



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

TEMA:

**“DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ELABORACIÓN DE COLÁGENO A PARTIR
DE LA EXTRACCIÓN DE LA ESCAMA DE PESCADO”**



AUTOR: Jhostin Geovanny Chamorro Benavides

DIRECTOR: Ing. Karen Alejandra Benavides Flores, MSc.

Ibarra-Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401932256		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chamorro Benavides Jhostin Geovanny		
DIRECCIÓN:	Ibarra – Av. 17 de Julio		
EMAIL:	jgchamorro@utn.edu.ec / jhostinchamorro2003@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	S/N	TELF. MOVIL	0993513957

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Diseño Experimental para la Elaboración de Colágeno a partir de la Extracción de la Escama de Pescado”
AUTOR (ES):	Chamorro Benavides Jhostin Geovanny
FECHA: AAAAMMDD	2026/02/12
CARRERA/PROGRAMA:	☒ GRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO INDUSTRIAL
DIRECTOR:	Ing. Benavides Flores Karen Alejandra, MSc.

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Chamorro Benavides Jhostin Geovanny, con cédula de identidad Nro. 0401932256, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 12 días, del mes de febrero de 2026.

EL AUTOR:

Firma

Nombre: Jhostin Geovanny Chamorro Benavides

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días, del mes de febrero de 2026.

EL AUTOR:

Firma

Nombre: Jhostin Geovanny Chamorro Benavides

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 12 de febrero de 2026

Ing. Karen Alejandra Benavides Flores, MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)
Ing. Karen Alejandra Benavides Flores, MSc.
C.C.: 1003597513

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Diseño Experimental para la Elaboración de Colágeno a partir de la Extracción de la Escama de Pescado” elaborado por Chamorro Benavides Jhostin Geovanny, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):
Ing. Karen Alejandra Benavides Flores, MSc.
C.C.: 1003597513

(f):
Ing. Víctor Javier Montenegro Simancas, MSc.
C.C.: 1717035149

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a mis padres, quienes han hecho de mí un hombre responsable, con valores y principios. Gracias a su arduo trabajo, esfuerzo constante, consejos y acompañamiento diario, he podido salir adelante y alcanzar lo que hoy con orgullo he logrado.

A mis hermanos, quienes han sido base fundamental a lo largo de este arduo camino, sin su apoyo incondicional, nada de esto hubiese sido posible.

A mis tías maternas, que han sido para mí como una segunda madre, brindándome siempre su cariño, apoyo y su mano en los momentos difíciles.

Finalmente, a toda mi familia materna, que han sido de gran ayuda y un pilar muy importante en todo este proceso de formación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y a los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Industrial, quienes, a través de sus conocimientos, valores y principios compartidos, contribuyeron de manera significativa a mi formación profesional.

Agradezco de manera especial el apoyo, la paciencia y la orientación de mi tutora de tesis, MSc. Karen Benavides, de mi exasesor, MSC. Ramiro Saraguro y de mi actual asesor de tesis MSc. Víctor Montenegro, por guiarme a lo largo de este proceso, así como por sus aportaciones y contante acompañamiento durante el desarrollo del presente proyecto.

Agradezco a los compañeros y amigos que formé a lo largo de la carrera, por los buenos momentos compartidos, por las palabras de aliento en momentos difíciles y por cada experiencia vivida, las cuales hoy recuerdo como las mejores anécdotas de mi etapa universitaria.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1. Problema de investigación.	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General	17
1.2.2. Objetivos Específicos	17
1.3. Alcance	17
1.4. Justificación	18
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Producción de pescado en Ecuador	22
2.2.2. Pescados que más se comercializan en la ciudad de Ibarra.....	23
2.2.3. Escamas de pescado	24
2.2.4. Aplicaciones de la escama de pescado en la industria.....	24
2.2.5. Colágeno.....	24
2.2.6. Tipos de colágeno	25
2.3. Diseño experimental	26
2.3.1. Fases del diseño de experimentos	26

2.3.2. Principios de un diseño experimental.....	29
2.3.3. Repetición o réplica.....	29
2.3.4. Error experimental.....	29
2.3.5. Aleatorización.....	29
2.4. Tipos de diseños experimentales.....	29
2.4.1. Experimentos con un solo factor: Análisis de varianza (ANOVA)	29
2.4.2. Diseños factoriales	29
2.4.3. Diseños anidados	30
2.4.4. Superficies de respuesta	30
CAPÍTULO III.....	31
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Enfoque y tipo de investigación.....	31
3.1.1. Enfoque	31
3.1.2. Tipo de investigación.....	31
3.1.2.1. Investigación experimental	31
3.2. Métodos e instrumentos	32
3.2.1. Método de investigación	32
3.2.2. Diseño factorial 2 ³	32
3.2.3. Diagrama de proceso de extracción de colágeno	35
3.2.4. Materiales e instrumentos para la obtención de colágeno	36
3.2.5. Diagrama de flujo del diseño experimental.....	39
3.2.6. Niveles y factores	41
3.2.7. Matriz del diseño del experimento	41
3.2.8. Polvo seco obtenido de las escamas	42
3.2.9. Porcentaje de rendimiento final obtenido.....	44

3.2.10. Análisis estadístico	45
CAPÍTULO IV	52
RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
4.1. Resultados	52
4.2. Análisis.....	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Oreochromis niloticus	23
Figura 2. Oncorhynchus mykiss	23
Figura 3. Modelo de un diseño experimental	26
Figura 4. Representación geométrica del diseño factorial 2^3	32
Figura 5. Representación de la interacción de los factores A, B y C.....	33
Figura 6. Codificación de los factores del diseño factorial 2^3	34
Figura 7. Proceso final para la obtención de colágeno	35
Figura 8. Diagrama de flujo para la realización de experimentaciones.....	40
Figura 9. Coeficientes codificados	52
Figura 10. Análisis de varianza.....	53
Figura 11. Efectos estandarizados	56
Figura 12. Efectos individuales por factor.....	57
Figura 13. Interacciones	58
Figura 14. Gráfica de cubo	59
Figura 15. Residuos vs. Orden de observación.	60
Figura 16. Residuos vs Factores	61
Figura 17. Prueba de normalidad.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Tipos de colágeno	25
Tabla II. Niveles y factores.....	41
Tabla III. Matriz de resultados con réplicas	41
Tabla IV. Resultados en polvo Tilapia.....	42
Tabla V. Resultados en polvo Trucha	43
Tabla VI. Rendimiento total por réplicas	44
Tabla VII. Notación y promedio de datos.....	45
Tabla VIII. Resultados del efecto por cada factor	46
Tabla IX. Efectos con mayor relevancia.....	47
Tabla X. Suma de cuadrados del error por ensayo.....	48
Tabla XI. Resultados finales	51
Tabla XII. Variables ecuación de regresión	54

RESUMEN

En Ecuador, la industria pesquera genera grandes cantidades de desechos como la piel, escamas, vísceras, entre otros, especialmente en los puertos de Manta, San Mateo, Santa Rosa y Anconcito. Estos residuos al no ser reutilizados pueden transformarse en subproductos valiosos como colágeno con aplicaciones en sectores como la agricultura, alimentación, cosmética, farmacéutica y biotecnología. Además, busca reducir el impacto ambiental de la actividad pesquera. El objetivo principal es desarrollar un diseño experimental en el cual se identifique el mejor método para obtener un alto % de rendimiento en el colágeno extraído identificando los factores que mayor aporte generen para obtener el mismo. Se aplicó un diseño factorial 2^3 por triplicado generando un total de 24 experimentaciones realizadas en un laboratorio para obtener resultados de alta precisión. Los resultados obtenidos reflejan una significancia relevante entre el tipo de especie y la relación solvente utilizada. En este estudio, el máximo porcentaje de rendimiento que se obtuvo fue de 17.68%, correspondiente al uso de una relación solvente 98:02 (9.8g de agua y 0.2g de escama de trucha) y una temperatura de 60 °C.

Palabras clave: Diseño factorial, escama, colágeno, extracción, rendimiento y relación solvente.

ABSTRACT

In Ecuador, the fishing industry generates large quantities of waste such as skins, scales, and viscera, among other things, especially in the ports of Manta, San Mateo, Santa Rosa, and Anconcito. Since this waste is not reused, it can be transformed into valuable byproducts such as collagen, with applications in sectors such as food, cosmetics, pharmaceuticals, and biotechnology. Furthermore, this study seeks to reduce the environmental impact of fishing activity. The main objective is to develop an experimental design to identify the best method for obtaining a high percentage of extracted collagen yield, identifying the factors that contribute most to this yield. A 2^3 factorial design was applied in triplicate, resulting in a total of 24 laboratory experiments to obtain highly precise results. The results obtained reflect a significant correlation between the species used and the solvent ratio. In this study the maximum yield percentage obtained was 17.68%, corresponding to the use of a solvent ratio of 98:2 (9.8 g of water and 0.2 g of trout flakes) and a temperature of 60 °C.

Keywords: Factorial design, scale, collagen, extraction, yield and solvent ratio.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación.

Los residuos que se generan al procesar el pescado son desechados indiscriminadamente aumentando la contaminación ambiental debido a que el pescado es un recurso altamente perecible y que a temperatura ambiente los procesos de descomposición se aceleran de manera considerable [1].

La industria pesquera es considerada una de las fuentes que más genera desperdicios o residuos acuícolas, estos desechos hacen referencia a las distintas especies de peces de menor tamaño o producto de capturas no deseados, los cuales son comercializados por un valor bajo en el mercado debido al tamaño o algún tipo de defecto [2].

La porción comestible del pescado como la pulpa, filete o músculo, oscila aproximadamente entre el 25% y 45% con respecto del peso total, lo cual supone que el resto se desecha, es decir entre un 55% y 75%. Entre estos restos, se incluyen los recortes de músculo (15% - 20%), piel y aletas (1% - 3%), espinas (9% -15%), cabezas (9% - 12%), vísceras y escamas (12% - 18%).

La reutilización de subproductos o residuos se está convirtiendo en una industria considerable para muchos inversionistas, dado que crece de forma notable, segura, saludable y responsable [3].

Hoy en día, los avances de la Industria pesquera permiten aprovechar los residuos del pescado creando nuevas oportunidades y posibilidades de emprender usando estos restos y generando productos alternos. Un claro ejemplo de esto se refleja en lo que realizaron países grandes como China, el cual generó un método para extraer colágeno de los huesos de pescado y productos fertilizantes con los residuos de este [3].

Sin embargo, este tipo de innovaciones productivas sostenibles aún no se han materializado en Ecuador. Según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO), Ecuador se encuentra en una posición poco favorable en materia de innovación. En el Índice Global de Innovación 2023, Ecuador ocupó el puesto 104 de 130 países [4], lo que lo clasifica como un país "menos innovador", tal como lo señaló WIPO [5].

Tomando en consideración lo expuesto, resulta evidente la necesidad de explorar nuevas alternativas respaldadas por un sólido análisis estadístico. Los hallazgos derivados de esta investigación permitirán el diseño de novedosas estrategias para generar ingresos económicos dentro del país.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Desarrollar un diseño experimental del proceso de obtención de colágeno a partir de la clasificación y procesamiento de la escama de pescado.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los tipos de escama que influirán dentro del proceso de obtención de colágeno mediante revisión de estudios previos para evaluar el rendimiento del colágeno extraído.
- Determinar el efecto de diferentes temperaturas de extracción afecta la eficiencia y calidad del colágeno realizando pruebas con distintos niveles de temperatura para identificar la óptima que maximice el rendimiento.
- Analizar el impacto de la relación solvente (agua:escama) sobre el rendimiento del colágeno extraído utilizando dos niveles de relación (98:02 y 90:10) para determinar cuál proporción beneficia un mayor aprovechamiento de materia prima.

1.3. Alcance

Este estudio de investigación desarrollará un diseño experimental riguroso para la extracción de colágeno a partir de escamas de pescado de las especies como la tilapia y la trucha, las mismas que serán recaudadas en el Mercado Amazonas ubicado en la ciudad de Ibarra-Ecuador. Para lograrlo, se llevarán a cabo las siguientes actividades: revisión bibliográfica exhaustiva, selección del método de extracción de colágeno, implementación del diseño experimental, ejecución de experimentos, análisis de resultados y documentación del proceso experimental.

1.4. Justificación

Este proyecto se justifica con el Objetivo 11 del Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 y Agenda 2030 en el cual se especifica: “*Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales*” dando paso al desarrollo de nuevas tecnologías, productos y procesos que reduzcan el impacto ambiental de la producción de alimentos ya que, en un contexto actual, la sostenibilidad se ha convertido en una prioridad global [6].

De modo equivalente, el presente proyecto se justifica mediante el Reglamento a la Ley de Emprendimiento emitido por la Presidencia de la República a través del Decreto Ejecutivo 1113 de 27 de Julio de 2020 Capítulo V (Fomento a la Cultura y Educación Emprendedora), Artículo 23.- Cooperación entre establecimientos y con el sector productivo: “*Las Instituciones de Educación Superior podrán construir el desarrollo de emprendimientos a través de convocatorias dirigidas a proyectos innovadores en el ámbito socioeconómico.*”

Las entidades públicas competentes, en conjunto con las empresas del sector productivo, podrán convocar a retos de innovación y/o procesos de transferencia de tecnología, con el fin de identificar propuestas innovadoras que les permitan resolver problemáticas productivas.” Por lo tanto, la innovación en la creación de nuevos proyectos productivos es esencial dentro de la sociedad para el desarrollo socioeconómico del país [7].

Durante todo el proceso de producción para la obtención de alimentos provenientes del mar y su respectiva distribución tanto a nivel nacional como internacional, se genera una gran cantidad de desperdicios especialmente donde se realiza la actividad pesquera. En Ecuador, esta actividad se lleva a cabo en los puertos pesqueros situados generalmente en la zona del golfo de Guayaquil, en las provincias de Manabí y Esmeraldas. Y sus principales puertos de desembarque son en Manta, San Mateo, Santa Rosa y Anconcito [8].

A partir de los desechos generados por la industria pesquera, como piel, aletas, espinas, cabezas, vísceras y escamas, se pueden elaborar subproductos novedosos como harina de pescado, cuero, aceite, fertilizantes colágeno, entre otros, promoviendo así, prácticas más responsables desde el punto de vista ambiental y económico [9].

En la actualidad, el uso del colágeno ha adquirido una relevancia significativa debido a estudios científicos que evidencian una disminución gradual de la cantidad de colágeno tisular con el paso del tiempo. Esta disminución conduce a una regeneración más lenta y compleja de los tejidos colagenosos, lo que a largo plazo puede ocasionar un mayor deterioro físico, una peor movilidad y una mayor vulnerabilidad ante enfermedades [10].

A través de la experimentación con este tipo de colágeno, se identificarán y medirán diversos factores clave, como el tipo de metodología aplicada y los cambios que se generan durante el proceso de extracción y formación del colágeno. Estos datos permitirán desarrollar un proceso óptimo para obtener un producto sostenible y de alta calidad, además de identificar las propiedades y aplicaciones de este producto, impulsando la innovación en industrias como la agrícola, alimenticia, cosmética, farmacéutica y áreas como la biotecnología.

