UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DE LA DOSIS DEL ADITIVO “ARCILLA” EN LAS PROPIEDADES DEL BIOPLÁSTICO DERIVADO DEL COLÁGENO DE ESCAMA DE PAICHE (*Arapaima gigas*), EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO – UCAYALI-2022

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

BRYAM SAMIR SILVA OLORTEGUI

GABRIELA RUTH PALOMINO BLAS

Pucallpa – Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°251-2025-CGT- FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:10 horas del día jueves 04 de Diciembre del 2025, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, siendo designados con Memo Múltiple Nº 061-2025-UNU-FCFyA-CGT, conformado por:

Dr. Grober Panduro Pisco	Presidente
Dr. Aparicio Limache Alonzo	Miembro
Dr. César Mori Montero	Miembro

Se procede a la sustentación de tesis titulada: **"EFECTO DE LA DOSIS DEL ADITIVO "ARCILLA" EN LAS PROPIEDADES DEL BIOPLÁSTICO DERIVADO DEL COLÁGENO DE ESCAMA DE PAICHE (Arapaima gigas), EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO – UCAYALI-2022",** presentado por los bachilleres **SILVA OLORTEGUI BRYAM SAMIR** y **PALOMINO BLAS GABRIELA RUTH;** asesorado por el Dr. David León Moreno. Habiendo culminado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado evaluador, las que fueron absueltas por los sustentantes, en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD**; recomendando subsanar las observaciones realizadas por el jurado evaluador, quedando expeditos para el otorgamiento del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL.**

Siendo las 12:15 horas del mismo día, se culmina el acto académico, firmando los miembros del Jurado Evaluador en señal de conformidad.

Dr. Grober Panduro Pisco
Presidente

Dr. Aparicio Limache Alonzo

Dr. César Mori Montero

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Grober Panduro Pisco
Presidente

Dr. Aparicio Limache Alonzo
Miembro

Dr. César Mori Montero
Miembro

Dr. David León Moreno
Asesor

Bach. Bryam Samir Silva Olortegui
Tesista

Bach. Gabriela Ruth Palomino Blas
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/678-2025**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**EFECTO DE LA DOSIS DEL ADITIVO "ARCILLA" EN LAS PROPIEDADES DEL BIOPLÁSTICO DERIVADO DEL COLÁGENO DE ESCAMA DE PAICHE (*Arapaima gigas*), EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO – UCAYALI-2022**"

Autor(es)	:	**SILVA OLORTEGUI. BRYAM SAMIR**
		PALOMINO BLAS, GABRIELA RUTH
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. LEÓN MORENO, DAVID**

Presenta un **porcentaje de similitud de 2%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 13/11/2025

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Gabriela Ruth Palomino Blas

Autor de la tesis titulada : EFECTO DE LA DOSIS DEL ADITIVO "ARCILLA" EN LAS PROPIEDADES DEL BIOPLASTICO DERIVADO DEL COLAGENO DE ESCAMA DE PAICHE (Arapaima gigas), EN LA PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO - UCAYALI - 2022

Sustentada el año: 2025

Asesor(a): Dr. David León Moreno

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 04 / 12 / 2025

Email: gpalominoblas@gmail.com Firma: [signature]

Teléfono: 985 674 554 DNI: 72233118

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Bryam Samir Silva Olortegui

Autor de la tesis titulada : Efecto de la dosis del aditivo "Arcilla" en las propiedades del bioplastico derivado del colageno de escama de paiche (Arapaima Gigas). en la provincia de Coronel Portillo-Ucayali - 2022.

Sustentada el año 2025

Asesor(a): Dr. David León Moreno

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 04/12/2025

Email: bryam.samir@gmail.com Firma: 

Teléfono: 900220597 DNI: 72411008

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres, por ser mi mayor fuente de motivación y fortaleza. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, por apoyarme y solventar mis necesidades a lo largo de este camino permitiéndome cumplir mis objetivos y alcanzar mi meta.

Bryam Samir Silva Olortegui

Esta tesis la dedico en primer lugar, a mis padres, por su apoyo incondicional, por impulsarme siempre a seguir adelante y por sostenerme en aquellos momentos en los que sentía que no avanzaba. Gracias por su amor incondicional, paciencia, confianza y motivación constante, fundamentales para alcanzar esta meta.

