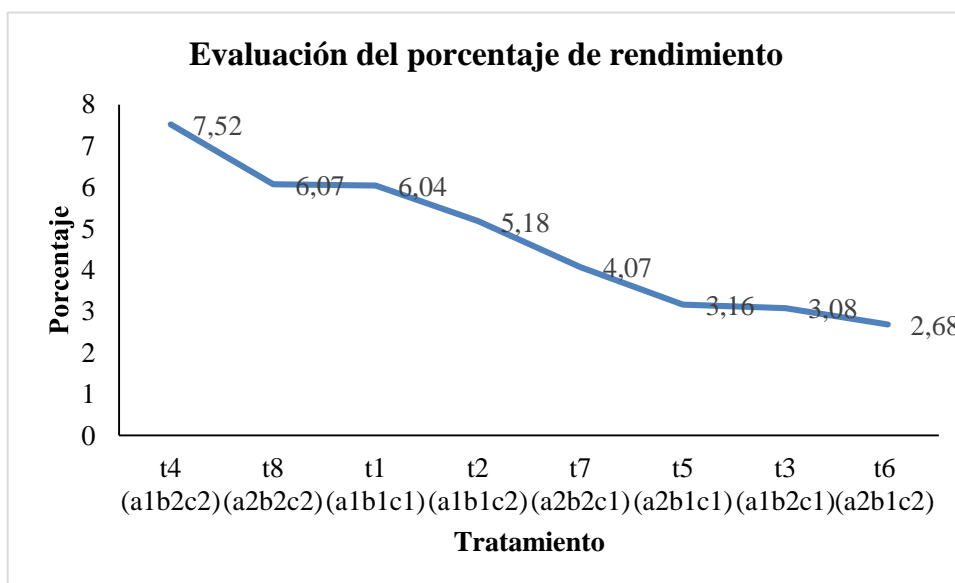
El rendimiento de extracción del colágeno es uno de los parámetros más importantes para evaluar la eficiencia del proceso y la viabilidad económica de su producción a escala industrial. En esta investigación, se obtuvo un rendimiento promedio del 6,5 – 8,5% en base al peso seco de las escamas de tilapia tratadas, este valor se encuentra dentro del rango reportado en la literatura científica para colágeno tipo I extraído de subproductos de pescado mediante métodos ácidos. Por ejemplo, (Jiménez, 2015) reportaron un rendimiento del 5.5% al 8.0% al extraer colágeno de escamas de tilapia mediante hidrólisis con ácido acético. Del mismo modo, (Escobar, et al. 2015) indican que el rendimiento del colágeno obtenido a partir de escamas de especies de agua dulce suele oscilar entre 5% y 9%, dependiendo del tratamiento previo, el pH, la temperatura y el tiempo de extracción. En cuanto a normativas oficiales, no existe un estándar internacional que establezca un rendimiento mínimo obligatorio para el colágeno extraído, dado que los valores varían significativamente según la materia prima utilizada (piel, escamas, huesos) y el método aplicado. No obstante, documentos como la ISO 17205:2015 sobre análisis de productos derivados de pescado sugieren que los procesos deben maximizar la recuperación de proteínas útiles, siendo rendimientos superiores al 6% considerados técnicamente aceptables en sistemas de aprovechamiento de subproductos. La variabilidad en el rendimiento puede deberse a: Contenido inicial de colágeno en la escama, que depende de la especie, edad y tamaño del pez (Silva, et al. 2014). Eficiencia de la desmineralización, ya que un pretratamiento inadecuado puede limitar la liberación del colágeno contenido en la matriz ósea. Condiciones de hidrólisis (pH, tiempo, temperatura), las cuales si no son óptimas reducen la ruptura de enlaces

peptídicos y la solubilización del colágeno. Pérdidas durante la purificación y el secado, especialmente si no se usan técnicas de concentración o filtración adecuadas.

En el presente estudio, el rendimiento obtenido se encuentra dentro del rango esperado según investigaciones recientes, lo cual indica que tanto el método de extracción como las condiciones de tratamiento han sido técnicamente adecuados.

En el Gráfico 5 se observa el comportamiento de la variable rendimiento en los tratamientos evaluados, destacándose el tratamiento t_4 , que presentó un valor de 7,52%.

Gráfico 5: Comportamiento de la variable rendimiento en los tratamientos



Fuente: (Guanquiza & Orozco., 2025)

2.11.2.6. Selección del mejor tratamiento en base a las propiedades fisicoquímicas del colágeno en polvo.

El tratamiento 4 (t_4), consiste en una concentración de hidróxido de sodio (NaOH) de 0,2 M, un tiempo de hidrólisis de 6 horas y un tiempo de extracción de 2 horas, fue seleccionado como el mejor tratamiento en función de las propiedades físico-químicas del colágeno en polvo.

En la tabla 30, se presentan los valores promedio obtenidos a partir de los ocho tratamientos aplicados para la obtención de colágeno en polvo.

Tabla 30: Valores de las medias del mejor tratamiento (t_4)

Tratamientos	Valores				
	Humedad %	Proteína %	pH	Solubilidad %	Rendimiento %
t ₁	8,39	44,65	7,40	87,56	6,03
t ₂	8,61	41,49	6,80	87,12	5,17
t ₃	9,34	42,92	7,00	86,40	3,07
t₄	9,11	45,03	7,75	89,96	7,52
t ₅	9,87	42,84	7,10	85,96	3,15
t ₆	9,66	43,13	8,20	86,00	7,51
t ₇	10,66	41,82	7,70	89,81	4,06
t ₈	8,67	41,49	7,30	84,92	6,06

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

-Porcentaje de humedad: El tratamiento 4 (t_4) presento un valor de 9,11%, este valor es aceptable porque cumple con el parámetro establecido por la norma NTE INEN 1961. Además, cumple con lo estipulado por el ICMSF, que indica que el colágeno debe presentar un contenido de humedad inferior al 10%; contenidos bajos puede comprometer su integridad estructural y propiedades funcionales.