En adición a lo anterior, este estudio busca crear conciencia y contribuir a la disminución del impacto ambiental mediante la minimización de los desechos generados en el sector de productos marinos, incluyendo pescaderías, mercados, distribuidores y empresas exportadoras de mariscos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Debido a la creciente demanda del colágeno, se ha investigado y desarrollado diversos métodos para la extracción de colágeno de manera sencilla y accesible. Si bien existen varios métodos a nivel de laboratorio, algunos presentan costos elevados y limitaciones en cuanto a los tiempos de proceso y la compatibilidad con diferentes tipos de escamas de pescado [11].

Según Carla Mercedes, en su investigación “*Extracción de Colágeno de las Escamas de Pescado utilizando diferentes niveles de Renina*” evaluó la extracción de colágeno acuícola utilizando diferentes niveles de renina. Los resultados indicaron que la composición bromatológica del colágeno no se vio afectada significativamente por la variación en los niveles de renina. Sin embargo, la conductividad aumentó con el uso de 15% de renina, sugiriendo una mayor concentración de sales disueltas. En cuanto a las propiedades organolépticas, el uso de 5% de renina produjo la calificación más alta [12].

En la publicación realizada por Aurobinda Das, Yashaswi Nayak y Supriya Dash para la “Revista Internacional de Pesca y Estudios Acuáticos” se identificaron algunos métodos hidrólisis como: hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina, hidrólisis enzimática, para la obtención de colágeno a partir de los residuos del pescado. La extracción mediante el método de hidrólisis ácida arrojó un contenido de proteína del 40,62% en su mejor práctica. Este resultado se consideró ineficiente debido a la presencia de proteínas no colagenosas y al tiempo prolongado del proceso (4 días). Métodos como la hidrólisis básica, ácida y el tratamiento enzimático lograron rendimientos de proteína entre 60% y 90%, con menor humedad, grasa y cenizas [13].

De acuerdo con la publicación realizada por los autores Kulkarni y Priyanka en el tema de investigación “Aislamiento, caracterización bioquímica y desarrollo de una película antimicrobiana biodegradable a partir de colágeno de escama *Cirrhinus mrigala*” se permitió extraer colágeno soluble en ácido con un rendimiento del 2,7%.

El análisis FTIR, UV-Vis, SDS-PAGE y la composición de aminoácidos confirmaron la identidad del colágeno tipo I. Además, la técnica de colorimetría diferencial de barrido reveló una temperatura de desnaturalización cercana a los 30 °C. El colágeno obtenido presentó alta solubilidad en pH ácido y bajas concentraciones de NaCl. Estas propiedades y su actividad antimicrobiana demostrada contra bacterias comunes (*Bacillus Subtilis*, *Escherichia Coli*, *Pseudomonas Aeruginosa*) lo convierten en un material prometedor para la elaboración de colágeno [14].

Los resultados de la extracción sólido-líquido, según Cristian Ramos (2018), mostraron un rendimiento máximo de proteína del 40.62%. Las condiciones óptimas para esta extracción se alcanzaron a un pH de 8.3 y una temperatura de 90 °C. El proceso en sí involucra una serie de etapas: recolección, lavado, secado, molienda y extracción. El tiempo total requerido para obtener el colágeno fue de aproximadamente 4 días [15].

En el estudio de Sandra López (2018), se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de renina en la extracción de colágeno mediante un método sólido-líquido. Los resultados indican que la variación existente en la concentración de renina no afectó de manera significativa la composición bromatológica del producto final en aspectos como la humedad, cenizas, proteína y materia seca. Sin embargo, hubo un aumento en la conductividad eléctrica de la solución al momento de utilizar una concentración de renina del 15%, lo que genera una mayor concentración de sales disueltas en el colágeno obtenido bajo estas condiciones [16].

Francisca Rodríguez (2015), describe un método de extracción de colágeno que combina el uso de ácido y la enzima proteasa. Previo a la extracción, se realiza un pretratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) para evitar la degradación del colágeno por la proteasa [17].

López Villaseñor (2017), presenta un protocolo de extracción de colágeno que incluye una etapa inicial de decatización seguida de una desproteínización de 3 horas. Para la extracción ácida, se utiliza ácido cítrico. Tras 24 horas de agitación, se retira el sobrenadante que contiene hidroxapatita y se prolonga el tratamiento durante 48 horas adicionales para obtener el colágeno [18].

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Producción de pescado en Ecuador

Los datos del Banco Central del Ecuador revelan una contracción económica del 5,6% durante el primer trimestre de 2021 en comparación con el mismo periodo del año anterior. A pesar de este escenario adverso, los sectores de pesca, comunicaciones y refinación de petróleo presentaron un desempeño positivo. Destaca especialmente la pesca, con un crecimiento interanual del 16.2%, lo que subraya su relevancia como motor de la economía nacional en dicho periodo [19].

El sector pesquero ecuatoriano continúa demostrando su relevancia en las exportaciones nacionales. En 2023, el pescado se posicionó como el cuarto producto de exportación tradicional más importante, generando ingresos por \$199.5 millones. Aunque, por detrás de productos emblemáticos como el camarón, el banano y el cacao, el pescado ha mantenido su lugar en el ranking. En lo que va del 2024, esta tendencia se ha consolidado, con un crecimiento en las exportaciones de productos enlatados, lo que demuestra la diversificación y el potencial de este sector [20].

En Ibarra existe una variedad en cuanto a la comercialización de peces que son muy demandadas por los consumidores locales de la zona. Entre las principales especies comercializadas se encuentra lo que es la tilapia, la corvina, la trucha, el atún y el bagre. Los de mayor demanda por su frescura y calidad a nivel local son la tilapia y trucha los cuales refuerzan su presencia constante en los puntos de venta de la ciudad [21].

2.2.2. Pescados que más se comercializan en la ciudad de Ibarra

Tilapia



Figura 1. *Oreochromis niloticus*

Fuente: Adaptado de [22]

La tilapia del nilo o científicamente llamado (*Oreochromis niloticus*), es un pez de agua dulce que se encuentra comúnmente en regiones tropicales. Los machos de esta especie pueden llegar a medir hasta 60 centímetros de longitud. Su alimentación es muy variada, incluyendo plantas acuáticas, pequeños animales y materia orgánica en descomposición. Este pez habita generalmente en aguas con temperaturas entre 31 y 36 °C [22].

Trucha



Figura 2. *Oncorhynchus mykiss*

Fuente: Adaptado de [23]

La trucha Arco Iris o *Oncorhynchus Mykiss* por su nombre científico, tiene origen en el Oeste de Estados Unidos y pertenece a la familia Salmonidae. Este tipo de trucha se encuentra entre las más cultivadas en el mundo debido a facilidad de cría y por su demanda en los mercados de consumo [23].

2.2.3. Escamas de pescado

La escama de pescado es un producto que contiene un elevado porcentaje de colágeno y contiene propiedades que son de utilidad en el ámbito alimenticio y en otras ramas de la salud como la medicina y la estética [24].

Las escamas son láminas duras y poco flexibles, que generan un gran número de líneas concéntricas y de estrías radicadas, una sobre otra como las tejas de un tejado dando forma así al exoesqueleto de los peces [15].

2.2.4. Aplicaciones de la escama de pescado en la industria

A pesar de su potencial las escamas de pescado tienen un uso secundario en la industria, como una variante en la alimentación animal en el sector de la avicultura, donde se añaden este tipo de desecho marino en los alimentos para así, mejorar la calidad de los huevos.

En Ecuador la falta de utilización de los residuos marinos como las escamas es notorio, ya que una gran cantidad se destina a la elaboración de artesanías, desaprovechando sus múltiples aplicaciones en otras industrias [25].

2.2.5. Colágeno

El colágeno, una proteína fundamental, constituye aproximadamente un tercio de los tejidos corporales. Es esencial para la salud de articulaciones, cartílagos, huesos, piel y otros tejidos conectivos. Su función principal es proporcionar elasticidad y resistencia a estos tejidos, previniendo su degeneración. El consumo de colágeno incrementa el suministro de aminoácidos, esenciales para la síntesis de proteínas y la protección contra toxinas [26].

Estudios realizados recomiendan el consumo del colágeno marino por sus amplios beneficios en la salud y resultados positivos en tratamientos de enfermedades articulares degenerativas y de igual forma, favorece a personas con enfermedades inflamatorias intestinales.

2.2.6. Tipos de colágeno

Se tiene conocimiento de hasta 28 tipos de colágeno de los cuales uno no se encuentra en los seres humanos y algunos restantes son muy escasos. El colágeno que más abunda en el cuerpo del ser humano es el colágeno tipo I y los colágenos con menor abundancia pero no con menor importancia son los de tipo II, III y IV. Además, en la industria los colágenos más utilizados y de mayor importancia son los de tipo I y II.

El colágeno tiene diferentes fuentes de obtención que pueden clasificarse de acuerdo a la especie animal [27].

Tabla I. Tipos de colágeno

TIPOS DE COLÁGENO		
TIPO	FUENTE	LOCALIZACIÓN
I	Bovinos	Huesos, tendones, dentina, córnea.
	Porcinos	
	Marino	
II	Bovino	Cartílago
	Porcino	
III		Tejido conjuntivo laxo, paredes de los vasos sanguíneos y
	Bovino	piel.
	Porcino	Además, sostiene órganos expandibles como los pulmones.
IV	Bovino	Epitelios
	Porcino	
	Marino	

Fuente: Adaptado de [28]

2.3. Diseño experimental

El diseño experimental se define como es un proceso, método o conjunto de pautas para asignar los ensayos o tratamientos de forma aleatoria a las unidades experimentales. Su principal objetivo es conseguir la mayor información que se necesite en el experimento con el mínimo costo y máxima eficiencia [29].

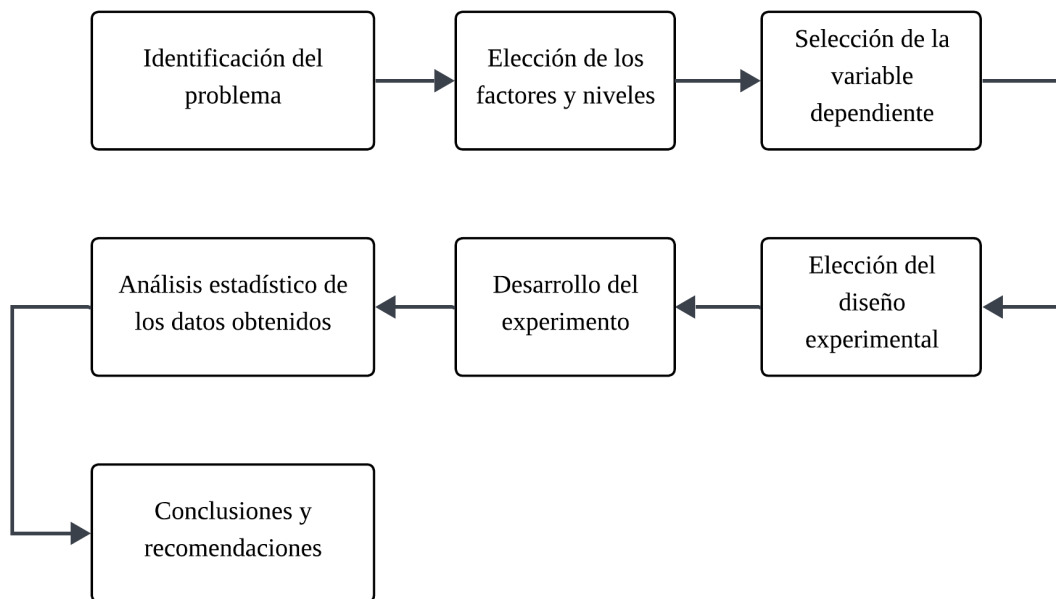


Figura 3. *Modelo de un diseño experimental*

Fuente: Adaptado de [30]

2.3.1. Fases del diseño de experimentos

Diversos autores han propuesto diferentes pasos para la elaboración de un diseño experimental. A continuación, se presenta un resumen de estos pasos [31]:

1. Reconocimiento y formulación del problema

Es esencial establecer claramente las ideas sobre el objetivo principal del experimento y recopilar información de las áreas comprometidas, como ingeniería, calidad, manufactura, tecnología, entre otras.

2. Selección de los factores y niveles

El investigador debe seleccionar los factores que serán analizados en base a su conocimiento del fenómeno y a la posibilidad de controlar estas variables independientes. Al elegir los factores que pueden influir en el experimento, se pueden considerar los siguientes tipos:

- **Factores potenciales del proceso:** El experimentador busca generar variación en el experimento. Dentro de estos factores se encuentran los factores de diseño que se mantienen constantes y los que se permite variar.
- **Factores perturbadores del proceso:** Estos factores pueden afectar la respuesta del experimento y deben ser tomados en cuenta, aunque no sean de interés en el contexto de la experimentación. Se clasifican en:
 - **Factores perturbadores controlables:** Se pueden ajustar a un nivel específico.
 - **Factores perturbadores no controlables:** No se pueden ajustar a un nivel específico, pero sí se pueden medir.
 - **Factores perturbadores de ruido:** No se pueden ajustar a un nivel específico y varían de forma natural.

3. Selección de las variables de repuesta

Este paso es esencial ya que, será aquel que genere la información necesaria y de utilidad con la solución del problema que se ha definido con anterioridad.

4. Selección del diseño experimental

Una vez establecidas las variables de respuesta aparecen dos preguntas importantes:

- a) ¿Cuál es el tamaño apropiado de la muestra?
- b) ¿Qué tipo de diseño experimental conduce al resultado óptimo en términos de información válida, precisa y económica?

La respuesta a estas preguntas dispondrá la forma en que se recolectarán y analizarán los datos.

5. Realización del experimento

En este paso es donde se procede a la realización del experimento y se recolectan los datos. Además, se debe tener claro el mecanismo de aleatorización, el manejo de los instrumentos y herramientas que se utilizarán y conocimientos de las unidades con las que se está trabajando. Un error en el procedimiento podrá arruinar en su totalidad la validez de este.

6. Análisis de los datos

Para analizar los datos obtenidos existen métodos estadísticos que permiten interpretarlos. La elección del método adecuado dependerá del tipo de diseño experimental que se esté utilizado y de las características de los datos.

7. Conclusiones y recomendaciones

Una vez que se hayan analizado los datos se establecen las inferencias estadísticas. Estas deben ser claras y comprensibles para poder interpretar los resultados en términos físicos y evaluar su significancia práctica [31].

2.3.2. Principios de un diseño experimental

Para que un experimento sea considerado como una buena experimentación se debe considerar la validez de las conclusiones así como su precisión. Para poder cumplir con esto se debe tener en cuenta ciertos conceptos básicos dentro de una experimentación como [32]:

2.3.3. Repetición o réplica

Es la repetición de un experimento completo o de ciertas fases de este con la finalidad obtener datos más confiables y asertivos.

2.3.4. Error experimental

Es la variación natural y diferencias accidentales que pueden ocurrir en cualquiera de los ensayos realizados en la experimentación y que no se pueden controlar.

2.3.5. Aleatorización

Se refiere al proceso de utilizar el azar para designar las variables, materiales y el orden que deben seguir los ensayos dentro del proceso de la experimentación [32].