Asimismo, dedico este logro a mi hermano, quien, a pesar de su condición, ha sido una fuente permanente de amor, fortaleza y aprendizaje en mi vida. Aunque el camino académico no le permita alcanzar metas como esta, este trabajo lo realizo por ambos y en nombre de los dos, como una forma de retribuir a nuestros padres todo el amor, esfuerzo y dedicación que nos han brindado.

Gabriela Ruth Palomino Blas

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial a mi compañera de tesis, quien fue mucho más que una colega académica. Su apoyo constante, su paciencia y su amistad sincera fueron fundamentales a lo largo de esta travesía. Estuvo presente en los momentos más difíciles, brindándome ánimo y fortaleza cuando incluso yo mismo dudaba de poder continuar. Su participación y su compañía hicieron este camino más llevadero y significativo. Expreso también mi profundo agradecimiento a mi vecina, por su valiosa ayuda y generosidad al prepararme mis alimentos, permitiéndome dedicarme plenamente a mis estudios. Su gesto desinteresado fue un apoyo silencioso pero esencial durante esta etapa. A mis docentes, les agradezco por compartir sus conocimientos, orientación y experiencia, los cuales fueron pilares fundamentales en mi formación académica y profesional. Gran parte de lo que hoy sé se lo debo a su enseñanza y dedicación. Finalmente, agradezco a Dios, no desde una fe perfecta, sino desde la convicción de que siempre hubo una fuerza que me sostuvo, me dio calma en los momentos de incertidumbre y me permitió seguir adelante cuando el camino se tornó difícil.

Bryam Samir Silva Olortegui

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por brindarme sabiduría y por permitirme sentir su presencia tanto en los momentos buenos como; especialmente, en los más difíciles; por guiar mi camino y poner a las personas correctas que hicieron posible la realización de esta investigación. A mi compañero de tesis, por todo el camino recorrido que nos condujo a alcanzar esta meta; por su sabiduría, compañía, paciencia y perseverancia. Gracias por sostenerme y apoyarme en los momentos en los que me sentí estancada, así como por permitirme hacer lo mismo cuando fue necesario. Asimismo, agradezco su compromiso por lograr que este trabajo tenga impacto en la sociedad, buscando siempre hacer la diferencia

a través de lo desarrollado en esta investigación. A nuestro asesor de tesis, por el apoyo constante, por motivarnos a crear y desarrollar una propuesta diferente, por su paciencia y empuje permanente para culminar este trabajo de investigación. A mi abuelita Lilia y a mi tía, por abrirme las puertas de su hogar, por su apoyo incondicional y comprensión en los momentos en los que más lo necesité. A los profesionales que contribuyeron al desarrollo de este trabajo experimental, brindándonos su apoyo mediante la colaboración con insumos, equipos y el uso de laboratorio, lo cual fue fundamental para la ejecución de la investigación. Finalmente, agradezco a los docentes de la universidad por las enseñanzas impartidas y los conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación universitaria, así como a mi universidad emblemática, por haber sido parte esencial de mi desarrollo académico y profesional.

Gabriela Ruth Palomino Blas

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....vii

AGRADECIMIENTO.....viii

RESUMEN.....xvii

ABSTRACT.....xviii

INTRODUCCIÓN.....xix

CAPITULO I.....21

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....21

1.1. Descripción del problema.....21

1.2. Formulación del Problema.....23

1.3. Objetivos de la investigación.....24

1.4. Hipótesis.....24

CAPITULO II.....26

MARCO TEÓRICO.....26

2.1. Antecedentes.....26

2.2. Base teórica.....37

2.3. Definición de Términos Básicos.....55

CAPITULO III.....58

METODOLOGÍA.....58

3.1. Método de investigación.....58

3.2. Población y muestra.....59

3.3. Procedimientos de recolección de datos.....61

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....78

3.5. Procesamiento para recolección de datos. 82

3.6. Tratamiento de datos. 82

CAPITULO IV 83

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 83

4.1. Resultados 83

4.2. Discusión 108

CAPITULO V 122

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 122

5.1. Conclusiones 122

5.2. Recomendaciones 123

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 124

ANEXOS 133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Biodegradabilidad del bioplástico 34

Tabla 2 Propiedades mecánicas de nanocompuestos de bentonita basados en polímeros biodegradables..... 45

Tabla 3 Parámetros elásticos para varios tipos de suelos 51

Tabla 4 Coordenadas UTM de las Piscigranjas de la empresa SERVAGRO S.R.L. 59

Tabla 5 Distribución de colágeno-arcilla para la experimentación de 1 propiedad..... 60