-Porcentaje de proteína: El tratamiento 4 (t_4) presentó un contenido proteico del 45,03%, valor aceptable y acorde con lo reportado en colágenos tipo I obtenidos de pescado, los cuales generalmente contienen entre 35% y 55% de proteína (Liu et al., 2015). Dado que el colágeno es una proteína estructural esencial, un alto porcentaje es crucial para proporcionar resistencia, estructura y elasticidad a los tejidos. Estos atributos son esenciales para las propiedades funcionales del colágeno en el consumidor y determinan la calidad final del producto.

-pH: El tratamiento 4 (t_4) presentó un valor de pH de 7,75, el cual se considera aceptable dado que no existe una regulación única que establezca un pH ideal para colágenos en polvo. No obstante, normativas internacionales como las de la FAO y el CODEX Alimentarius sugieren un rango entre 5.0 y 8.0. Durante la hidrólisis alcalina, el pH óptimo oscila entre 7 y 8, y para concentraciones de hidróxido de sodio (NaOH) al 0,2 M, se ha reportado un rango de 7 a 9. Por tanto, el valor obtenido es intermedio y adecuado, ya que un pH bajo podría indicar una hidrólisis ácida, mientras que un pH alto podría causar alteraciones morfológicas y estructurales en el colágeno (UNACH, 2025).

-Índice de solubilidad: El tratamiento 4 (t_4) presentó un valor de solubilidad del 89,96%, el cual se encuentra dentro del rango sugerido por normas internacionales como la FAO

y el Codex Alimentarius, que establecieron valores entre 85% y 90%. Asimismo, estudios previos han reportado que la solubilidad del colágeno hidrolizado proveniente de peces oscila entre 85% y 98% (Karim et al., 2019). Una alta solubilidad es fundamental, ya que mejora la capacidad de dispersión del colágeno en medios acuosos, lo que a su vez potencia su funcionalidad y facilita su incorporación en formulaciones alimentarias y cosméticas.

-Rendimiento: En el tratamiento 4 (t₄) se obtuvo un rendimiento del 7,52%. Aunque no existe un estándar internacional que establezca un rendimiento mínimo para el colágeno extraído, normas como la ISO 17205:2015, que regula productos derivados de pescado, indican que los procesos deben alcanzar una recuperación superior al 6%. Además, el rendimiento depende de factores como la especie de pez, el método de hidrólisis y las condiciones específicas del proceso, tales como pH, tiempo y temperatura. Un rendimiento elevado es deseable para optimizar la cantidad de producto recuperado en relación con la materia prima empleada (Espol, 2024).

El tratamiento 4 (t₄) cumple con estándares internacionales respecto a propiedades esenciales del colágeno, tales como humedad, contenido proteico, pH, solubilidad y rendimiento. Estos parámetros, regulados por normativas como la NTE INEN, el ICMSF, la FAO, el Codex Alimentarius y la ISO 17205, son fundamentales para garantizar la calidad, funcionalidad y seguridad del producto, lo que permite su aplicación en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica.

2.11.3. Análisis microbiológico del mejor tratamiento de la obtención del colágeno en polvo.

Los resultados de los análisis microbiológicos obtenidos para el colágeno derivado de escamas de tilapia indican que el producto cumple con los estándares de calidad e inocuidad alimentaria. A continuación, en la tabla 31 se muestran los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos.

Tabla 31: Análisis microbiológico realizado al mejor tratamiento

PARAMETRO	RESULTADOS	VLP*
<i>Aerobios Mesófilos</i> , UFC/g	76	< 10 ³
<i>Coliformes Totales</i> , UFC/g	104	<10 ⁵
<i>Enterobacteriáceas</i> , UFC/g	Ausencia	<10 ²
<i>Salmonella</i>	Ausencia	Ausencia

<i>Mohos y levaduras</i> , UFC/g	Ausencia	<10000
----------------------------------	----------	--------

VLP: Valor límite permitido

Fuente: *Servicios de Transferencia y Laboratorio Agropecuario (SETLAB, 2025)*

Según los datos del resultado del análisis microbiológico realizado al mejor tratamiento recaído en el tratamiento t₄ (a₁b₂c₂) basado en los parámetros clave de la inocuidad y calidad sanitaria del producto, realizado en los laboratorios de servicios de transferencia y laboratorio Agropecuario (SETLAB), para prolongar la vida útil de dicho tratamiento, los resultados obtenidos acatan los criterios microbiológicos especificados por AOAC, NTE INEN y FDA, quienes reportan que, para que los alimentos no ocasionen problemas de salud e inocuidad al consumidor final.

El recuento de Aerobios Mesófilos, en el caso de productos de origen acuícola deben tener entre < 10³ UFC/g, estos valores se encuentran dentro del rango establecido. Se puede sustentar que el proceso de secado, la higiene en la manipulación y las condiciones de almacenamiento fueron adecuados.