2.4. Tipos de diseños experimentales

2.4.1. Experimentos con un solo factor: Análisis de varianza (ANOVA)

Este método se utiliza para analizar si existen diferencias estadísticas con un grado mayor de significancia entre las medias de más de dos muestras o grupos de muestras en el mismo planteamiento. Se basa en comparar los valores en función de la varianza global de las muestras que se van a comparar [31].

2.4.2. Diseños factoriales

Los diseños factoriales se emplean en experimentos con dos o más factores, ya que generalmente son los más eficientes. Este tipo de diseño implica investigar todas las combinaciones posibles entre los niveles de cada factor.

2.4.3. Diseños anidados

Similar al diseño factorial debido a los factores que puede analizar, a diferencia de que algunos de ellos tienen niveles similares a otros o cuando no se puede realizar combinaciones entre todos los niveles de un factor con los de otros factores que se están estudiando. Un factor está anidado en otro cuando cada nivel de este aparenta estar similar a un único nivel del otro.

2.4.4. Superficies de respuesta

Este diseño se utiliza cuando la respuesta de interés en un problema está influenciada por diversas variables. El objetivo principal es optimizar la respuesta y determinar el modelo matemático que mejor se ajuste a los datos obtenidos [31].

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Enfoque y tipo de investigación

3.1.1. Enfoque

La presente investigación contiene un enfoque cuantitativo y experimental adecuado para investigaciones que buscan establecer relaciones de causalidad entre variables bajo ciertas condiciones específicas.

En este trabajo se manipularán variables independientes, como el tipo de escama de pescado (tilapia y trucha), la temperatura (20 °C y 60 °C) y la relación solvente (agua: escama) de 90:10 y 98:02, para observar su impacto en la variable dependiente como el porcentaje de rendimiento del colágeno obtenido. Este enfoque permite controlar las condiciones experimentales, lo que es fundamental para optimizar el proceso de extracción de colágeno.

3.1.2. Tipo de investigación

3.1.2.1. Investigación experimental

Este trabajo se basa dentro de la investigación experimental, ya que busca no solo comprender los principios teóricos detrás de la extracción de colágeno, sino también aplicar estos conocimientos para desarrollar un proceso adecuado, eficaz y replicable.

La investigación experimental se caracteriza por manipular de forma libre las variables independientes para analizar sus efectos sobre las variables dependientes que se hayan establecido con el objetivo de emplear los resultados en la solución de problemas prácticos. En este estudio, se busca desarrollar un proceso óptimo donde se pueda trabajar deliberadamente y de forma eficiente con las variables independientes (Tipo de escama, Temperatura, Relación solvente) y verificar sus resultados sobre la variable dependiente (% de Rendimiento) [33].

3.2. Métodos e instrumentos

3.2.1. Método de investigación

En este proyecto se empleará un diseño factorial 2^3 , donde se analizarán tres factores que pueden influir en la extracción de colágeno: el tipo de escama (tilapia y trucha), la temperatura (20 °C y 60 °C) y la relación solvente (98:02 y 90:10) (agua:escama).

3.2.2. Diseño factorial 2^3

En un diseño factorial 2^3 se consideran tres factores, A, B y C, cada uno con dos niveles. En este caso la representación geométrica de las ocho combinaciones de tratamientos puede hacerse con un cubo [34].

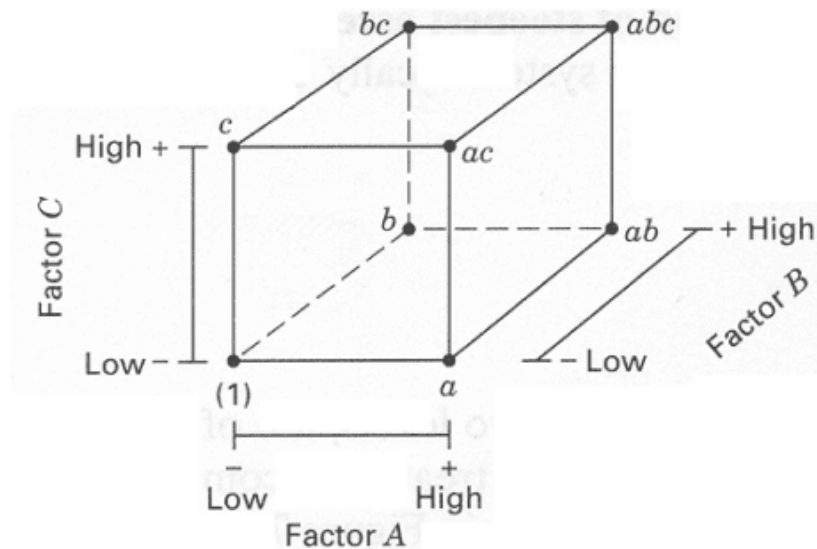


Figura 4. Representación geométrica del diseño factorial 2^3

Fuente: Adaptado de [34]

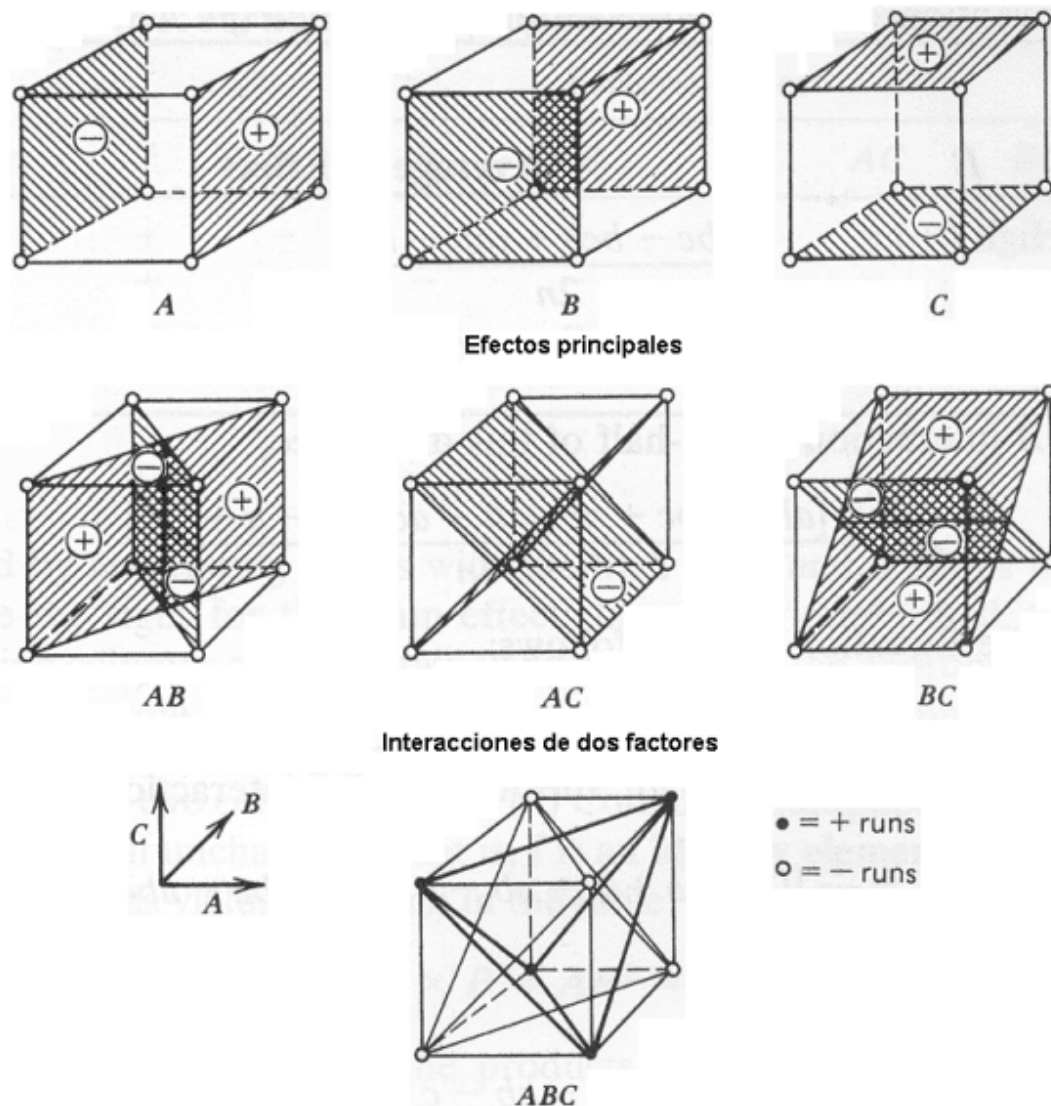


Figura 5. Representación de la interacción de los factores A, B y C

Fuente: Adaptado de [34]

De la misma forma se pueden usar la notación (+) y (-) para representar el nivel alto y bajo de cada factor. La notación para las intersecciones de los tratamientos se escribe como (1), a, b, ab, c, ac, bc y abc. Esta notación indica también el total de las n observaciones realizadas con las interacciones de los factores.

Existen tres notaciones distintas para los ensayos del diseño factorial 2^3 . En primer lugar, la notación geométrica (+) y (-). Segundo, para clasificar las intersecciones de los ensayos se utilizan marcas en letras minúsculas como se había explicado con anterioridad. En la última notación se utilizan los números 1 y 0 para clasificar los niveles alto y bajo en lugar de + y -. Estas notaciones se presentan para el diseño 2^3 a continuación:

Corrida	A	B	C	Etiquetas	A	B	C
1	-	-	-	(1)	0	0	0
2	+	-	-	a	1	0	0
3	-	+	-	b	0	1	0
4	+	+	-	ab	1	1	0
5	-	-	+	c	0	0	1
6	+	-	+	ac	1	0	1
7	-	+	+	bc	0	1	1
8	+	+	+	abc	1	1	1

Figura 6. Codificación de los factores del diseño factorial 2^3

Fuente: Adaptado de [30]

3.2.3. Diagrama de proceso de extracción de colágeno

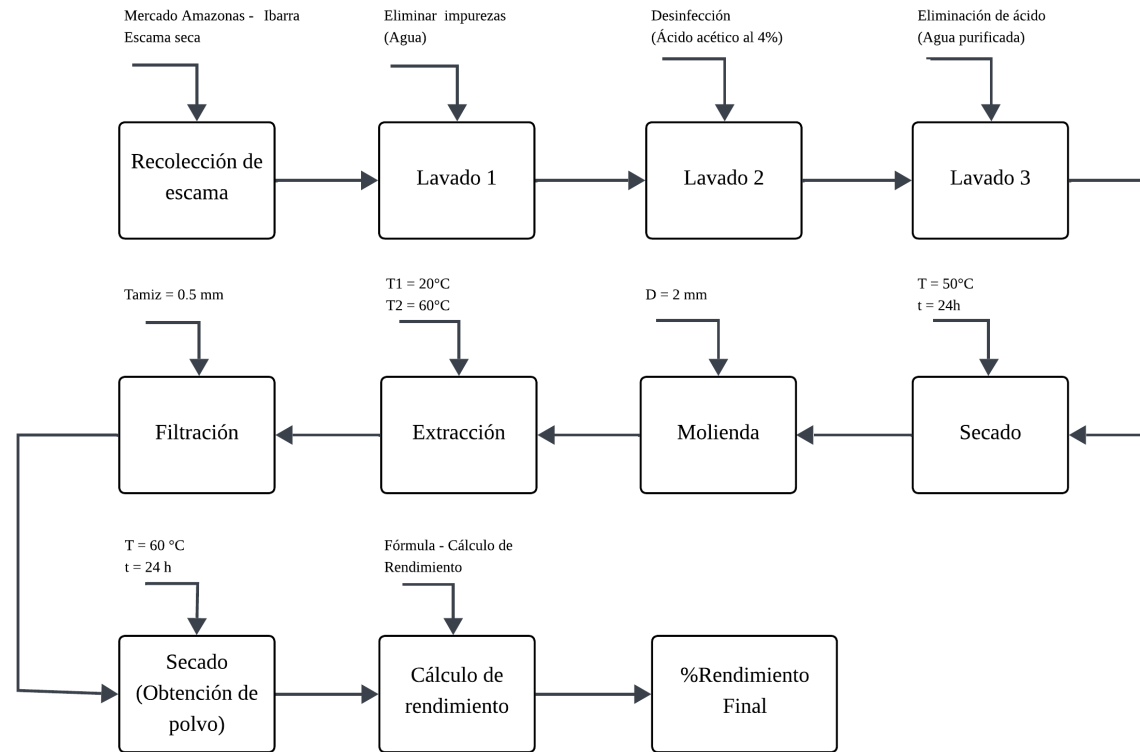


Figura 7. Proceso final para la obtención de colágeno

Fuente: Adaptado de [15]

3.2.4. Materiales e instrumentos para la obtención de colágeno

Tipo de pez: Tilapia y Trucha

1. Materiales y equipos

1.1. Materiales básicos

- Escamas secas frescas de pescado de Tilapia y Trucha, recolectadas en el Mercado Amazonas (Ibarra, Ecuador).
- **Clasificación por especie:** Las escamas se clasifican y almacenan por separado para evitar mezclas.

1.2. Reactivos

- Ácido acético al 4% para desinfección.
- Agua potable
- Agua purificada.

1.3. Instrumentos de laboratorio

- Molino ultra centrífugo SM300 (para molienda a 2 mm).
- Estufa Binder (secado).
- Estufa Memmert (obtención de polvo).
- Tamiz de 0.5 mm (separación post-extracción).
- Pipeta volumétrica (10 ml)
- Vaso de precipitación (250 ml)
- Cajas Petri de vidrio
- Balanza analítica Mettler Toledo ME204 (± 0.01 g).

2. Diseño experimental

2.1. Factores:

- **Temperatura de extracción:** 20 °C (ambiente) y 60 °C.
- **Relación solvente (agua:escama):** 98:02 y 90:10.
- **Especies:** Tilapia y Trucha.

Los factores y niveles seleccionados para el diseño experimental aplicado se realizaron tomando en cuenta la influencia directa que genera cada uno dentro del proceso de extracción de colágeno. La escama de pescado de tilapia y trucha se consideraron como factor debido a que las escamas de estas especies son ricas en colágeno, tienen mayor disponibilidad y facilitan su recolección.

La temperatura escogida para el proceso de extracción se consideró como factor debido al efecto sobre el proceso de extracción. Al trabajar con temperaturas bajas no afecta su estructura, mientras que al trabajar con temperaturas elevadas puede aumentar el rendimiento del proceso, siempre que se mantenga dentro de los rangos establecidos. Por tal motivo se seleccionaron las temperaturas de 20 °C y 60 °C, para analizar el comportamiento del colágeno bajo temperaturas bajas y altas.

La relación solvente utilizada en todo el proceso de extracción es considerada como un factor por la influencia entre el solvente y materia prima. Al trabajar con una mayor cantidad de solvente facilita la extracción de colágeno, mientras que un menor uso de solvente permite evaluar la eficiencia del proceso. Por lo tanto, se seleccionaron relaciones de 98:02 y 90:10 con la finalidad de analizar el efecto en el porcentaje de rendimiento de colágeno obtenido.