Tabla 6 Intervalos de temperatura y tiempo 71

Tabla 7 Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades del bioplástico..... 83

Tabla 8 Valores de resistencia al calor según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla 84

Tabla 9 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la resistencia al calor del bioplástico 86

Tabla 10 Masa de muestras para la prueba de densidad según tratamiento y repetición. 87

Tabla 11 Volumen de muestras para la prueba de densidad según tratamiento y repetición 87

Tabla 12 Valores de densidad según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla..... 88

Tabla 13 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la densidad del bioplástico 89

Tabla 14 Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la densidad del bioplástico 90

Tabla 15 Masa inicial de muestras para la prueba de solubilidad según tratamiento y repetición 90

Tabla 16 Masa final de muestras de la prueba de solubilidad según tratamiento y repetición 91

Tabla 17 Valores de porcentaje de solubilidad según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla 91

Tabla 18 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la solubilidad del bioplástico..... 92

Tabla 19 Masa de los elementos involucrados en la fuerza de tracción según tratamiento y repetición 93

Tabla 20 Valor de la fuerza de tracción según tratamiento y repetición..... 94

Tabla 21 Valor del área transversal de las muestras según tratamiento y repetición 96

Tabla 22 Valores de tensión en el área transversal según tratamiento y repetición 96

Tabla 23 Longitud y deformación unitaria de las muestras según tratamiento y repetición 97

Tabla 24 Valores de elasticidad según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla..... 97

Tabla 25 Valores promedio elasticidad según tratamiento 98

Tabla 26 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la elasticidad del bioplástico..... 99

Tabla 27 Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la elasticidad del bioplástico..... 100

Tabla 28 Valores de longitud final de las muestras después de la prueba de elongación según tratamiento y repetición 100

Tabla 29 Valores de porcentaje de elongación según tratamiento y repetición 101

Tabla 30 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la elongación del bioplástico..... 102

Tabla 31 Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la elongación del bioplástico 103

Tabla 32 Valores de masa inicial y final de las muestras del ensayo de biodegradabilidad según tratamiento y repetición 104

Tabla 33 Valores de porcentaje de degradabilidad según tratamiento y repetición 104

Tabla 34 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la degradabilidad del bioplástico 105

Tabla 35 Valores de pH según tratamiento y repetición 106

Tabla 36 Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la solubilidad del bioplástico.... 107

Tabla 37 Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la densidad del bioplástico 108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Formación de nanocompuestos (morfología polímero-arcilla)..... 38

Figura 2 Esquema de la estructura de la lámina silícica 42

Figura 3 Diagrama de las estructuras de caolinita (a), illita (b) y montmorilonitas (c)..... 43

Figura 4 Estructuras esquemáticas de los diferentes tipos de arcillas minerales 49

Figura 5 Carta de plasticidad 50

Figura 6 *Etapas de la investigación* 61

Figura 7 Diagrama de operaciones de proceso de la extracción de colágeno 64

Figura 8 Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplástico con 0% de arcilla (testigo)..... 66

Figura 9 Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplásticos con 5% de arcilla..... 67

Figura 10 Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplásticos con 10% de arcilla..... 69

Figura 11 Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplásticos con 15% de arcilla..... 70

Figura 12 Tabla de dimensiones de las muestras por espesor en milímetros (mm) y pulgadas (in) para los ensayos de tracción 74

Figura 13 Modelo de las muestras de tipo IV para los ensayos de tracción 74

Figura 14 Diagrama de procesos de la elaboración de bioplástico de colágeno-arcilla.... 77