Seguido por el recuento de Coliformes Totales especificados por (FDA, 2021) quien afirma que el rango mínimo para ingredientes proteicos deshidratados es <10³ UFC/g son ideales, pero hasta 10⁵ UFC/g pueden considerarse seguros si no hay patógenos, los recuentos realizados indican baja presencia, por debajo del límite de 10⁵ UFC/g, por lo tanto, refleja una buena calidad higiénica del procesamiento. Esto es clave, ya que los coliformes pueden actuar como indicadores de contaminación ambiental.

Posterior en el recuento de Enterobacterias UFC/g especificado por (NTE INEN 1529-13 y NTE INEN 1529), quienes establecen que el rango máximo tiene que ser < 10², es decir estos análisis realizados cumplen con los criterios establecidos por su ausencia y también acatando lo que establece (Olivera, 2020) que manifiesta que la ausencia de este patógeno indica inocuidad del producto final, lo que lo hace apto para uso en alimentos funcionales, suplementos nutricionales o productos cosméticos.

En el caso del recuento de Salmonella en 25g especificados por (NTE INEN 1529-13 y NTE INEN 1529) y el Reglamento (CE) N° 2073/2005 de la UE exigen ausencia de Salmonella en productos destinados al consumo humano, es decir los resultados obtenidos en el análisis cumplen lo establecidos por dichas normas.

Finalmente en el recuento de mohos y levaduras cumple con límites normativos establecidos por las normas citadas ya que establecen para este recuento ausencia y cumple con lo establecido por (Silva, 2019), puesto que manifiesta que para productos secos como el colágeno en polvo debe existir ausencia total de mohos y levaduras, ya que previene alteraciones organolépticas y deterioro microbiológico durante el almacenamiento prolongado, sugiriendo un buen control de humedad y almacenamiento, ya que estos microorganismos proliferan en condiciones de alta actividad de agua.

Los resultados demuestran que el colágeno de escamas de tilapia cumple con los requisitos microbiológicos de normas nacionales (INEN) e internacionales (AOAC, FDA, UE). La baja carga microbiana y la ausencia de patógenos respaldan su seguridad para uso alimentario o cosmético. Se recomienda mantener las BPM para asegurar la consistencia de la calidad

2.11.4. Análisis del perfil de aminoácidos realizado al mejor tratamiento

Una vez establecido al tratamiento cuatro (t_4) como mejor tratamiento, se procedió a realizar el análisis del perfil de aminoácidos, puesto que el colágeno en polvo derivado de escamas de tilapia presenta un perfil aminoacídico estrechamente relacionados con su estructura, funcionalidad y aplicaciones.

El análisis de estos aminoácidos es clave para determinar la calidad nutricional y tecnológica del colágeno, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 32: Análisis del perfil de aminoácidos realizado al mejor tratamiento.

PARAMETRO	RESULTADOS	VLP*
Glicina, mg/g	21,5	>18,0
Prolina, mg/g	11,8	>9,5
Ácido Glutámico, mg/g	8,4	>7,0
Alanina, mg/g	9,2	>8,0

VLP: Valor Límite Permitido

Fuente: Servicios de Transferencia y Laboratorio Agropecuario (SETLAB, 2025)

En cuanto al contenido del aminoácido de la Glicina reporto un 21,5 mg/g lo cual equivale aproximadamente al 2,15% del peso total, un valor significativamente inferior al rango esperado para colágenos de alta pureza. Sin embargo, cumple con lo que establece

(Zhang, 2022) reportaron un contenido de 20,5 mg/g de glicina en colágeno de pescado, lo que representa aproximadamente el 2,05% del total, alineado con los valores típicos del colágeno tipo I; este aminoácido es considerado fundamental debido a que es el más abundante dentro de la composición del colágeno, fundamental para la estructura en triple hélice de esta proteína fibrilar. Este patrón permite el empaquetamiento compacto de las cadenas polipeptídicas, confiriendo estabilidad estructural y propiedades funcionales al colágeno tipo I, comúnmente presente en tejidos conectivos de peces (Pal, et al. 2022).

En cuanto al contenido de Prolina arrojo un 11,8 mg/g, , equivalente al 1,18% del peso total del colágeno en polvo, cumpliendo con los estándares de calidad y estudios realizados de acuerdo con (Silva, et al. 2023) en su investigación reporto un contenido de prolina para un colágeno de tilapia de 13,6 mg/g equivalente a 1,36% del peso total en polvo, deduciendo que es uno de los principales aminoácidos del colágeno, esencial para la estabilidad térmica y la rigidez estructural de su característica triple hélice. Junto con la glicina e hidroxiprolina, constituye más del 50 % de la composición total de aminoácidos en el colágeno tipo I, predominante en tejidos conectivos, incluidas las escamas de peces (Piguave, 2021).

En cuanto al contenido del aminoácido Acido glutámico reporto un 8,4 mg/g, equivalente al 0,84% del peso total del colágeno en polvo cumpliendo con estándares de calidad y estudios realizados. De acuerdo con (Mendoza, 2022) el ácido glutámico es un aminoácido no esencial con múltiples funciones biológicas. En el contexto del colágeno, aunque no forma parte de la estructura principal (como la glicina, prolina o hidroxiprolina), está presente en cantidades moderadas y contribuye a la solubilidad, estabilidad y propiedades funcionales del producto, especialmente en formulaciones hidrolizadas o solubles en agua, en su investigación reporto un 1% equivalente a 10 mg/g en un colágeno hidrolizado alcalino de peces (Zambrano, et al. 2025).