2.2. Muestras experimentales:

- 2 especies $\times$ 2 temperaturas $\times$ 2 relaciones = 8 grupos.
- Réplicas: 3 repeticiones por grupo (24 muestras en total).

3. Procedimiento detallado

3.1. Reserva de materia prima

Recolectar escamas frescas de pescado de tilapia y trucha secas en bolsas plásticas tipo ziploc.

3.2. Lavado

Lavado 1 (descontaminación de materia prima):

- Verter las escamas secas en agua potable (1:5 p/v) y agitar de forma manual.
- Filtrar con tamiz de 1 mm para retener escamas.

Lavado 2 (desinfección):

- Colocar en ácido acético al 4% (1:3 p/v) por 20 minutos.

Lavado 3 (eliminación de reactivo):

- Enjuagar 3 veces con agua purificada.

3.3. Secado

- Colocar escamas en bandejas de aluminio.
- Secar en horno Binder a $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h.

3.4. Molienda

- Moler escamas secas en molino de rotor TE – 615/2 a 1730 rpm.
- Tamizar para obtener muestras con diámetro de 2 mm.

3.5. Extracción Sólido-Líquido

Elaborar mezclas según la relación solvente:

- **Grupo A (98:02):** 9.8 g de agua + 0.2 g de escamas.
- **Grupo B (90:10):** 9 g de agua + 1 g de escamas.

Colocar las muestras a baño María a 20 °C y 60 °C por 3 h en horno Memmert.

3.6. Separación y filtración

Filtrar en caliente con un tamiz de 0.5 mm para separar desechos sobrantes del líquido obtenido.

3.7. Secado para obtención de polvo

- Vaciar el colágeno líquido en cajas Petri de vidrio.
- Secar en horno Binder a 60 °C por 24 h hasta obtener polvo seco.
- Retirar manualmente el polvo obtenido.

3.8. Cálculo de rendimiento

- **Fórmula:**

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del polvo seco (g)}}{\text{Peso inicial de escamas secas (g)}} \times 100$$

4. Consideraciones clave

- **Réplicas:** Realizar triplicados para garantizar reproducibilidad.

3.2.5. Diagrama de flujo del diseño experimental

Tipo de escama: Tilapia (E1) y Trucha (E2)

Temperatura: 20 °C (T1) y 60 °C (T2)

Relación Solvente (agua:escama): 98:02 (RS 1) y 90:10 (RS 2)

Réplica 1 (R1), Réplica 2 (R2) y Réplica 3 (R3)

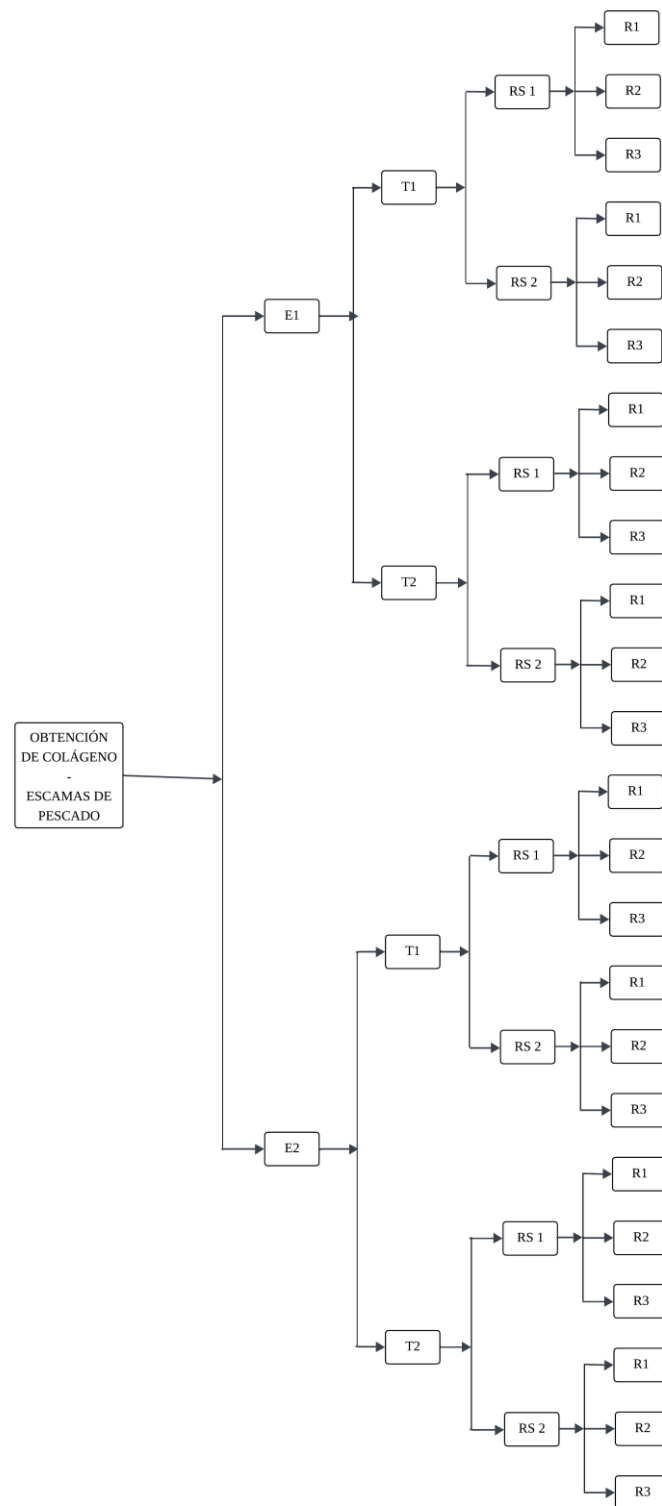


Figura 8. Diagrama de flujo para la realización de experimentaciones

Fuente: Elaborado por: Autor

3.2.6. Niveles y factores

Tabla II. Niveles y factores

Factor	Nivel (-)	Nivel (+)
A: Tipo de escama	Tilapia (-)	Trucha (+)
B: Temperatura	20 °C (-)	60 °C (+)
C: Relación solvente	98:02 (-)	90:10 (+)

Fuente: Elaborado por: Autor

3.2.7. Matriz del diseño del experimento

Tabla III. Matriz de resultados con réplicas

Ensayo	A (Tipo de escama)	B (Temperat ura)	C (Relación solvente)	Réplica 1 (%Rendimiento)	Réplica 2 (%Rendimiento)	Réplica 3 (%Rendimiento)
1	(Tilapia)	(20 °C)	(98:02)			
2	(Trucha)	(20 °C)	(98:02)			
3	(Tilapia)	(60 °C)	(98:02)			
4	(Trucha)	(60 °C)	(98:02)			
5	(Tilapia)	(20 °C)	(90:10)			
6	(Trucha)	(20 °C)	(90:10)			
7	(Tilapia)	(60 °C)	(90:10)			
8	(Trucha)	(60 °C)	(90:10)			

Fuente: Elaborado por: Autor

3.2.8. Polvo seco obtenido de las escamas

Tabla IV. Resultados en polvo Tilapia

TILAPIA			
Temperatura	Relación Solvente	Muestra	Polvo Obtenido
20 °C	98:02	1	0.0227 g
		2	0.0256 g
		3	0.0226 g
	90:10	1	0.1722 g
		2	0.1552 g
		3	0.1535 g
60 °C	98:02	1	0.0063 g
		2	0.0157 g
		3	0.0124 g
	90:10	1	0.0913 g
		2	0.1909 g
		3	0.1046 g

Fuente: Elaborado por: Autor

Los resultados reflejados en esta tabla son producto de las experimentaciones realizadas con las escamas de tilapia al ser procesada conjunto a los demás factores y sus variables, cada experimentación fue realizada tres veces para tener mayor validación.

Tabla V. Resultados en polvo Trucha

TRUCHA			
Temperatura	Relación Solvente	Muestra	Polvo Obtenido
20 °C	98:02	1	0.0260 g
		2	0.0255 g
		3	0.0180 g
	90:10	1	0.1753 g
		2	0.1519 g
		3	0.1910 g
60 °C	98:02	1	0.0423 g
		2	0.0276 g
		3	0.0350 g
	90:10	1	0.1874 g
		2	0.1442 g
		3	0.1658 g

Fuente: Elaborado por: Autor

Los resultados reflejados en esta tabla son producto de las experimentaciones realizadas con las escamas de trucha al ser procesada conjunto a los demás factores y sus variables, cada experimentación fue realizada tres veces para tener mayor validación.

3.2.9. Porcentaje de rendimiento final obtenido

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del polvo seco (g)}}{\text{Peso inicial de escamas secas (g)}} \times 100 \quad (1)$$

Tabla VI. Rendimiento total por réplicas

Ensayo	A (Tipo de escama)	B (Temperatura)	C (Relación solvente)	Réplica 1 (%Rendimiento)	Réplica 2 (%Rendimiento)	Réplica 3 (%Rendimiento)
1	(Tilapia)	(20 °C)	(98:02)	11.35%	12.80%	11.30%
2	(Trucha)	(20 °C)	(98:02)	13.2%	12.95%	9.2%
3	(Tilapia)	(60 °C)	(98:02)	3.15%	7.85%	6.2%
4	(Trucha)	(60 °C)	(98:02)	21.35%	14%	17.7%
5	(Tilapia)	(20 °C)	(90:10)	17.22%	15.52%	15.35%
6	(Trucha)	(20 °C)	(90:10)	17.73%	15.39%	19.3%
7	(Tilapia)	(60 °C)	(90:10)	18.47%	14.42%	16.58%
8	(Trucha)	(60 °C)	(90:10)	9.33%	19.29%	10.66%

Fuente: Elaborado por: Autor

3.2.10. Análisis estadístico

1. Organización de datos y promedios

Tabla VII. Notación y promedio de datos

Ensayo	Notación	A (Tipo de escama)	B (Temperatura)	C (Relación solvente)	Réplica 1 (%Rendimiento)	Réplica 2 (%Rendimiento)	Réplica 3 (%Rendimiento)	$\bar{y}$
1	(1)	(Tilapia)	(20 °C)	(98:02)	11.35%	12.80%	11.30%	11.82%
2	A	(Trucha)	(20 °C)	(98:02)	13.2%	12.95%	9.2%	11.78%
3	B	(Tilapia)	(60 °C)	(98:02)	3.15%	7.85%	6.2%	5.73%
4	AB	(Trucha)	(60 °C)	(98:02)	21.35%	14%	17.7%	17.68%
5	C	(Tilapia)	(20 °C)	(90:10)	17.22%	15.52%	15.35%	16.03%
6	AC	(Trucha)	(20 °C)	(90:10)	17.73%	15.39%	19.3%	17.47%
7	BC	(Tilapia)	(60 °C)	(90:10)	18.47%	14.42%	16.58%	16.49%
8	ABC	(Trucha)	(60 °C)	(90:10)	9.33%	19.29%	10.66%	13.09%

Fuente: Elaborado por: Autor

En la presente tabla se ha sacado la media de cada ensayo realizado por triplicado para obtener el valor de $\bar{y}$.

2. Cálculo de efectos principales e interacciones

- **Formula**

$$\text{Efecto} = \frac{\text{Suma de } \bar{y} \text{ (nivel alto)} - \text{Suma de } \bar{y} \text{ (nivel bajo)}}{4} \quad (2)$$

Tabla VIII. Resultados del efecto por cada factor

Efecto	Cálculo	Resultado
A	$\frac{11.78+17.68+17.47+13.09}{4} - \frac{11.82+5.73+16.03+16.49}{4}$	2.49%
B	$\frac{5.73+17.68+16.49+13.09}{4} - \frac{11.82+11.78+16.03+17.47}{4}$	-1.03%
AB	$\frac{11.82+17.68+16.03+13.09}{4} - \frac{11.78+5.73+17.47+16.49}{4}$	1.79%
C	$\frac{16.03+17.47+16.49+13.09}{4} - \frac{11.82+11.78+5.73+17.68}{4}$	4.02%
AC	$\frac{11.82+5.73+17.47+13.09}{4} - \frac{11.78+17.68+16.03+16.49}{4}$	-3.47%
BC	$\frac{11.82+11.78+16.49+13.09}{4} - \frac{5.73+17.68+16.03+17.47}{4}$	-0.93%
ABC	$\frac{11.78+5.73+16.03+13.09}{4} - \frac{11.82+17.68+17.47+16.49}{4}$	-4.21%

Fuente: Elaborado por: Autor

Por cada factor e interacción se ha realizado el cálculo manual del efecto, con el propósito de identificar su influencia dentro del proceso experimental. En este caso el factor C representa mayor magnitud de efecto en comparación a los demás efectos evaluados. Un efecto con signo (+) representa aumento en el porcentaje de rendimiento y un efecto de signo (-) indica disminución. Estos resultados indican simplemente una tendencia y magnitud de los factores e interacciones, lo cual se analiza posteriormente con el análisis de varianza ANOVA.

3. Cálculo de suma de cuadrados para cada efecto (SC)

$$SC_{\text{Efecto}} = \frac{(\text{Efecto})^2 * r * 2^k}{2^k} = (\text{Efecto})^2 * r \quad (3)$$

Donde, $r = 3$ réplicas

Tabla IX. Efectos con mayor relevancia

Efecto	(E) ² *3	SC
A	(2.49) ² *3	18.59
B	(-1.03) ² *3	3.16
AB	(1.79) ² *3	9.61
C	(4.02) ² *3	48.42
AC	(-3.47) ² *3	36.12
BC	(-0.93) ² *3	2.59
ABC	(-4.21) ² *3	53.17

Fuente: Elaborado por: Autor

Los datos obtenidos en la suma de cuadrados (SC) se calcula a partir del cuadrado del efecto multiplicado por el número de réplicas realizadas. Esta tabla ayuda a identificar qué factores aportan más al modelo experimental. Un SC de mayor cantidad representa mayor aporte a la variación del rendimiento y un SC menor representa menor influencia.

4. Suma de cuadrados del modelo (SCM)

$$SC_{\text{Modelo}} = \sum SC_{\text{Efecto}} \quad (4)$$

$$SC_{\text{Modelo}} = 18.59 + 3.16 + 9.61 + 48.42 + 36.12 + 2.59 + 53.17$$

$$SC_{\text{Modelo}} = 171.67$$

5. Suma de cuadrados del error (SCE)

$$SCE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (5)$$

$$SCE = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

Tabla X. Suma de cuadrados del error por ensayo

Ensayo	Notación	SCE individual
1	(1)	1.45
2	A	10.04
3	B	11.37
4	AB	27.01
5	C	2.14
6	AC	7.74
7	BC	8.21
8	ABC	58.48
Σ_{SCE}		126.45

Fuente: Elaborado por: Autor

Estos resultados indican qué tanto varían las réplicas entre sí para cada ensayo realizado. Por cada ensayo se compara cada réplica con el promedio del ensayo, se calcula la variación entre réplicas, dicha variación es representada como SCE. Una SCE alta representa una mayor variabilidad, mientras que una SCE baja representa unos resultados más consistentes.