Figura 15 Valores promedio de resistencia al calor según tratamiento 85

Figura 16 Valores promedio de densidad según tratamiento 88

Figura 17 Valores promedio de solubilidad según tratamiento..... 92

Figura 18 Valores promedio elasticidad según tratamiento..... 98

Figura 19 Valores promedio de elongación según tratamiento 102

Figura 20 Valores promedio de degradabilidad según tratamiento 105

Figura 21 Valores promedio de elasticidad según tratamiento..... 107

RESUMEN

La contaminación ambiental, especialmente la generada por el uso masivo de plásticos convencionales, representa una problemática global con implicaciones severas para la salud humana y los ecosistemas. En este contexto, la búsqueda de materiales alternativos, biodegradables y funcionales representa un desafío relevante. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del aditivo arcilla en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un bioplástico elaborado a partir de colágeno de escamas de paiche (*Arapaima gigas*). El estudio fue de tipo básico, con diseño experimental y nivel exploratorio. La población se conformó por colágeno extraído de 5,380 Kg de escamas, siguiendo el método de Génesis Jaimes. Se formularon 4 tratamientos con diferentes proporciones de arcilla (0%, 5%, 10%, 15%). Las muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar su resistencia al calor, solubilidad, densidad, elasticidad, elongación, degradabilidad y pH. Como resultado, todos los tratamientos alcanzaron valores de resistencia al calor superiores a 110 °C y una solubilidad del 100%. La densidad aumentó con el porcentaje de arcilla (1,32 a 1,49 cm^3). El módulo de elasticidad del tratamiento sin arcilla fue de 4,73 MPa, dicha propiedad se perdió en todas las formulaciones con arcilla. La elongación disminuyó conforme aumentó el aditivo (373,4% a 156%). Todos los tratamientos fueron 100% degradables. El pH disminuyó con el incremento de arcilla (6,61 a 6,21). Se concluyó que la arcilla tiene un efecto significativo en las propiedades del bioplástico, densidad, elasticidad, elongación y pH, mientras que, no afectó su resistencia al calor, solubilidad y degradabilidad.

Palabras clave: resistencia al calor, solubilidad, densidad, elasticidad, elongación, degradabilidad, pH, colágeno, arcilla, bioplástico.

ABSTRACT

Environmental pollution, especially that generated by the widespread use of conventional plastics, represents a global problem with severe implications for human health and ecosystems. In this context, the search for alternative, biodegradable, and functional materials represents a significant challenge. The objective of this study was to determine the effect of the clay additive on the physical, chemical, and mechanical properties of a bioplastic made from collagen from paiche (*Arapaima gigas*) scales. The study was basic, with an experimental design and an exploratory level. The sample population consisted of collagen extracted from 5,380 kg of scales, following the Génesis Jaimes method. Four treatments were formulated with different proportions of clay (0%, 5%, 10%, 15%). The samples were subjected to laboratory tests to determine their heat resistance, solubility, density, elasticity, elongation, degradability, and pH. As a result, all treatments achieved heat resistance values greater than 110 °C and a solubility of 100%. The density increased with the percentage of clay (1,32 to 1,49 cm^3). The modulus of elasticity of the treatment without clay was 4,73 Mpa, this property was lost in all formulations with clay. The elongation decreased as the additive increased (373,4% to 156%). All treatments were 100% degradable. The pH decreased with the increase in clay (6,61 to 6,21). It is concluded that clay has a significant effect on the properties of the bioplastic, density, elasticity, elongation and pH, while it does not affect its heat resistance, solubility and degradability.

Keywords: heat resistance, solubility, density, elasticity, elongation, degradability, pH, collagen, clay, bioplastic.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Ucayali, a través de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales y la Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental, promueve el desarrollo de tecnologías sostenibles que sean viables en los ámbitos económico, social y ambiental. Esta línea de trabajo responde a la necesidad de encontrar soluciones innovadoras frente a los problemas actuales de contaminación, especialmente los derivados del uso masivo de plásticos convencionales.

En este contexto, durante el año 2019, en el marco de un proyecto universitario, se logró obtener un material biodegradable con propiedades visualmente muy similares al plástico comercial, a partir del colágeno extraído de la escama de paiche (*Arapaima gigas*), recurso ictiológico representativo de la región amazónica. Sin embargo, este bioplástico presentaba limitaciones en cuanto a la estabilidad de sus propiedades, lo que dificultaba su aplicación inmediata como sustituto real del plástico convencional.

A partir de esta experiencia inicial, surgió la necesidad de optimizar dicho bioplástico, incorporando aditivos que contribuyan a mejorar sus propiedades. Torres et al. (2015) sostuvo que las escamas de arapaima gigas además de ser una fuente alternativa de colágeno, también presentan microestructuras muy favorables para el desarrollo de biopolímeros. En este estudio, se plantea el uso de la arcilla como aditivo, ampliamente reconocida en la literatura científica por su capacidad para mejorar la estabilidad y resistencia de biopolímeros. De esta manera, se buscó determinar el efecto de diferentes dosis de arcilla sobre las propiedades del bioplástico a base de colágeno de escama de paiche.

Las propiedades evaluadas en esta investigación fueron: físicas (densidad, temperatura y solubilidad), mecánicas (elasticidad y elongación) y químicas (degradabilidad y pH). La mejora de estas propiedades es fundamental para que el bioplástico sea

competitivo frente a los plásticos tradicionales, tanto en funcionalidad como en sostenibilidad ambiental.