En cuanto al contenido de aminoácido Alanina reporto un 9,2 mg/g estando dentro de lo que reporto (Suárez, et al. 2023) que un colágeno marino de acuerdo al proceso de extracción hidrolizado alcalino o enzimático debe alcanzar un contenido por lo menos de un 10,8 mg/g equivalente al 0,10% del peso total del colágeno, consideran a este tipo de aminoácido no esencial puesto que constituye una parte significativa de la estructura primaria del colágeno, particularmente en el colágeno tipo I, el más abundante en tejidos conectivos. Su presencia contribuye a la estabilidad térmica de la triple hélice del

colágeno y al mantenimiento de su estructura secundaria. Aunque no es el aminoácido más abundante (como la glicina o la prolina), ocupa generalmente el 8–11% del total de aminoácidos en el colágeno marino (Zamora, et al. 2025).

El colágeno hidrolizado, especialmente aquel obtenido mediante extracción alcalina, es valorado por sus propiedades nutricionales y funcionales, las cuales dependen en gran medida de su perfil de aminoácidos. El proceso alcalino permite romper los enlaces peptídicos del colágeno nativo, liberando fragmentos de menor peso molecular (péptidos) y facilitando la disponibilidad de aminoácidos bioactivos como glicina, prolina, hidroxiprolina, alanina y ácido glutámico (Sánchez, et al. 2023).

De acuerdo con (Paredes, et al. 2022) el contenido de aminoácidos es fundamental para evaluar la calidad, funcionalidad y valor nutricional del colágeno hidrolizado alcalino. La preservación de aminoácidos clave, como glicina, prolina y alanina, resulta esencial para garantizar sus propiedades bioactivas y tecno funcionales. Por tanto, control del perfil aminoacídico permite optimizar el proceso de extracción y asegurar la eficacia del producto final para diferentes aplicaciones.

3. IMPACTOS DEL PROYECTO

3.1. Impacto técnico

Este proyecto es importante, ya que convierte un residuo de la industria pesquera (escamas de tilapia), en una materia prima de alto valor agregado para así obtener colágeno hidrolizado en polvo. De igual manera contribuirá a incentivar la implementación de métodos de extracción alcalina controlada, tales como la hidrólisis alcalina, promoviendo la evolución en tecnologías de obtención de biocompuestos. Finalmente, ayudaría en transferencia tecnológica, dado que este estudio es replicable a nivel de una planta procesadora de pescado, generando valor agregado mediante estas técnicas sencillas y adaptables.

3.2. Impacto ambiental

Este proyecto es una gran oportunidad para disminuir el impacto ambiental causado por el desecho de escamas de pescado, que a menudo se tiran o se utilizan para fines de poco

valor. Al aprovechar este subproducto como fuente de colágeno, no solo ayudamos a reducir la contaminación de suelos y cuerpos de agua, sino que también ofrecemos una alternativa sostenible frente al uso de materias primas convencionales. Usar colágeno de origen marino en lugar del bovino o porcino contribuye a mitigar los efectos negativos de la ganadería intensiva, como las emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo así una producción más responsable y amigable con el medio ambiente.

3.3. Impacto económico

Este proyecto podría contribuir a la creación de productos con un alto valor comercial. El colágeno en polvo puede alcanzar precios bastante altos en los mercados internacionales, dependiendo de su pureza y funcionalidad, lo que representa una gran oportunidad económica para las empresas del sector acuícola. Además, también ayudaría a diversificar la industria pesquera, ofreciendo una alternativa de ingresos adicionales para las empresas que procesan tilapia.

3.4. Impacto social

El desarrollo de este proyecto tiene el potencial de crear tanto empleos directos como indirectos en áreas como el procesamiento, el control de calidad, el empaquetado y la distribución. Además, ofrecería beneficios nutricionales a través de este producto, ya que contribuiría a la disponibilidad de suplementos proteicos que pueden mejorar la salud de las articulaciones, la piel y los huesos de la población. También fomentaría la educación y la innovación al involucrar a estudiantes, investigadores y técnicos en actividades de investigación aplicada y en el campo de la biotecnología

4. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

La Tabla 33 presenta un análisis detallado de los recursos empleados en la adquisición de la materia prima destinada a la obtención de colágeno a partir de escamas de tilapia. Este estudio financiero resulta fundamental para evaluar los costos iniciales asociados al proceso productivo, proporcionando una base sólida para la planificación y gestión económica del proyecto.

Tabla 33: Materia prima

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Escamas de tilapia	5	Kg	\$ 2,00	\$ 10,00

Total (\$)

\$10,00

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Esta tabla presenta un elemento clave en la factibilidad económica de la producción de colágeno hidrolizado alcalino. La inversión en materia prima alcanzó un costo total de \$10,00 para obtener 5 kg de colágeno a partir de esta materia prima. Además, la tabla destaca la relación directa entre la calidad de la materia prima y su influencia en los costos de producción. Aunque la cantidad de materia prima requerida fue considerable, esta se adquirió a un costo favorable. Es esencial considerar que la calidad de la tilapia y sus escamas desempeña un papel fundamental en los resultados finales. Esta materia prima fue seleccionada por su capacidad para garantizar un alto contenido proteico, buen rendimiento y un excelente valor nutricional en el producto final. Considerando que el costo unitario es de \$2,00 por kilogramo, se evidencia una inversión estratégica en una materia prima de alta calidad, reconocida por sus propiedades sobresalientes y beneficios nutricionales, especialmente en cuanto a proteínas y aminoácidos.