6. Grados de libertad (GL)

$$GL_{\text{Factor e interacciones}} = (\text{número de ensayos}) - 1 \quad (6)$$

$$GL_{\text{Factor e interacciones}} = 8 - 1 = 7$$

$$GL_{\text{Total}} = n * r - 1 \quad (7)$$

n = número de observaciones

r = réplicas realizadas

$$GL_{\text{Total}} = (8 * 3) - 1$$

$$GL_{\text{Total}} = 23$$

GL_{Modelo} = 7 clasificados en (A, B, C, AB, AC, BC, ABC)

$$GL_{\text{Error}} = GL_{\text{Total}} - GL_{\text{Modelo}}$$

$$GL_{\text{Error}} = 23 - 7 = 16$$

7. Cálculo cuadrado medios (CM)

$$CM = \frac{SC}{GL} \quad (8)$$

$$CM_{\text{Modelo}} = \frac{SC_{\text{Modelo}}}{GL_{\text{Modelo}}} = \frac{168.82}{7} = 24.12$$

$$CM_{\text{Error}} = \frac{SCE}{GL_{\text{Error}}} = \frac{126.45}{16} = 34.5$$

8. Cálculo de F por factor (F)

H₀: No hay interacción relevante entre el tipo de escama, la temperatura y la relación solvente en el rendimiento del colágeno obtenido.

H₁: Existe una interacción relevante entre el tipo de escama, la temperatura y la relación solvente en el rendimiento del colágeno obtenido.

$$CM=F_{\text{Efecto}}=\left(\frac{SC_{\text{Efecto}}}{CM_{\text{Error}}}\right)^2 \quad (9)$$

Nivel de confianza (α) = 0.05 (95% confianza)

GL_{Efecto} = 1

GL_{Error} = 16

$$F_{\text{Crítico}} = F_{1,16;\alpha=0.05}$$

$$F_{\text{Crítico}} \approx 4.49$$

Si $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Crítico}}$ entonces el efecto es significativo

Tabla XI. Resultados finales

Efecto	SC	GL	CM	Valor F	Valor - p	Significancia $\alpha = 0.05$
A	18.54	1	15.74	4.70	0.046	Significativo
B	3.16	1	3.16	0.80	0.365	No significativo
AB	9.61	1	48.42	2.43	0.139	No significativo
C	48.42	1	9.61	12.25	0.003	Significativo
AC	36.12	1	36.12	9.14	0.008	Significativo
BC	2.59	1	2.59	0.66	0.428	No significativo
ABC	53.17	1	53.17	13.46	0.002	Significativo
Error	126.45	16	7.90	-		
Total	298.12	23	-	-		

Fuente: Elaborado por: Autor

Esta tabla se estableció a partir de los resultados obtenidos con anterioridad. Posteriormente, los valores de (Valor-p) se obtuvieron a través del uso de herramientas estadísticas. Con todo este procedimiento se permitió evaluar la significancia de cada efecto e interacción.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se dan a conocer los resultados obtenidos mediante las experimentaciones realizadas al aplicar un diseño factorial 2^3 por triplicado empleado al proceso de extracción de colágeno a partir de las escamas de pescado. Dichos resultados pertenecen a las diferentes combinaciones de los factores y niveles evaluados dentro del proceso de experimental.

Mediante el análisis estadístico aplicado se busca identificar la influencia de los factores de manera individual, así como el efecto de sus interacciones, con el objetivo de verificar la combinación que genera el mayor porcentaje de rendimiento de colágeno.

Los datos experimentales fueron analizados a través de herramientas estadísticas como lo es el análisis de varianza (ANOVA), con la finalidad de evaluar los factores e interacciones que mayor influencia tienen sobre el rendimiento del colágeno, tomando en cuenta el valor de significancia.

4.1. Resultados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0.13763	0.00574	23.98	0.000	
A	0.02491	0.01245	0.00574	2.17	0.045	1.00
B	-0.01026	-0.00513	0.00574	-0.89	0.385	1.00
C	0.04017	0.02009	0.00574	3.50	0.003	1.00
A*B	0.01786	0.00893	0.00574	1.56	0.139	1.00
A*C	-0.03467	-0.01734	0.00574	-3.02	0.008	1.00
B*C	-0.00934	-0.00467	0.00574	-0.81	0.428	1.00
A*B*C	-0.04206	-0.02103	0.00574	-3.66	0.002	1.00

Figura 9. Coeficientes codificados

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	343.028	49.004	6.20	0.001
Lineal	3	140.381	46.794	5.92	0.006
Tipo de Escama	1	37.226	37.226	4.71	0.045
Temperatura	1	6.314	6.314	0.80	0.385
Relación Solvente	1	96.842	96.842	12.25	0.003
Interacciones de 2 términos	3	96.513	32.171	4.07	0.025
Tipo de Escama*Temperatura	1	19.135	19.135	2.42	0.139
Tipo de Escama*Relación Solvente	1	72.141	72.141	9.13	0.008
Temperatura*Relación Solvente	1	5.236	5.236	0.66	0.428
Interacciones de 3 términos	1	106.134	106.134	13.43	0.002
Tipo de Escama*Temperatura*Relación Solvente	1	106.134	106.134	13.43	0.002
Error	16	126.454	7.903		
Total	23	469.482			

Figura 10. *Análisis de varianza*

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

Ecuación de regresión en unidades codificadas

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (10)$$

A = -1 (Tilapia), **A** = +1 (Trucha)

B = -1 (20 °C), **B** = +1 (60 °C)

C = -1 (98:08), **C** = +1 (90:10)

Para el **ensayo 4** (17.68 % de rendimiento)

A = +1 (Trucha)

B = +1 (60 °C)

C = -1 (98:02)

Tabla XII. Variables ecuación de regresión

Variables		
y	y	%Rendimiento
X ₁	A	Tipo de escama
X ₂	B	Temperatura
X ₃	C	Relación solvente
β ₀	b ₀	Constante
β ₁	b ₁	Cof. para A
β ₂	b ₂	Cof. para B
β ₃	b ₃	Cof. para C

Fuente: Elaborado por: Autor

Para la aplicación de la formula (10) se estableció cada una de las variables empleadas, indicando su símbolo y significado.

$$\begin{aligned} \%Rendimiento = & 0.13763 + 0.01245 A - 0.00513 B + 0.02009 C + 0.00893 A*B - 0.01734 A*C \\ & - 0.00467 B*C - 0.02103 A*B*C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Rendimiento = & 0.13763 + 0.01245 (1) - 0.00513 (1) + 0.02009 (-1) + 0.00893 (1*1) - 0.01734 (1*-1) \\ & - 0.00467 (1*-1) - 0.02103 (1*1*-1) \end{aligned}$$

$$\%Rendimiento = 0.13763 + 0.01245 - 0.00513 - 0.02009 + 0.00893 + 0.01734 + 0.00467 + 0.02103$$

$$\%Rendimiento = 0.17683 \approx 17.68 \%$$

Factor 1 (Tipo de Escama): El valor obtenido (P-Value) es menor de 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula, es decir el Tipo de Escama tiene efectos relevantes en el % de Rendimiento del colágeno obtenido.

Factor 2 (Temperatura): (P-Value) es mayor que 0.05, por consiguiente no se puede rechazar la hipótesis nula y se identifica que el factor de la temperatura no genera un impacto significativo en la obtención del % de Rendimiento del colágeno obtenido.

Factor 3 (Relación Solvente): El resultado obtenido (P-Value) es menor de 0.05, se rechaza la hipótesis nula y por ende, el Tipo de Escama tiene efectos relevantes en el % de Rendimiento del colágeno obtenido.

Interacción 1 (Tipo de Escama y Temperatura): (P-Value) es mayor de 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, esto indica que no existe un efecto significativo entre dicha interacción.

Interacción 2 (Tipo de Escama y Relación Solvente): El valor obtenido (P-Value) es menor de 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula. Como resultado la interacción entre el Tipo de Escama y la Relación Solvente tiene efectos relevantes en el % de Rendimiento del colágeno obtenido.

Interacción 3 (Temperatura y Relación Solvente): (P-Value) es mayor de 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula, en consecuencia esto indica que no existe un efecto significativo entre dicha interacción.

Interacción 4 (Tipo de Escama – Temperatura – Relación Solvente): El valor obtenido (P-Value) es menor de 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula. Por ende, la interacción entre los tres factores tiene efectos relevantes en el % de Rendimiento del colágeno obtenido.

4.2. Análisis

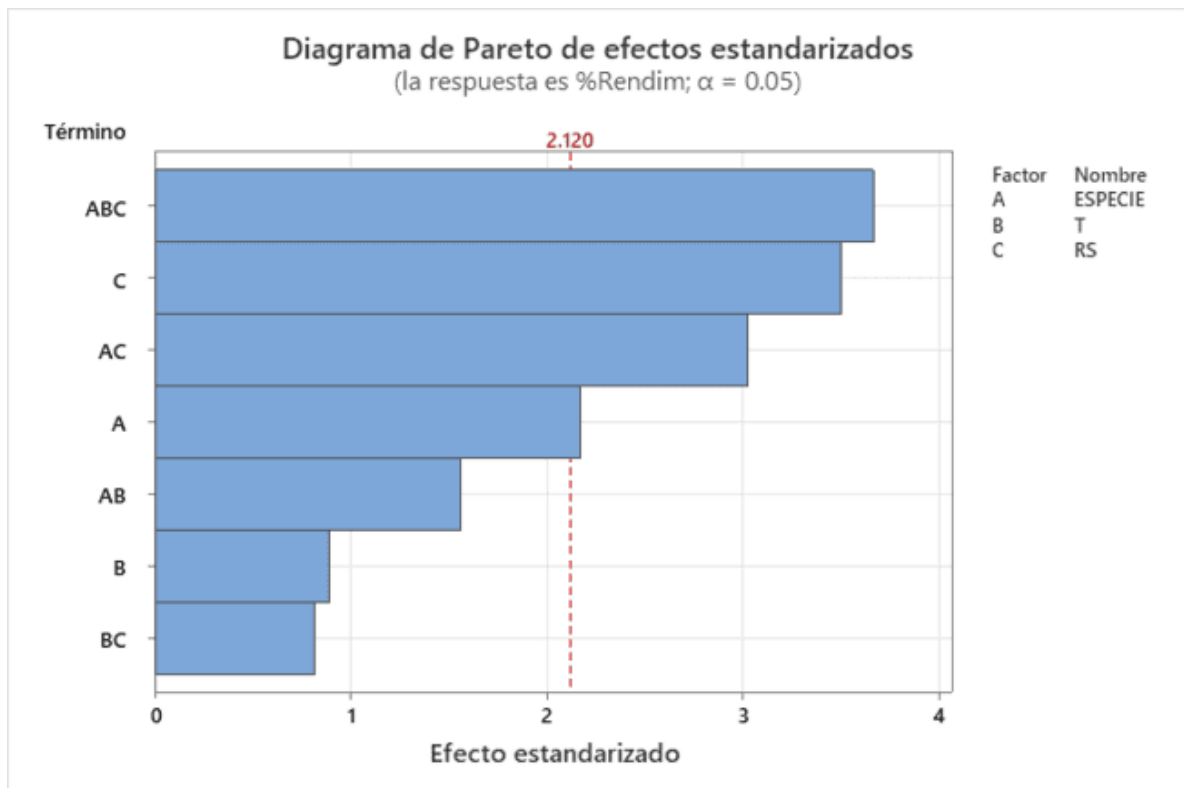


Figura 11. *Efectos estandarizados*

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

Se identifica que los factores como el Tipo de Escama y la Relación Solvente tienen efectos significativos en el % de Rendimiento de colágeno obtenido. De igual forma, la interacción entre estos dos factores tiene un efecto muy relevante de acuerdo con su representación gráfica. Además, se puede observar que la interacción entre los tres factores utilizados genera un aporte significativo en el proceso del cálculo del % de rendimiento del colágeno obtenido.

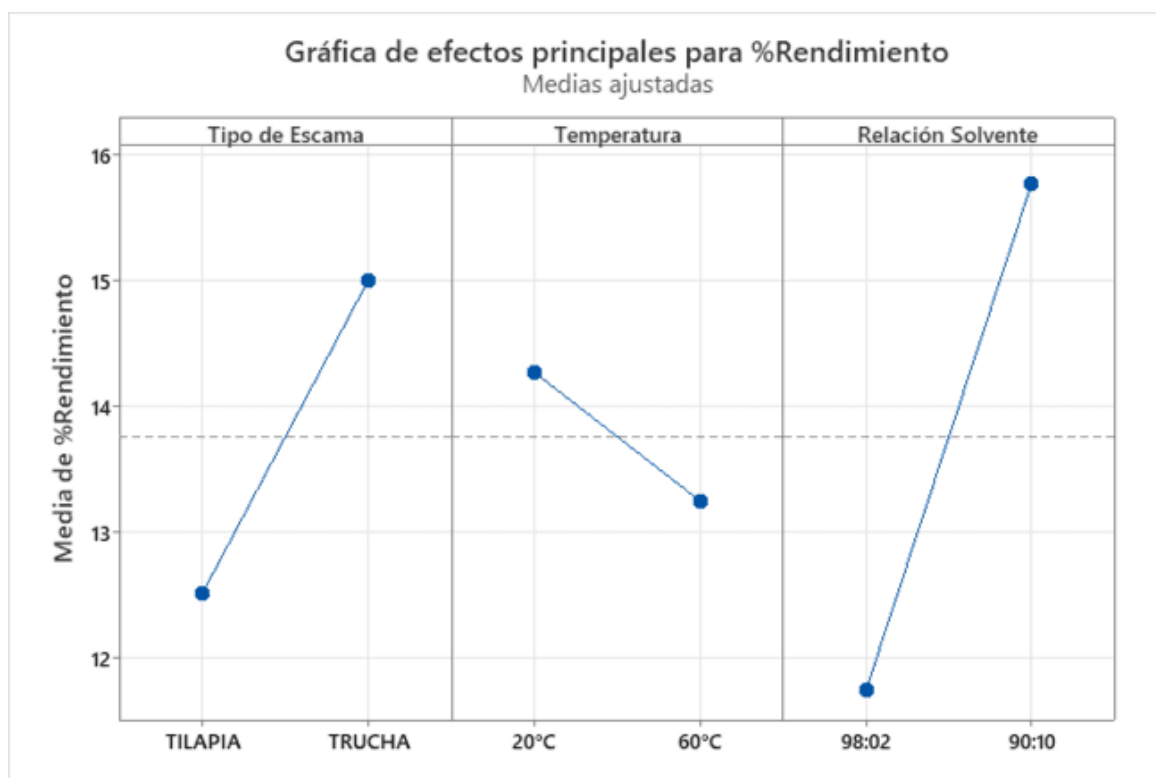


Figura 12. *Efectos individuales por factor*

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

En esta grafica se interpretan el comportamiento de los factores de manera individual. Para el primer factor que es el tipo de escama, se identifica que tiene un efecto significativo sobre el porcentaje de rendimiento.

El porcentaje de rendimiento es mucho mayor cuando se utiliza escama de trucha, (aproximadamente un 15%) a comparación de la escama de tilapia (aproximadamente 1.5%).