Este trabajo se orientó a contribuir con soluciones locales basadas en recursos naturales disponibles en la región de Ucayali, promoviendo así la innovación tecnológica con enfoque ambiental.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En un proyecto previo de pregrado se logró obtener un bioplástico a partir de colágeno extraído de escamas de paiche (Arapaima gigas), con resultados alentadores en cuanto a su estructura y manejabilidad, sin embargo, al ser un biopolímero de naturaleza proteica, el colágeno presenta ciertas limitaciones en cuanto a sus propiedades mecánicas y de estabilidad, lo que hace necesario el uso de aditivos o refuerzos que mejoren sus propiedades.

En ese sentido, la incorporación de materiales inorgánicos como las arcillas ha sido ampliamente explorada en otros biopolímeros, demostrando efectos positivos sobre la resistencia mecánica, estabilidad térmica, etc. No obstante, a pesar de la amplia disponibilidad de arcilla en diversas regiones del país, incluida la región de Ucayali, donde se extraen las escamas de paiche, no existen suficientes estudios que exploren su interacción con matrices proteicas como el colágeno, ni el efecto de su dosificación en las propiedades finales del bioplástico.

El problema es el desconocimiento del efecto de la dosis del aditivo "arcilla" en las propiedades del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche.

“La relación entre la dosis-efecto es la expresión gráfica y matemática de la relación entre la cantidad de una sustancia administrada a un elemento y la magnitud del efecto que produce la sustancia” (Mosquera y Bedoya, 2015).

El plástico es un material altamente popular ya que puede usarse de muchas maneras diferentes. Actualmente existen en el mercado varios materiales alternativos hechos con biopolímeros que tienen la finalidad de remplazar los materiales plásticos, sin embargo, sus propiedades mecánicas son muy inferiores a la de los plásticos,

adicionalmente su elaboración demanda demasiado esfuerzo y costos de fabricación muy elevados. Las propiedades son modificadas y mejoradas al agregar diversos aditivos que, dependiendo su fuente de origen producirán cambios en las propiedades del bioplástico, siendo positivos o negativos, teniendo un mayor o menor efecto dependiendo de la dosis que se utilice.

El colágeno es un biopolímero que se obtiene del tratamiento de muchos residuos (avícola, pesquera, etc.). Este material acompañado de ciertos aditivos fue utilizado para la fabricación de bioplásticos. La arcilla se presenta en muchas investigaciones con biopolímeros, como un excelente aditivo para la formación de bioplástico, pero en ninguna con colágeno y mucho menos con el que proviene de la escama de paiche, en contraste, se desconoce el efecto que tendría en las propiedades del bioplástico (físicas, mecánicas y químicas). “La arcilla como refuerzo mejora la estructura del bioplástico, aumenta la resistencia a la tracción y reduce la absorción de agua” (Wahyuningtiyas & Suryanto, 2018).

Debido a los escasos estudios para conocer la interacción de la arcilla con la matriz polimérica del colágeno, es imposible determinar si la dosis de aditivo que se quiera agregar genera cambios significativos en la composición del bioplástico. La obtención de los mejores resultados posibles dependerá de la dosis de aditivo que se utilice.

El desconocimiento del efecto de la dosis del aditivo “arcilla” en las propiedades del bioplástico elaborado a partir del colágeno de la escama de paiche trae las siguientes consecuencias: Continuidad en la fabricación de bioplásticos que no presentan las propiedades más óptimas para su uso, que a su vez genera un gasto inadecuado de recursos económicos y energéticos, incertidumbre en la interacción colágeno:arcilla para la fabricación de bioplásticos.

Si esta situación persiste, se seguirán invirtiendo recursos de manera inadecuada para encontrar un bioplástico capaz de competir con el plástico sintético. Al no encontrar una alternativa que satisfaga los requerimientos de uso, la sociedad continuará utilizando

el nocivo plástico, debido a que presenta enormes ventajas mecánicas, es fácil y barato de fabricar, además, dura mucho tiempo. Hoy en día se generan muchos problemas en los ecosistemas, ya que el plástico no se descompone y se necesita mucha energía de rayos ultravioleta para acabar con el.

La búsqueda de un material alternativo y que sea biodegradable, capaz de competir con el plástico representa todo un reto principalmente por las ventajas mecánicas y económicas que representa este último.