Por otro lado, la Tabla 34 presenta un desglose exhaustivo de los costos relacionados con la obtención de colágeno hidrolizado alcalino. Este análisis financiero es crucial para comprender los gastos implicados en el proceso productivo, ya que proporciona mayor transparencia económica y permite una evaluación más precisa de la viabilidad del proyecto.

Tabla 34: Reactivos

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Hidróxido de sodio	1	kg	\$ 50,00	\$ 50,00
Hipoclorito de sodio	1	ml	\$2,75	\$ 2,75
Ácido acético 2%	1	ml	\$25,00	\$ 25,00
Agua destilada	7	l	\$3,00	\$ 21,00
Total				\$ 98,75

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

La tabla demuestra la factibilidad económica de producir colágeno a partir de las escamas de tilapia, con un costo total de \$98,75 para la obtención de 250 g de colágeno. En ella se detalla la relación entre los reactivos empleados como materia prima y su influencia directa en el costo de producción, evidenciando la viabilidad económica del proceso.

Por otro lado, la Tabla 35 presenta un desglose de los costos asociados a los materiales utilizados en la producción del colágeno, lo que permite un análisis integral de los gastos involucrados en cada etapa del proceso. Este análisis no solo ofrece una visión clara de los recursos necesarios, como los reactivos y su relación con los costos totales, sino que también resulta fundamental para evaluar la viabilidad económica y optimizar el uso de insumos en la producción.

Tabla 35: Materiales

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Ollas de acero inoxidable	2	u	\$5,00	\$10,00
Bandejas de aluminio (15 * 10)	16	u	\$1,25	\$20,00
Agitador de vidrio	2	u	\$1,00	\$2,00
Bowl de Aluminio	3	u	\$5,00	\$15,00
Total				\$47,00

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

Esta tabla presenta un costo total de \$47,00 correspondiente a los materiales empleados en el proceso de obtención de colágeno. Este análisis resalta la relación directa y significativa entre los insumos utilizados y la determinación del costo de producción, aspecto fundamental para evaluar la viabilidad económica del proceso. Además, la información proporcionada permite identificar oportunidades para optimizar recursos, reducir costos y maximizar la eficiencia en cada etapa de la producción, factores cruciales para garantizar la sostenibilidad y competitividad del producto final.

A continuación, la Tabla 36 presenta un desglose detallado de los costos asociados al empaque en el contexto del estudio realizado. Este análisis resulta fundamental para comprender la estructura de costos a lo largo de la cadena de suministro, especialmente en las etapas de distribución y almacenamiento del producto.

Tabla 36: Costo del empaque

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Fundas Zipper	16	U	\$0.10	\$1,60
Total				\$1,60

Fuente: (Guanoquiza & Orozco., 2025)

La tabla indica que se emplearon 16 fundas plásticas con cierre tipo zipper, cada una con un costo unitario de \$0,10, lo que resulta en un costo total de \$1,60 en la fase de empaque.

Aunque este valor puede considerarse relativamente bajo, es fundamental analizar su impacto en el costo global del proceso productivo. Este aspecto adquiere especial relevancia en escenarios de producción a gran escala, donde la optimización de los costos de empaque podría influir significativamente en la competitividad del producto final.

Por su parte, la Tabla 37 presenta un desglose detallado de los costos indirectos de producción, los cuales, si bien no se relacionan directamente con la fabricación del producto, inciden de manera significativa en los costos operativos totales. Este análisis permite comprender cómo recursos como el agua potable y la electricidad contribuyen a los costos generales de producción.

Tabla 37: *Costos indirectos de producción*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Agua potable	215	L	\$0,00031	\$0,066
Electricidad	24	KW/h	\$0,13	\$3,12
Total				\$3,18

Fuente: *(Guanoquiza & Orozco., 2025)*

Esta tabla presenta un desglose de los costos indirectos de producción, los cuales ascienden a un total de \$3,18. Aunque este valor puede considerarse moderado, su importancia aumenta al analizarse en el contexto de operaciones a gran escala o en industrias donde estos recursos resultan esenciales. Es relevante señalar que los datos incluyen únicamente dos componentes de los costos indirectos, excluyendo otros posibles gastos como mantenimiento, depreciación de equipos o costos administrativos, lo que podría limitar la visión integral del total de los costos indirectos de producción.

A continuación, la Tabla 38 muestra el costo de los análisis realizados tanto a la materia prima como al colágeno obtenido.

Tabla 38: *Costo de análisis*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
-Análisis bromatológico de las escamas de la tilapia	1	u	\$50,00	\$50,00
-Análisis de colágeno en polvo (8 tratamientos)	1	u	\$80,00	\$80,00
-Análisis microbiológico	1	u	\$50,00	\$50,00
-Análisis de aminoácidos	1	u	\$276,00	\$276,00

Total

\$456,00

Fuente: (*Guanoquiza & Orozco., 2025*)

La tabla presenta un desglose detallado del costo de los análisis realizados tanto a las escamas de tilapia como al colágeno obtenido. En ella se especifican los componentes y procesos involucrados en cada análisis, con un costo total de \$456,00.

5. CONCLUSIONES

-La viabilidad del uso de escamas de tilapia como materia prima es bastante prometedora. Estas escamas (*Oreochromis niloticus*), gracias a su alto contenido de colágeno tipo I, se presentan como una fuente sostenible y viable para la producción de colágeno en polvo. Su composición bromatológica tiene un contenido de proteína del 60,77%, una materia seca del 93,22% y un bajo contenido grasa del 1,09%, lo que realmente favorece la eficiencia del proceso de extracción.