La temperatura tiene un efecto decreciente en el porcentaje de rendimiento ya que, va disminuyendo a medida que aumenta la temperatura, de este modo se obtiene mayor rendimiento a 20 °C que a 60 °C.

La relación solvente tiene un efecto significativo en el porcentaje de rendimiento, además se identifica una gran diferencia entre los dos niveles. La relación 90:10 produce

un mayor porcentaje de rendimiento, mientras que las relación 98:02 produce el rendimiento más bajo en la experimentación realizada.

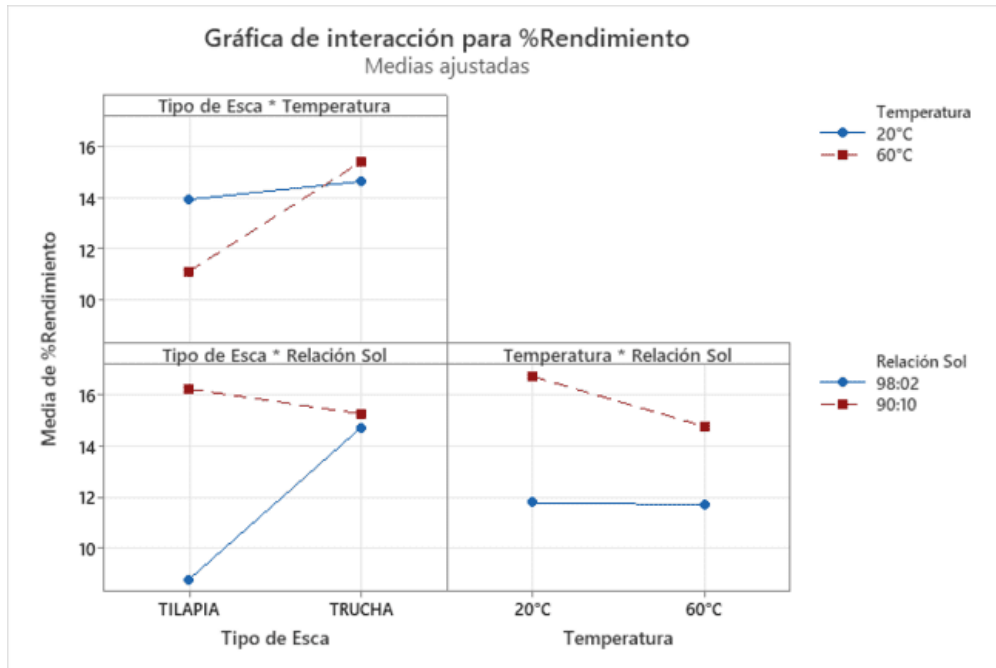


Figura 13. *Interacciones*

Fuente: Elaborado por: Autor

De acuerdo con la representación gráfica se puede identificar cada una de las interacciones entre los factores utilizados en las experimentaciones.

La interacción entre el tipo de escama y temperatura es baja, al cambiar la temperatura el efecto será el mismo para tilapia como para trucha.

Para la interacción del tipo de escama y relación solvente existe una interacción relevante y significativa. Al usar una relación solvente 98:02, la escama de trucha tiene mejor rendimiento que la de tilapia. Pero, al trabajar con un relación solvente 90:10 el rendimiento para los dos tipos de escama es un poco similar, incluso un poco más favorable para la escama de tilapia.

Con respecto a la interacción entre la temperatura y relación solvente se puede identificar que existe una interacción fuerte. Con la relación solvente 98:02 la temperatura tiene un efecto bajo sobre el rendimiento. Con una relación 90:10 la temperatura tiene un efecto más significativo, ya que el rendimiento es mayor a una temperatura de 20 °C que a 60 °C.

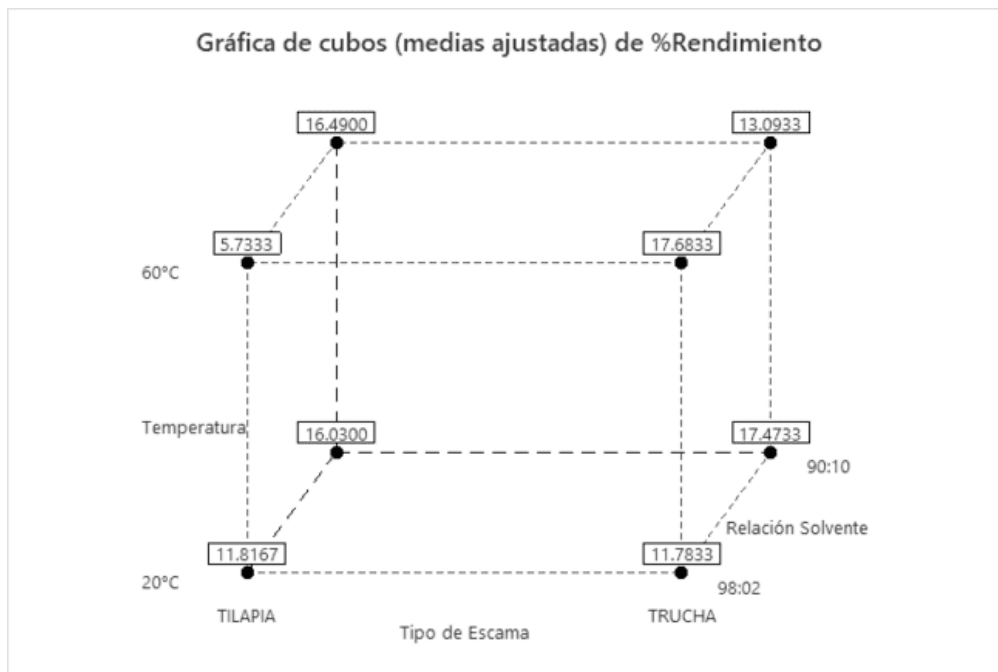


Figura 14. Gráfica de cubo

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

En la gráfica de cubo el valor optimizado o valor máximo es de 17.6833, este valor representa el mayor % de rendimiento de colágeno que se obtiene con la combinación de los tres factores utilizados. Para obtener este valor se debe tener en cuenta que los factores de tipo de escama y temperatura deben ser de codificación (+1) y la relación solvente debe ser de codificación (-1). De esta forma se obtendrá el valor máximo del % de rendimiento de colágeno obtenido.

Supuestos acerca del modelo estadístico

Independencia: Los resultados de los residuos obtenidos deben ser independientes entre sí.

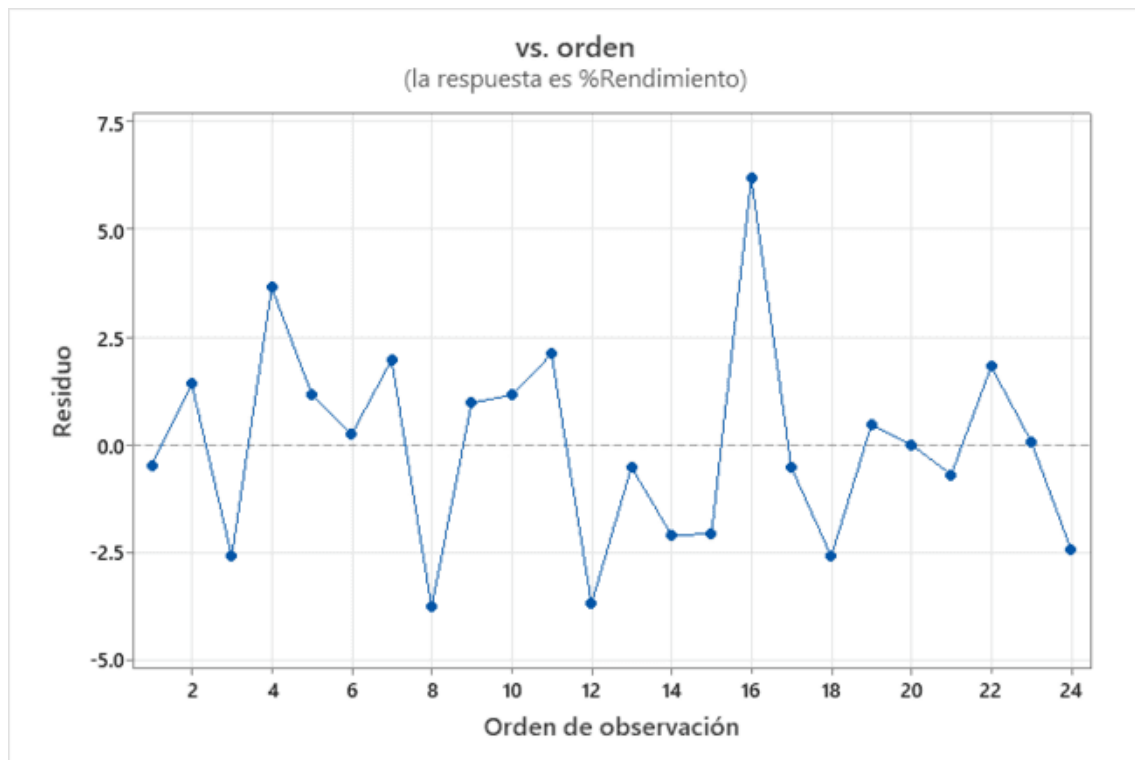


Figura 15. Residuos vs. Orden de observación.

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

Esta suposición se confirma con la gráfica obtenida, ya que se presenta una dispersión absoluta entre los datos.

Varianzas homogéneas: Asume que la varianza de los errores es decir los residuos del modelo estadístico deben ser constantes para todos los valores de los factores utilizados (variables independientes). En este diseño experimental se cumple este supuesto, ya que los valores de los residuos están distribuidos de forma aleatoria arriba y abajo del eje 0. Además, tiene una distribución similar en los dos niveles del factor (+1) y (-1) y no existe un patrón curvo ni acumulación en ninguno de los lados. De igual forma, los valores están cercanos del valor 0, lo cual indica un buen resultado.

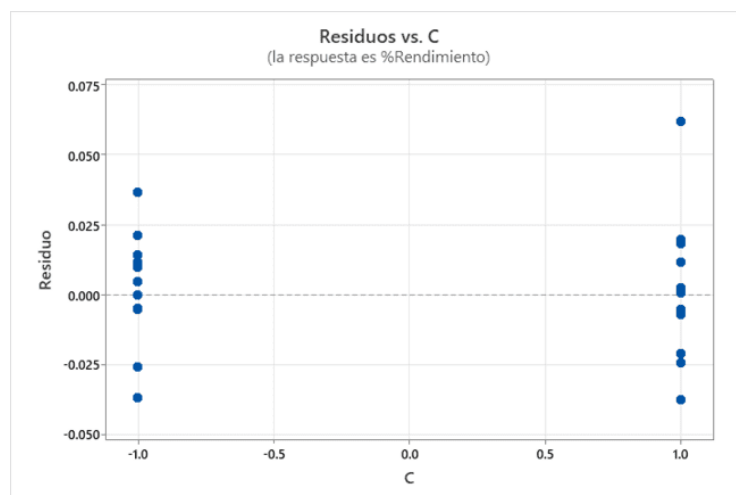
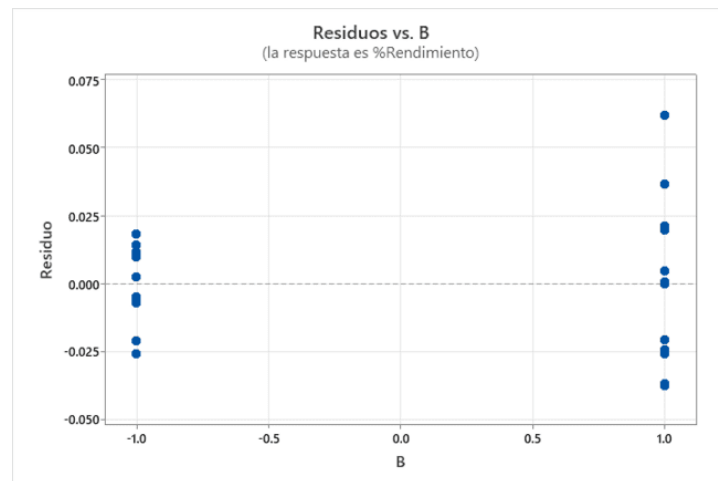
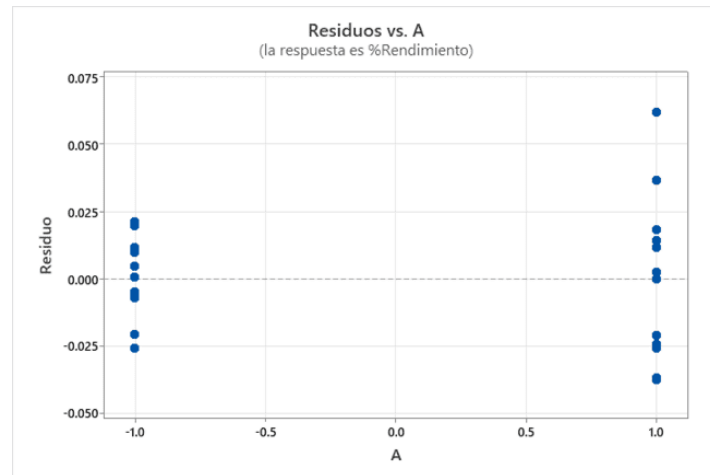


Figura 16. *Residuos vs Factores*

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

Normalidad: Asume que los valores de los residuos del diseño experimental siguen una distribución normal. Es decir, que la distribución entre los valores observados (valores de los experimentos realizados) y valores ajustados (valores predichos por el modelo) siguen una curva con forma de campana.

En este diseño experimental realizado se cumple este supuesto de normalidad ya que, los valores de los residuos siguen una distribución prácticamente normal porque la mayor parte de puntos graficados se encuentran cercanamente a la línea de referencia. Aunque existen algunos puntos con desviaciones en los extremos de la línea referente, estos valores no son lo suficientes relevantes para anular el supuesto de normalidad.

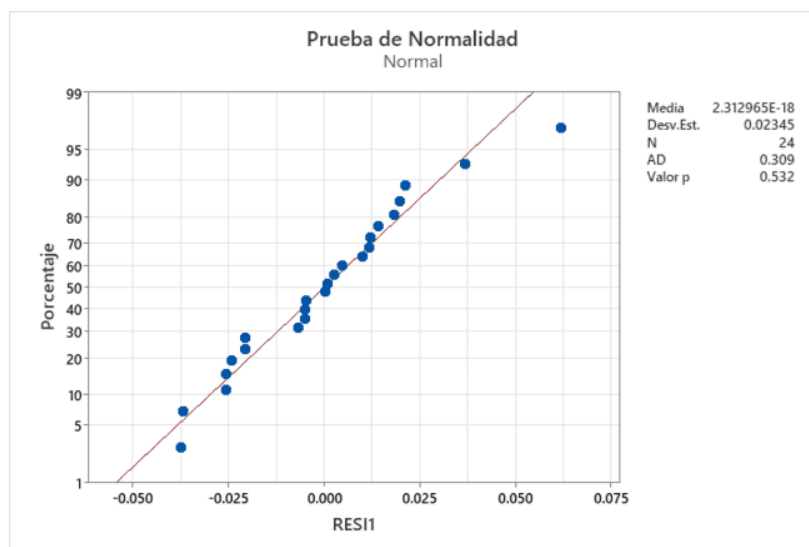


Figura 17. Prueba de normalidad

Fuente: Elaboración propia mediante software Minitab

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A través de una revisión bibliográfica sobre investigaciones relacionadas se identificó que las escamas de tilapia y trucha son las más utilizadas en la obtención de colágeno debido a su disponibilidad y propiedades. Sin embargo, en esta investigación se demostró que las escamas de trucha aportan un mayor rendimiento durante el proceso de extracción de colágeno en comparación con las de tilapia. Por ende, se comprueba que la escama de trucha es la más apropiada para la extracción de colágeno resaltando por su eficiencia y calidad.