1.2. Formulación del Problema.

Según el contexto descrito anteriormente, se formuló la siguiente pregunta:

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto de la dosis del aditivo “arcilla” en las propiedades del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de la dosis de arcilla en las propiedades físicas (resistencia al calor, densidad, solubilidad) del bioplástico?
- ¿Cuál es el efecto de la dosis de arcilla en las propiedades mecánicas (Elasticidad, elongación) del bioplástico?
- ¿Cuál es el efecto de la dosis de arcilla en las propiedades químicas (Degradabilidad, pH) del bioplástico?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la dosis del aditivo “arcilla” en las propiedades del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la dosis de arcilla en las propiedades físicas (resistencia al calor, densidad, solubilidad) del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche
- Determinar el efecto de la dosis de arcilla en las propiedades mecánicas (elasticidad, elongación) del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche
- Determinar el efecto de la dosis de arcilla en las propiedades químicas (degradabilidad, pH) del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Ho = La dosis del aditivo “arcilla” ejerce efecto significativo en las propiedades del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche.

Ha = La dosis del aditivo “arcilla” no ejerce efecto significativo en las propiedades del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche.

1.4.2 Hipótesis específicas

- **H1 =** La dosis del aditivo “arcilla” ejerce efecto significativo en las propiedades físicas (resistencia al calor, densidad, solubilidad) del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche.
- **H2 =** La dosis del aditivo “arcilla” ejerce efecto significativo en las propiedades mecánicas (elasticidad, elongación) del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche.
- **H3 =** La dosis del aditivo “arcilla” ejerce efecto significativo en las propiedades químicas (degradabilidad, pH) del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ashby (2013), en su libro “Materials and the Environment”, en elcapitulo “perfiles de materiales”, presentó las propiedades del polietileno (PE). Respecto a la característica de elasticidad, sostuvo que, el material (PE) posee un modulo de elasticidad que va desde 0,62 GPa a 0,86 GPa.

Por su parte, Rabell et al. (2013), en su proyecto “Propuesta metodológica para la evaluación de la degradabilidad de plásticos mediante composteo”, respecto a la característica de elongación, sostuvieron que:

> Los plásticos que no han sido degradados tienen pesos moleculares cercanos a 200000 y presentan elongaciones de 300% o más antes de la ruptura. Para que un plástico sea susceptible a la biodegradación, de acuerdo con el estándar ASTM 6954 (ASTM 2004), debe presentar un peso molecular promedio cercano a 5000 o 5% de elongación antes de la ruptura.

Por otro lado, Maqueda (2011), en su estudio “Polietileno” donde describe los tipos y propiedades de este material, respecto a la característica de solubilidad, sostuvo que:

> El polietileno es insoluble en agua y sólo absorbe ésta en un grado muy limitado. La absorción de agua aumenta con la temperatura. A temperaturas inferiores a 60ºC., el polietileno, si se exceptúan las muestras de peso molecular muy bajo, es muy poco soluble en los disolventes, pero a temperaturas más altas es fácilmente soluble en hidrocarburos e hidrocarburos halogenados, aunque sigue siendo muy poco

soluble en líquidos más polares, como alcoholes, ácidos, ésteres, aminas, fenoles y nitrocompuestos.

Además, Chariguamán (2015), en su investigación “Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)”, respecto a la característica de elasticidad, encontró lo siguiente:

> Se presentan los resultados del análisis del módulo de elasticidad, donde se obtuvo valores desde 0,64 hasta 2,23 MPa. El tratamiento con mayor módulo de elasticidad fue el 14, este tratamiento posee 3% de harina de maracuyá, 50% de glicerol y 92,1% de almidón de maíz y 7,9% de almidón de yuca.

Por su lado, Irais (2018), en el estudio “Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de residuos de la industria pesquera de dos especies: Marlín (Makaira nigricans) y Tiburón (Carcharhinus falciformis)”, respecto a la característica de resistencia al calor, sostuvo que:

> Los resultados obtenidos no mostraron diferencias en la estructura de la gelatina obtenida de las dos especies comparada con la gelatina comercial. La caracterización térmica del bioplástico fue realizada por calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis temogravimétrico (TGA) y dinámico mecánico (DMA), a partir de dichos análisis fue posible determinar la temperatura de transición vítrea del material y el comportamiento viscoelástico del material. Los bioplásticos presentaron una temperatura de degradación térmica de 300ºC, un punto de fusión de 180ºC y una temperatura de transición vítrea de 58ºC, estos resultados son similares a los reportados en la literatura para bioplásticos elaborados con gelatina de pescado.