-Respecto a las propiedades fisicoquímicas del colágeno obtenido, se observó un pH con un valor de 7,75 ligeramente alcalino y una excelente solubilidad de 89,96%, lo que respalda su uso en productos nutracéuticos y cosméticos. La relación entre la solubilidad y el pH indica que un pH cercano a la neutralidad favorece la disolución de la proteína.

-En cuanto al rendimiento del proceso presenta un valor de 7,52%, la extracción alcalina con NaOH mostró resultados satisfactorios, comparables a otros estudios recientes. Sin embargo, es importante tener en cuenta que concentraciones demasiado altas de hidróxido de sodio pueden degradar parcialmente las fibras de colágeno, lo que podría afectar la calidad del producto final.

-Los parámetros microbiológicos del mejor tratamiento recaído en el t₄ (a₁b₂c₂) confirmaron la inocuidad del colágeno en polvo, en los parámetros de enterobacteriáceas, Salmonella en 25 g y Mohos y levaduras presentan ausencia y cumplen con los límites establecidos por normas como AOAC 990.12 y NTE INEN 1529-15, lo que respalda su idoneidad e inocuidad para el consumo humano o su uso en la industria cosmética y alimentaria.

-Finalmente, en cuanto al perfil de aminoácidos bioactivos, el colágeno extraído mostró concentraciones notables de glicina (21,5 mg/g), prolina (11,8 mg/g), alanina (9,2 mg/g) y ácido glutámico (8,4 mg/g), cumpliendo con los rangos establecidos por normativas y estudios recientes. Esto sugiere que el producto tiene un alto potencial funcional y ofrece beneficios para la salud articular, dérmica y ósea.

6. RECOMENDACIONES

-Es recomendable mantener las concentraciones de NaOH entre 0,1 M y 0,5 M durante el proceso de extracción, ya que niveles más altos pueden desnaturalizar el colágeno, lo que afectaría tanto su rendimiento como su estructura. Es fundamental realizar pruebas preliminares para ajustar el pH sin poner en riesgo la calidad.

-Se recomienda implementar pretratamientos mecánicos y térmicos suaves puesto que la combinación de pretratamientos térmicos a baja temperatura y mecánicos, como un triturado homogéneo, puede mejorar la eficiencia del proceso y reducir el tiempo de extracción, todo sin alterar la estructura proteica.

-Realizar un control más minucioso de los parámetros de secado y molienda ya que el secado debe llevarse a cabo a temperaturas moderadas, entre 40 y 60 °C, para preservar las propiedades funcionales del colágeno. Además, es importante que la molienda evite la fricción excesiva para no alterar las características organolépticas ni provocar la oxidación de los aminoácidos.

-Aprovechar los residuos no colagénicos que quedan durante el proceso puede ser valorizado como fuente de minerales (cenizas) o utilizado en la producción de fertilizantes orgánicos, lo que ayuda a reducir el impacto ambiental.

-Se recomienda realizar una caracterización sensorial del colágeno obtenido de escamas de tilapia para verificar su aceptabilidad como producto consumible, así como gestionar el respectivo registro sanitario para asegurar que cumple con los estándares de calidad e inocuidad exigidos para el consumo humano, ya que estos procesos permiten garantizar la seguridad y viabilidad comercial del colágeno en las industrias alimentaria y cosmética.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Antón Castro, J. J. (2021). Tratamiento de residuos sólidos de pescado para la obtención de colágeno en el puerto de Huacho–2019.
- Bastidas Guayanay, M. F. (2022). Diseño de un proceso industrial para la obtención de colágeno a partir de escamas de pescado recogidas en Riobamba.
- Basualdo Landa, I. C., & Delgado Pacheco, J. M. (2019). Obtención y caracterización fisicoquímica, químico proximal y sensorial de gelatina a base de escamas de pescado y aguaymanto (*Physalis peruviana*).
- Beltrán Ramírez, J. (2011). Valoración de la innovación tecnológica del proceso de obtención de colágeno a partir de piel de tilapia (*Oreochromis sp*) para su aplicación en el mercado cosmético (Doctoral dissertation).
- Bernales, D. M., Caride, F., Lewis, A., & Martin, L. (2004). Membranas de colágeno polimerizado: consideraciones sobre su uso en técnicas de regeneración tisular y ósea guiadas. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 23(2), 65-74.
- Bird, P., Flannery, J., Crowley, E., Agin, JR, Goins, D. y Monteroso, L. (2016). Evaluación del ensayo de detección molecular (MDA) 2–*Salmonella* de 3M™ para la detección de *Salmonella* spp. en alimentos y superficies ambientales