En este estudio, se evaluó el efecto de la temperatura en el proceso de obtención de colágeno a partir de escamas de pescado. A pesar de que el análisis ANOVA señaló que la temperatura no es un factor significativo ($p > 0.05$) en el proceso se identificó que el valor máximo de rendimiento de colágeno se obtuvo con la temperatura de 60 °C, esta temperatura se encuentra dentro del rango de temperaturas acordes para este tipo de procesos (20 °C–70 °C). Por tal razón trabajar con este aproximado de temperatura ayuda a conservar las propiedades y se mantiene la calidad del producto final.

Los resultados a través de las experimentaciones indican que la eficiencia en la extracción de colágeno depende significativamente de la relación solvente que se utilice. El análisis estadístico demostró que un 98% de la mezcla total es de agua y el otro 2% restante es de escama. Por ende, al reducir la cantidad de escama mientras se incrementa la cantidad de agua permite tener un mejor aprovechamiento de materia prima y un mayor porcentaje de rendimiento. Como resultado, con todo el análisis estadístico realizado se obtuvo que para tener un máximo porcentaje de rendimiento de colágeno se debe trabajar con escamas de trucha a una temperatura de 60 °C y una relación solvente de 98:02.

5.2. Recomendaciones

Para maximizar el rendimiento y la calidad del colágeno extraído se recomienda utilizar escamas de trucha como materia prima en el proceso de obtención de colágeno gracias a su mayor % de rendimiento a diferencia de otras especies como la tilapia.

Para futuras investigaciones es recomendable realizar más réplicas por ensayo para fortalecer la validez estadística de los resultados y disminuir el error experimental.

Se sugiere experimentar con escamas de otros peces tomando en cuenta factores como el tamaño, edad y origen de las especies para determinar si los mismos influyen de manera significativa en el porcentaje de rendimiento.

Es aconsejable triturar las escamas antes de colocarlas en el molino para de esta manera mejorar la eficiencia del proceso de molienda.

Se recomienda comparar el porcentaje de rendimiento entre escamas previamente congeladas y escamas frescas. Con esto se podrá determinar si al almacenar previamente la materia prima afecta el proceso de extracción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Pazmiño, “La gestión eficaz de los residuos pesqueros en el entorno de las buenas prácticas de la industria pesquera artesanal”, *Revista GICOS*, vol. 7, núm. 4, pp. 159–169, 2022, doi: 10.53766/GICOS/2022.07.04.10.
- [2] G. Del Carmen Jiménez Gómez, L. Mar-Tínez, L. ; Marcos, y M. Valenzuela, “Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado”, 2022. Consultado: el 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes9no1vol1/1%20Categorizacion%20de%20residuos%20de%20pescado.pdf>
- [3] ITP, “Actualidad Tecnología Investigación Mercado Novedades del Sector”, 2020. Consultado: el 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/774097/Bolet%C3%ADn_Informativo_D002-2020.pdf
- [4] Sebastián Angulo, “Ecuador descendió a la posición 104 en el Índice Mundial de Innovación 2023”. Consultado: el 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://www.expreso.ec/actualidad/economia/ecuador-descendio-posicion-104-indice-mundial-innovacion-2023-174757.html>
- [5] Gabriela Coba, “Ecuador, uno de los países menos innovadores de Latinoamérica”. Consultado: el 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-menos-innovador-latinoamerica/>
- [6] Secretaria Nacional de Planificación, “Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado”, pp. 85–86, 2021.
- [7] “REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ORGÁNICA DE EMPRENDIMIENTO E INNOVACIÓN”, 2020. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec

- [8] M. Herrera, R. Castro, D. Coello, I. Saa, y E. Elías, “PUERTOS CALETAS Y ASENTAMIENTOS PESQUEROS ARTESANALES EN LA COSTA CONTINENTAL DEL ECUADOR PORTS, COVES AND ARTISANAL FISHING SETTLEMENTS ON THE MAINLAND COAST OF ECUADOR”.
- [9] A. E. Agueda Massa Emilio A Manca Andrea Yamila Mansilla Julieta R Mendieta Claudia A Casalongué y U. Ejecutora, “INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Hidrolizados proteicos de pescado a partir de residuos de la industria pesquera con potencialidad en Biotecnología”.
- [10] Teresa Figueres, “Colágeno tisular y consecuencias de su pérdida - Revista Acofarma”. Consultado: el 14 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://revistaacofarma.com/articulos/nutricion/colageno-tisular-y-consecuencias-de-su-perdida/>
- [11] María Fernanda Bastidas, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS DE COLÁGENO A PARTIR DE LAS ESCAMAS DE PESCADO RECOGIDAS EN RIOBAMBA”, 2022.
- [12] Carla Flores, “EXTRACCIÓN DE COLÁGENO DE LAS ESCAMAS DE PESCADO UTILIZANDO DIFERENTES NIVELES DE RENNINA”, 2017, Consultado: el 14 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7774/1/27T0374.pdf>
- [13] A. Das, Y. Nayak, y S. Dash, “Fish protein hydrolysate production, treatment methods and current potential uses: A review”, *Int J Fish Aquat Stud*, vol. 9, núm. 2, pp. 195–200, mar. 2021, doi: 10.22271/fish.2021.v9.i2c.2452.
- [14] S. Farooq *et al.*, “A review on marine collagen: sources, extraction methods, colloids properties, and food applications”, el 1 de diciembre de 2024, *Springer*. doi: 10.1186/s42825-024-00152-y.
- [15] C. D. Ramos Collaguazo, “Obtención y caracterización de colágeno a partir de las escamas de pescados rojo y pardo”, 2018, *Quito: UCE*. Consultado: el 14 de mayo

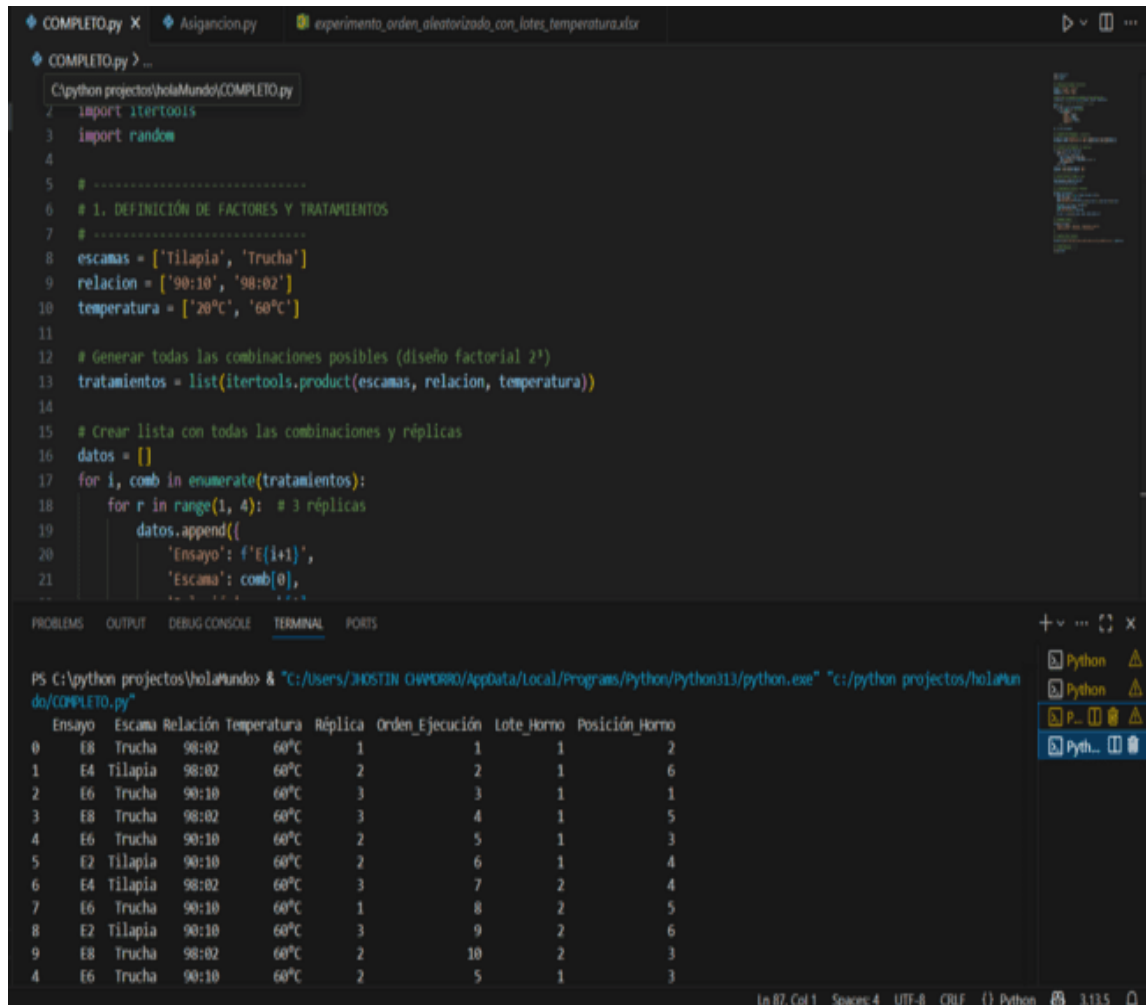
- de 2025. [En línea]. Disponible en:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17289>
- [16] S. Elizabeth, L. Sampedro, M. A. Hidalgo, y M. Almeida Hidalgo, “Obtención de colágeno de escamas hidrolizado con rennina”, *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)*, ISSN-e 2254-7630, N°. 6, 2018, núm. 6, p. 86, 2018, Consultado: el 14 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9736756&info=resumen&idioma=ENG>
- [17] F. Rodriguez, L. Morán, G. González, E. Troncoso, y R. N. Zúñiga, “Physicochemical characterization of pepsin-soluble collagen extracted from the byssus of Chilean mussels (*Mytilus Chilensis*)”, *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, núm. 10, pp. 53–60, 2014, Consultado: el 14 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/352>
- [18] A. C. Rodríguez Aranda, R. López Villaseñor, C. A. Ramírez Barragán, y J. A. Andrade Ortega, “Propuesta para extracción de colágeno soluble en ácido (CSA) de escamas de tilapia del Nilo”, *Journal CIM*, vol. 5, núm. 2, 2011.
- [19] Jimmy Anastacio, “La pesca es una de las tres industrias que aportaron de forma positiva al crecimiento de la economía nacional en el primer trimestre 2021 | CNP - Ecuador”. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://camaradepesqueria.ec/la-pesca-es-una-de-las-tres-industrias-que-aporaron-de-forma-positiva-al-crecimiento-de-la-economia-nacional-en-el-primer-trimestre-2021/>
- [20] El Universo, “Pesca: después de casi cinco años, Ecuador espera salir de la tarjeta amarilla en septiembre del 2024 | Economía | Noticias | El Universo”. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://www.eluniverso.com/noticias/economia/pesca-ecuador-tarjeta-amarilla-union-europea-nota/>

- [21] “Producción y comercialización de truchas para el mercado de Ibarra”. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos95/produccion-y-comercializacion-truchas-mercado-ibarra/produccion-y-comercializacion-truchas-mercado-ibarra>
- [22] “FAO - *Oreochromis niloticus*”. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm
- [23] “FAO - *Oncorhynchus mykiss*”. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es_rainbowtrout.htm
- [24] D. Mauricio, T. Castillo, y J. A. Sánchez Gómez, “Gelatina de escama de pescado”, 2020. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://backend.uniagustiniana.edu.co/server/api/core/bitstreams/a56b8ee7-de11-4b77-b56c-0c8544a3c728/content>
- [25] David Rico Altamirano, “UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA”, 2022. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/RepoFi/17831/Tesina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] Pamela. Schoenfeld y Julia. Fernández Treviño, “Colágeno : rejuvenece tu piel, fortalece las articulaciones, y siéntete más joven gracias a la dieta que aumenta la producción y el consumo de colágeno.”, 2018.
- [27] Myriam Pilar Tenelema Buñay, “OBTENCIÓN DE COLAGENO DE LAS PATAS DE POLLO CON LA APLICACIÓN DE NIVELES DE 2, 4, 6% DE PEPSINA”, 2019. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7786/1/27T0386.pdf>

- [28] COLPROPUR, “Colágeno”. Consultado: el 20 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.colpropurdcollagen.com/colageno/>
- [29] S. Fernández, “DISEÑO DE EXPERIMENTOS: DISEÑO FACTORIAL”, jul. 2020. Consultado: el 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf
- [30] Xavier Christian Barzola Rosero, *DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS DE CONJUNTO*. 2021. Consultado: el 18 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://libros.ecotec.edu.ec/index.php/editorial/catalog/download/73/65/1037-1?inline=1>
- [31] A. A. Vásquez Ramírez, L. M. Guanuchi Orellana, R. Cahuana Tapia, R. Vera Teves, y J. Holgado Tisoc, *Métodos de investigación científica*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 2023. doi: 10.35622/inudi.b.094.
- [32] Carlos Enrique Alzate Madero, “Diseño de Experimentos Factorial para Evaluación de Hélices Propulsoras”, ene. 2006, Consultado: el 18 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/d2547271-4401-45e3-8e11-3ac3fa0442a3/content>

ANEXOS

Anexo 1: Aleatorización de ensayos



The screenshot shows a Python IDE with a script named `COMPLETO.py` and its output in the terminal. The script defines factors and treatments, generates combinations, and appends data to a list. The terminal output shows a table of trial data.

```
COMPLETO.py > ...
C:\python proyectos\holaMundo\COMPLETO.py
2 import itertools
3 import random
4
5 # .....
6 # 1. DEFINICIÓN DE FACTORES Y TRATAMIENTOS
7 # .....
8 escamas = ['Tilapia', 'Trucha']
9 relacion = ['90:10', '98:02']
10 temperatura = ['20°C', '60°C']
11
12 # Generar todas las combinaciones posibles (diseño factorial 2^3)
13 tratamientos = list(itertools.product(escamas, relacion, temperatura))
14
15 # Crear lista con todas las combinaciones y réplicas
16 datos = []
17 for i, comb in enumerate(tratamientos):
18     for r in range(1, 4): # 3 réplicas
19         datos.append({
20             'Ensayo': f'E{i+1}',
21             'Escama': comb[0],
22             'Relación': comb[1],
23             'Temperatura': comb[2],
24             'Replica': r,
25             'Orden_Ejecución': i+1,
26             'Lote_Horno': i+1,
27             'Posición_Horno': i+1
28         })
```