Al igual que Rabell, Lubis et al. (2020), en su investigación “Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer”, respecto a la característica de elongación, afirmaron que:

> El objetivo de esta investigación es conocer la potencia del almidón de semilla de mango y la arcilla microparticulada como relleno y la concentración de glicerol como plastificante sobre la resistencia a la tracción y elongación a la rotura, grupo funcional (FTIR) y morfología superficial (SEM). Se utilizó almidón de semilla de mango de tamaño 5 gramos, con la variación de masa de relleno de arcilla de 0; 3; 6 y 9% en peso, mientras que la masa de glicerol con una variación de 0; 20; 25; 30; y 35% en peso. En conclusión, se obtuvieron bioplásticos con las mejores condiciones en el uso de 6% arcilla y 25% glicerol, con una resistencia a la tracción de 5,657 MPa, porcentaje de elongación a la ruptura 43,431%.

Respecto a la característica de resistencia al calor, Alcaide et al. (2020), en su artículo “Bioplásticos biodegradables” publicado en la revista Ingenia materiales, mencionaron que:

> Para la resistencia al calor las probetas se han sometido a una prueba de resistencia al calor introduciéndolas en un horno convencional en el cual se ha regulado la temperatura en distintos intervalos de tiempo para observar la evolución del comportamiento de los diversos materiales. Los resultados han sido los siguientes:
>
> •Probeta sin fruta y sin metabisulfito: a los 70 min y 75 °C empieza a deformarse y a los 95 min y 150 °C deja de tener la misma transparencia que antes de someterla a la prueba; sin embargo, el material no sufre quemaduras.
>
> • Probeta de naranja 1: a los 7 min y 65 °C empieza a coger color y a los 75 min y 75 °C empieza a deformarse. Cuando han transcurrido 85 min y 100 °C el material se torna completamente negro y a los 95 min y 150 °C se calcina.

• Probeta de plátano 2: a los 80 min y 100 °C comienza la deformación del material y a los 85 min y a la misma temperatura se ennegrece. Finalmente se calcina a los 95 min y 150 °C.

• Sin fruta (azul): a los 80 min y 100 °C pierde su color anterior y se transforma en un tono marrón hasta llegar a ser completamente negro a los 87 min. Transcurridos 95 min, el material se calcina.

• Sin fruta (verde): a los 85 min y 100 °C adopta un color blancuzco, ya no es tan verdoso y se deforma. A los 90 min es totalmente blanco y al terminar el ensayo pasados los 95 min hasta alcanzar una temperatura de 150 °C el material no se quema.

• Plátano 3: a los 15 min y 75 °C se deforma y se ennegrece a los 88 min hasta calcinarse a los 95 min.

• Naranja 2: a los 20 min y 65 °C se deforma y a los 85 min y 100 °C se torna a un color negruzco. Finalmente se calcina a los 95 min.

• Manzana 1: a los 75 min y 100 °C se deforma hasta ennegrecer a los 85 min. Se calcina a los 95 min.

• Plátano 1: comienza la deformación a los 55 min y 65 °C; a los 85 min está completamente negro. Se calcina al finalizar el tiempo de ensayo.

Se puede observar que a los 80 min todos los materiales adquieren un color oscuro, se calcinan, pero no implica la desintegración, simplemente significa que el tomo es muy oscuro. Transcurridas las 24 horas todas las probetas han vuelto a coger flexibilidad, aunque al sacarlas del horno su estado era de extrema fragilidad. Dicha recuperación de la flexibilidad es debida a la absorción de la humedad.

También resultó interesante que, Torres (2021), en su investigación “Elaboración de bioplásticos a partir del almidón de la cáscara de la papa (solanum tuberosum) y la cáscara

de la papaya hawaina (carica papaya L.) como alternativa para uso de envolturas biodegradables de alimentos", respecto a la característica de degradabilidad, encontró que:

> Para la realización de los análisis de biodegradabilidad se efectuó dos repeticiones, el primero se colocó a una profundidad de 12 cm láminas de 2,5 cm x 2,5 cm de bioplástico y cubrir con compost, el segundo se colocó láminas de 2,5 cm x 2,5 cm de bioplástico y se dejó en el ambiente, posteriormente se verificó su presencia cada 7 días. Para el análisis de biodegradabilidad a base de almidón de cascara de papa se realizó los cálculos adecuados para determinar el porcentaje de peso al día 15 en sus cuatro tratamientos TPP1: 28,125%, TPP2: 29,743%, TPP3: 29,344%, TPP4: 30,666%, se determinó que el cuarto tratamiento tuvo mayor porcentaje de pérdida de peso. Para el análisis de biodegradabilidad a base de almidón de cascara de papa y cascara de papaya se realizó los cálculos adecuados para determinar el porcentaje de peso al día 15 en sus cuatro tratamientos TPH1: 31,475%, TPH2: 33,469%, 32,095%, 31,568%, se determinó que el segundo tratamiento es el más óptimo.