- seleccionados: Estudio colaborativo, First Action 2016.01. *Revista de la AOAC International*, 99 (4), 980-997.
- Cajo-Pinche, M. I., Díaz-Viteri, J. E., Vílchez-Navarro, Y., & Montalvan-Apolaya, P. S. (2022). Obtención de colágeno a partir de subproductos de Paco (*Piaractus brachypomus*). *Revista Biodiversidad Amazónica*, 1(1), e148-e148.
- Cobeña-Dueñas, M. V., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Delgado-Demera, M. H., & Rodríguez-Díaz, J. M. (2022). Revisión de los métodos de obtención de colágeno a partir de subproductos de especies marinas. *Centro Azúcar*, 49(4), 102-113.
- Cordero Zambrano, K. C., Garcés Barcia, G. H., & Serrano Carlin, R. O. (2018). Obtención de Colágeno a partir de escamas de tilapia mediante hidrólisis enzimática (Doctoral dissertation, Espol. FCNM).
- Cuadros Salazar, K. P. (2025). Escuela de Postgrado Maestría en Salud Pública (Doctoral dissertation, Universidad Católica de Santa María).
- Daza, T. E. L., & Rodríguez, W. P. (2017). Obtención y caracterización de un hidrolizado de colágeno purificado producido mediante el uso de la enzima delvolase. In *Anales Científicos* (Vol. 78, No. 2, pp. 251-259). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Elbially, Z. I., Atiba, A., Abdelnaby, A., Al-Hawary, I. I., Elsheshtawy, A., El-Serehy, H. A., ... & Assar, D. H. (2020). Collagen extract obtained from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) skin accelerates wound healing in rat model via up regulating VEGF, bFGF, and α -SMA genes expression. *BMC veterinary research*, 16, 1-11.
- Enríquez, M., & Lopez, R. (2022). evaluación de las propiedades físico químicas y microbiológicas, en la harina de cáscara de pitahaya de descarte (*selenicereus undatus* (haw) dr hunt). *fabicib: Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral*, 26.
- Escalada. Hoz (2015). revisión de los efectos del colágeno. *Nutr Hosp*, 32(Supl 1), 62-66.
- Fernández-Macías, J. M., & Mero-Del Valle, D. (2019). Manejo de los residuos sólidos generados en el puerto pesquero artesanal de Jaramijó y su impacto ambiental

abril a septiembre 2018: Artículo de investigación. Revista Científica Arbitrada de Posgrado y Cooperación Internacional Claustro-ISSN: 2737-6478., 2(4), 2-13.

Fuentes Carrillo, A. C. (2021). Propuesta para el aprovechamiento de escamas de pescado aplicado a la producción de papel de quitosano por el método de desacetilación de quitina en medio alcalino.

Gelse, K., Pöschl, E., & Aigner, T. (2003). Collagens—structure, function, and biosynthesis. *Advanced drug delivery reviews*, 55(12), 1531-1546.

Giraldo Ríos, D. E. (2019). Modelamiento del proceso de extracción de colágeno a partir de subproductos piscícolas mediante el uso de membranas de filtración a flujo cruzado.

Gómez Aguirre, J., & Benítez Torres, M. J. (2011). Evaluar el posible uso de la escama de cachama (*Piaractus Brachypomus*) y tilapia (*Oreochromis sp.*) como desecho de la producción piscícola en procesos de nutrición animal y como enmienda en suelos de la región.

Gómez-Guillén, MC, Giménez, B., López-Caballero, MA, y Montero, MP (2011). Propiedades funcionales y bioactivas del colágeno y la gelatina de fuentes alternativas: Una revisión. *Food Hydrocolloids*, 25 (8), 1813-1827.

González, L. J., Martínez, F. N., Rossi, L., Tornese, M., & Troncoso, A. (2010). Enfermedades transmitidas por los alimentos: Análisis del riesgo microbiológico. *Revista chilena de infectología*, 27(6), 513-524.

Guamán Abarca, V. S. (2017). Efecto del sexo y edad de sacrificio sobre la cantidad de colágeno total y soluble en la carne y piel de cuy (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo, 2017).

Hernández-Barrera, R., et al. (2018). El colágeno tipo V: estructura, función y aplicaciones. *Revista de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*

- Jordán Núñez, M. F. (2012). Obtención de Colágeno por Hidrólisis Alcalina-Enzimática del Residuo de Wet Blue en el Proceso de Curtición (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Juher, T. F., & Pérez, E. B. (2015). Revisión de los efectos beneficiosos de la ingesta de colágeno hidrolizado sobre la salud osteoarticular y el envejecimiento dérmico. *Nutrición hospitalaria*, 32(1), 62-66.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food hydrocolloids*, 23(3), 563-576.
- Kim, S. Y., Seo, D. H., Kim, S. H., Hong, Y. S., Lee, J. H., Kim, Y. J., ... & Park, C. S. (2020). Comparative study on four amylosucrases from *Bifidobacterium* species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 535-542.
- Kittiphattanabawon, P., Benjakul, S., Visessanguan, W. y Shahidi, F. (2010). Estudio comparativo de las características de la gelatina de la piel de tiburón bambú de banda marrón y tiburón de puntas negras según las condiciones de extracción. *Food Hydrocolloids* ,
- Li, L., Liu, Y., Yu, H., Li, Z., Lin, H., Wu, F., ... & Liu, J. (2022). Comprehensive phytochemicals analysis and anti-myocardial ischemia activity of total saponins of American ginseng berry. *Journal of Food Biochemistry*, 46(2), e14042.
- Liu, D., Nikoo, M., Boran, G., Zhou, P. y Regenstein, J. M. (2015). Colágeno y gelatina. *Revista anual de ciencia y tecnología de los alimentos* , 6 (1), 527-557.
- Lliuyacc Laurente, R. (2018). Efecto de la Temperatura, Tiempo y ph en el Rendimiento de Extracción de Pectina en Cáscara de Tumbo Serrano (*Passiflora tripartita* L.).
- López Jordi, M. D. C., Amaral Schiaffino, R., & Bussadori Kalil, S. (2010). Proteolisis enzimática del colágeno dentinario. *Odontoestomatología*, 12(14), 35-44.
- Mamani Huamán, C. A. (2018). Obtención de colágeno por el método de hidrolisis alcalina a partir de (Tarsos) de pollo provenientes de la Industria Avícola en la Región Arequipa.