Terminal Output:

```
PS C:\python proyectos\holaMundo> & "C:/Users/INOSTIN-GWPCORRO/AppData/Local/Programs/Python/Python311/python.exe" "c:/python proyectos/holaMundo/COMPLETO.py"
Ensayo Escama Relación Temperatura Réplica Orden_Ejecución Lote_Horno Posición_Horno
0 E8 Trucha 98:02 60°C 1 1 1 2
1 E4 Tilapia 98:02 60°C 2 2 1 6
2 E6 Trucha 90:10 60°C 3 3 1 1
3 E8 Trucha 98:02 60°C 3 4 1 5
4 E6 Trucha 90:10 60°C 2 5 1 3
5 E2 Tilapia 90:10 60°C 2 6 1 4
6 E4 Tilapia 98:02 60°C 3 7 2 4
7 E6 Trucha 90:10 60°C 1 8 2 5
8 E2 Tilapia 90:10 60°C 3 9 2 6
9 E8 Trucha 98:02 60°C 2 10 2 3
4 E6 Trucha 90:10 60°C 2 5 1 3
```

Anexo 2: Materiales iniciales



Anexo 3: Primer lavado

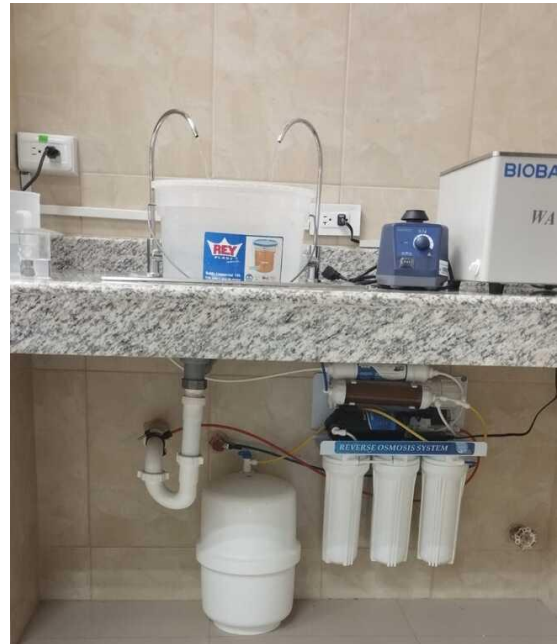




Anexo 4: Segundo lavado



Anexo 5: Tercer lavado

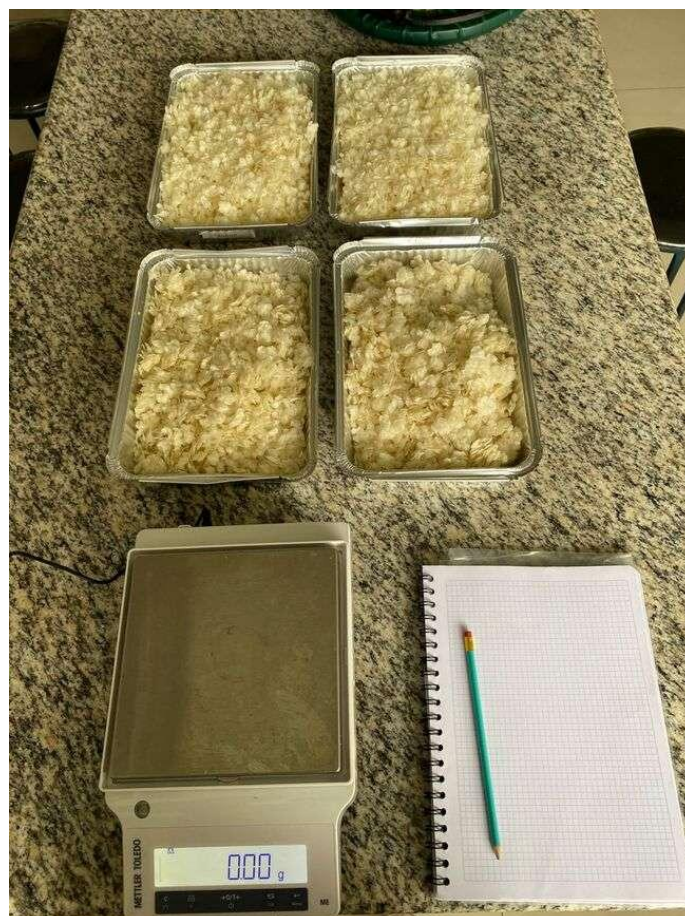


Anexo 6: Secado – Horno tipo Mermment (50 °C por 24 horas)



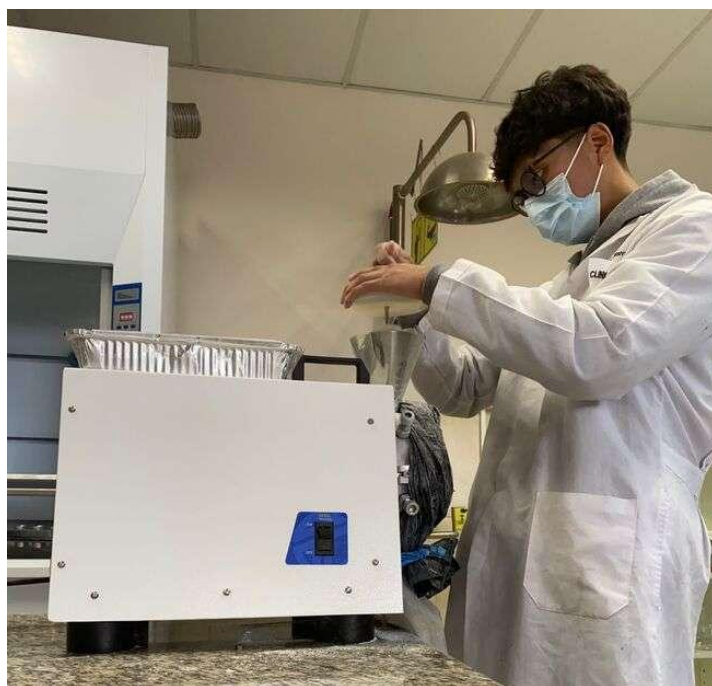


Anexo 7: Molienda – diámetro 2mm

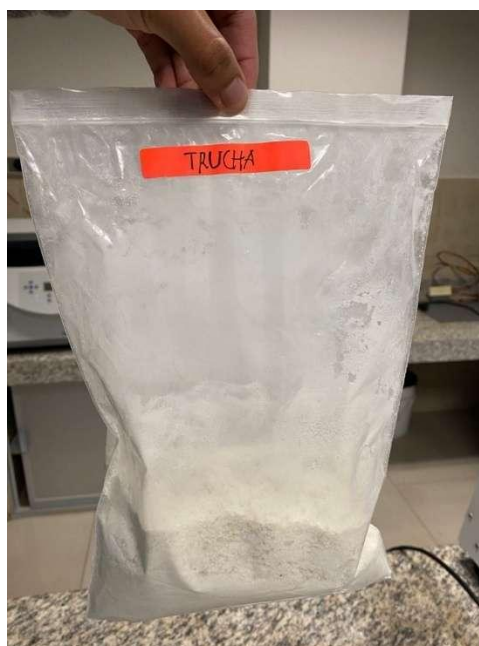
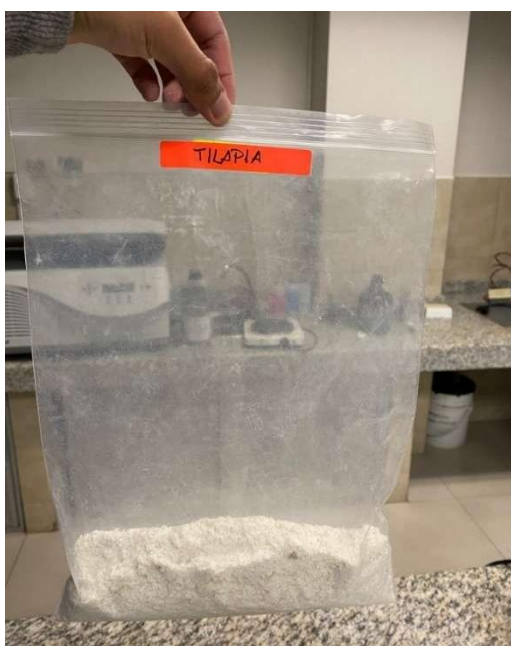






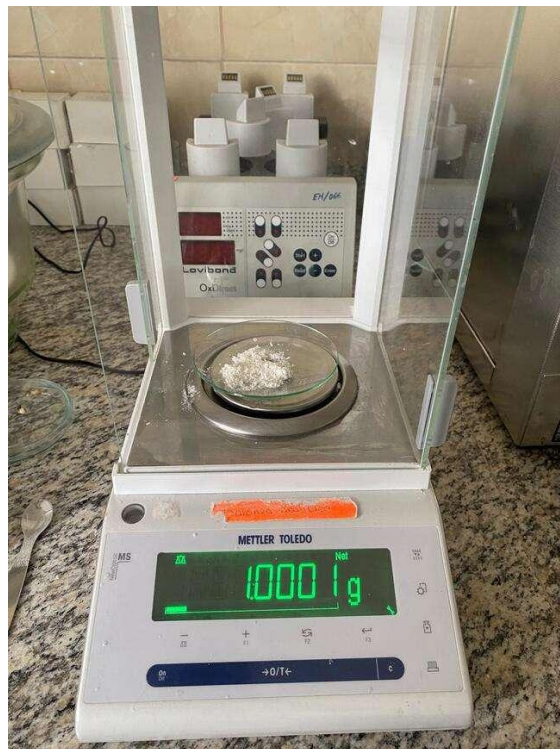


Anexo 8: Escama obtenida – diámetro 2 mm



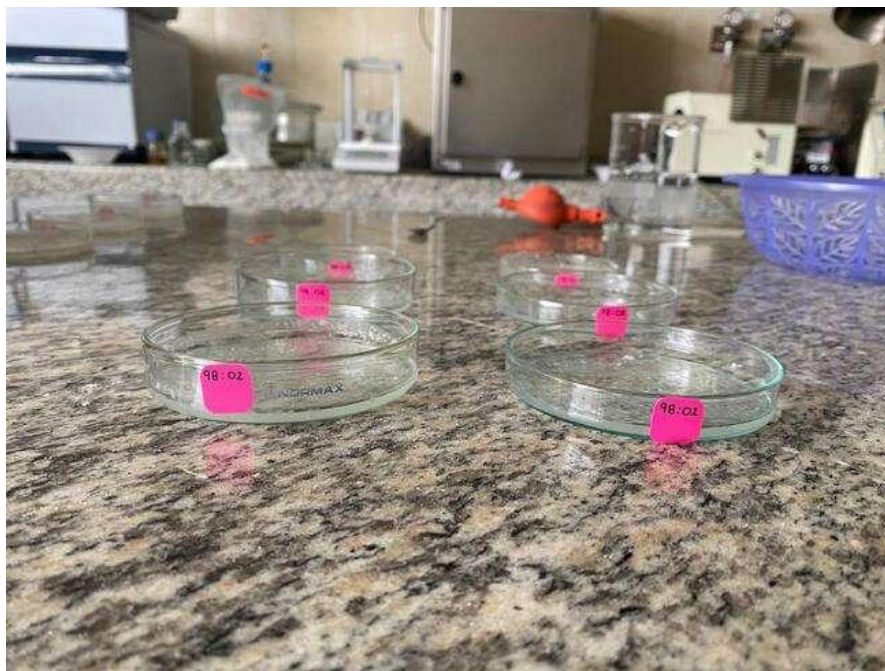
Anexo 9: Extracción sólido – líquido

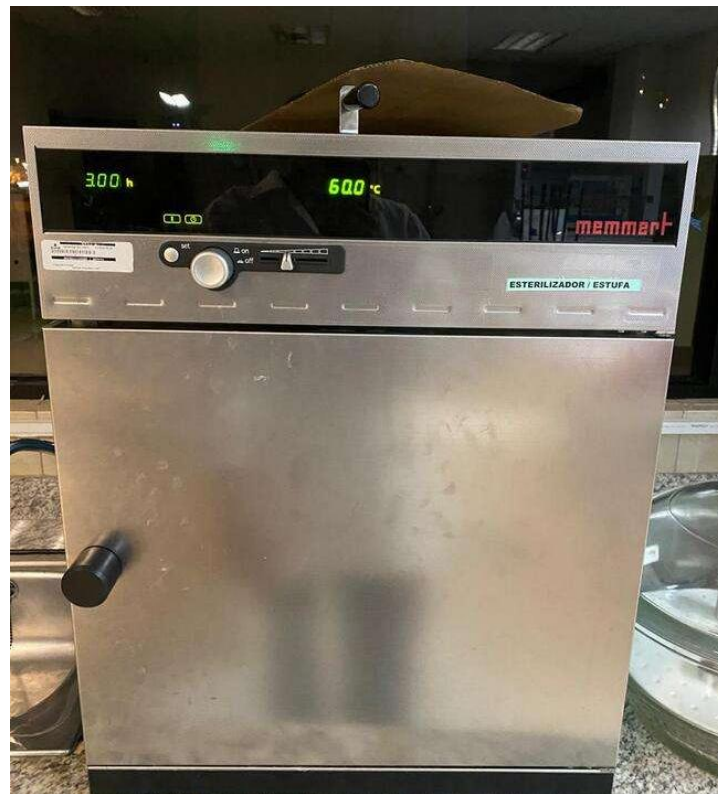






Anexo 10: Secado horno Memmert (60 °C por 3h)







Anexo 11: Tamización – tamiz (0.5 mm)



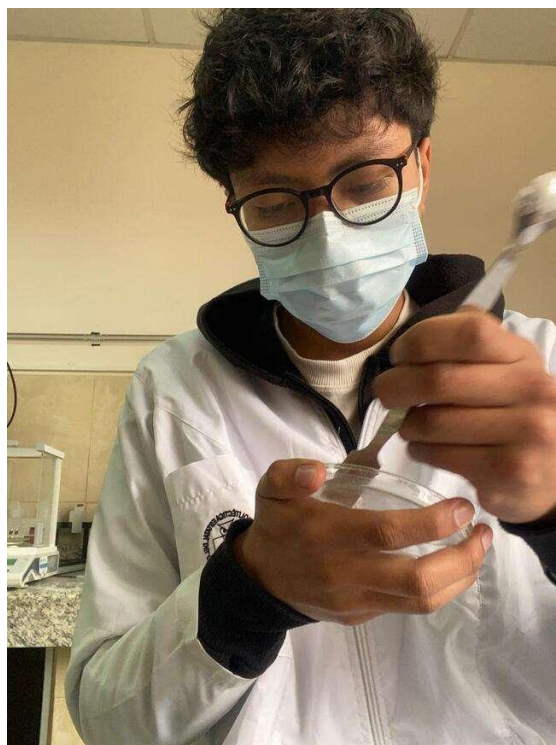


Anexo 12: Secado horno Binder (50 °C por 24h) – Obtención colágeno en polvo



Anexo 13: Retiro manual del colágeno final obtenido





Anexo 14: Pesaje del polvo final obtenido