- Mendoza, A. L. C., Zambrano, P. A. V., Solórzano, V. T., & Nevárez, G. C. (2021). La Evaluación Microbiológica de Pescado Fresco Albacora (*Thunnus alalunga*) en el Mercado Central del Cantón Chone. *La técnica*, 69-81.
- Meschino, C. (2025). Técnica de auto liberación miofascial con Foam Roller: tratamiento de terapia ocupacional en tendinopatía del musculo supraespinoso (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias de la Salud y Trabajo Social).
- Moongngarm, A., & Saetung, N. (2010). Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food chemistry*, 122(3), 782-788.
- Muñoz, D. M. Z., Peñafiel, P. G. P., Pontón, G. D. L. Á. R., & Miranda, N. D. P. P. (2025). Aprovechamiento de escamas de tilapia negra para la producción de colágeno. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 6(15), 243-260.
- Muyonga, J. H., Cole, C. G. B., & Duodu, K. G. (2004). Characterisation of acid soluble collagen from skins of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). *Food chemistry*, 85(1), 81-89.
- Naranjo Naranjo, B. S. (2025). Extracción de colágeno por el método de hidrólisis alcalina a partir de tarsos de pollo provenientes del sector avícola (Bachelor's thesis, Riobamba).
- Parra Parra, Y., Quesada Martínez, M. I., & Pérez Collado, E. M. (2015). Colágeno asimilable. Fuente de prevención de enfermedades osteoarticuladas.
- Pérez Gelves, S. E., & Rodríguez Santos, J. A. (2022). Agroindustria de la tilapia (*oreochromis sp.*), en Colombia, una revisión bibliográfica desde el año 2000 hasta el 2021.
- Pérez Gelves, S. E., & Rodríguez Santos, J. A. (2022). Agroindustria de la tilapia (*oreochromis sp.*), en Colombia, una revisión bibliográfica desde el año 2000 hasta el 2021.
- Prado-Carpio, e., Echeverría-Espinoza, e., olivo-garrido, m. l., Martínez-soto, m. e., & Rodríguez-Monroy, c. (2021). Agronegocio: cadena de valor de *Anadara tuberculosa* (concha prieta) en Ecuador. *Revista Espacios*, 42(22).

- Prestes, R. C., Golunski, S. M., Toniazzo, G., Kempka, A. P., & Luccio, M. (2013). Caracterização da fibra de colágeno, gelatina e colágeno hidrolisado. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 15(4), 375-382.
- Quintero, J., & Zapata, J. E. (2017). Optimización de la extracción del colágeno soluble en ácido de subproductos de tilapia roja (*Oreochromis spp*) mediante un diseño de superficie de respuesta. *Información tecnológica*, 28(1), 109-120.
- Ramón Nieves, A. C. (2018). Optimización del método para la obtención de grenetina a partir de residuos avícolas para su aplicación en la elaboración de gelatinas saborizadas.
- Ramos Collaguazo, C. D. (2018). Obtención y caracterización de colágeno a partir de las escamas de pescados rojo y pardo.
- Reilly, D. M., & Lozano, J. (2021). Skin collagen through the lifestages: Importance for skin health and beauty. *Plastic and Aesthetic Research*, 8, N-A.
- Ríos, D. E. G. (2020). Modelamiento del proceso de extracción de colágeno a partir de subproductos piscícolas mediante el uso de membranas de filtración a flujo cruzado (Doctoral dissertation, Universidad de Antioquia).
- Saenz Serrano, N. (2017). Obtención del Material Colagenoso de Escamas de Pescado y su Esterilización con radiación Gamma.
- Sánchez, M. M. (2023). Caracterización de colágeno obtenido de escamas de pinchagua (*Alosa pseudoharengus*) por el método de hidrólisis alcalina (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador).
- Schoenfeld, P. (2020). Colágeno: Rejuvenece tu piel, fortalece las articulaciones, y siéntete más joven gracias a la dieta que aumenta la producción y el consumo de colágeno. Editorial Sirio SA.
- Serrano Gaona, J. C. (2011). Estandarización de un proceso de extracción de colágeno a partir de los residuos de fileteo de tilapia (*Oreochromis sp*) y cachama (*Piaractus brachypomus*) (Doctoral dissertation).
- Silva, TH, Moreira-Silva, J., Marques, AL, Domingues, A., Bayón, Y. y Reis, RL (2014). Colágenos de origen marino y sus potenciales aplicaciones. *Medicamentos marinos*, 12 (12), 5881-5901.

- Tenelema Buñay, M. P. (2017). Obtención de colágeno de las patas de pollo con la aplicación de niveles de 2, 4, 6% de pepsina (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Torres-Arreola, W., Pacheco-Aguilar, R., Sotelo-Mundo, R. R., Rouzaud-Sández, O., & Ezquerria-Brauer, J. M. (2008). Caracterización parcial del colágeno extraído a partir del manto, aleta y tentáculos de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) partial characterization of collagen from mantle, fin, and arms of jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *CYTA-Journal of Food*, 6(2), 101-108.
- Velarde-Rodríguez, M. G., Beltrán-Acosta, A. C., Pichardo-Velarde, J. G., & AmezcuaVega, C. (2015). Extracción de colágeno a partir de pieles de tilapia. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(4), 631-639.
- Vélez, L., & Fernandez, J. (2024). Técnicas de extracción de colágeno: Aplicaciones y tendencias científicas. *Manglar*, 21(3), 391-399.