Adicionalmente, el mismo autor, respecto a la característica de solubilidad, también descubrio que:

> La caracterización de los bioplásticos se realizó a cuatro tratamientos, teniendo como resultado que el bioplástico a partir de almidón de cascara de papa presenta un % de solubilidad de TPP1: 47,108%, TPP2: 43,943, TPP3: 47,278, TPP4: 45,107%, y el bioplástico a partir de almidón de cascara de papa y cascara de papaya presenta un% de solubilidad de TPH1: 44,033%, TPH2: 44,194%, TPH4: 47,850%. Por lo cual se estableció que el tratamiento TPP2 fue el más óptimo mediante los resultados de análisis. (Torres, 2021)

Por otro lado, PLASTICS EUROPE (2022), respecto a la característica de densidad, afirmó que:

> Polietileno de alta densidad (HDPE). El HDPE está definido por una densidad mayor o igual a 0,941 g/cm3. El HDPE tiene un bajo grado de ramificación y por lo tanto fuertes fuerzas intermoleculares y resistencia a la tracción. Polietileno de baja densidad (LDPE). El LLDPE se define por un intervalo de densidad de 0,915-0,925 g/cm3.

Al igual que Torres, Solórzano (2022), en su investigación “Elaboración de bioplástico a partir de almidón de plátano y colágeno de escamas de pescado”, respecto a la característica de solubilidad, sostuvo que:

> Para la elaboración de bioplásticos se realizó una solución acuosa a partir de almidón, colágeno, ácido acético y etilenglicol. Para la solubilidad de las biopelículas de almidón de plátano y colágeno de escamas de pescado se ensayaron 2 muestras por cada biopelícula. Se observó que el experimento 15 (7% almidón, 11% etilenglicol y 30% colágeno) es el que presenta mayor solubilidad (27,51 ± 3,49%), mientras que el experimento 1 (9,5% almidón, 7% etilenglicol y 0% colágeno) es el que presenta menor solubilidad (15,15 ± 9,19%).

Adicionalmente, el mismo autor, respecto a la característica de elongación también afirmó que:

> Para la fuerza de tención se obtuvo un rango de 0,2 a 0,87 MPa, resaltando que la presencia del colágeno mejoro esta propiedad al igual que la presencia del acético ya que ayuda a esterificar los polisacáridos, modificando la naturaleza hidrofílica. Para el porcentaje de elongación la presencia del ácido acético ayudo a mejorar este, teniendo un rango de 29,48% a 45,86%. (Solórzano, 2022)

Del mismo modo, respecto a la característica de degradabilidad, dicho autor también sostuvo que:

> El estudio de biodegradabilidad se evaluó por la pérdida de masa de las biopelículas, para ello se cortaron láminas en tiras de 1 cm x 2 cm. Luego se prepararon frascos de vidrio que contenía composta con una humedad de 12,25%, se colocaron las láminas hasta una profundidad de 5 cm dentro de la composta. Los frascos se taparon con papel aluminio y se mantuvo dentro del laboratorio. Se midió dos veces por semana la temperatura de la composta. Después de cuatro semanas se extrajeron las muestras y se pesaron para evaluar la pérdida de masa y se comparó con el valor de masa inicial. Los resultados de las muestras de las biopelículas a los 30 días presentaron un porcentaje de biodegradabilidad de 24,16% y 61,04% de los experimentos Colágeno – Almidón, 15,30% y 53,89% de los experimentos de almidón. El tratamiento que logró una mayor degradación en la pérdida de peso en 30 días es el experimento 3 Col-Alm con 61.04%, el cual consta de una concentración de 1,33 g de almidón y 0,20 g de colágeno con un agregado de 2,57 ml de etilenglicol. El tratamiento que logro un bajo porcentaje de degradación es el experimento 23 Col-Alm con 24,16%, el cual constituye de una concentración de 1,33 g de almidón y 0,20 g de colágeno incorporando 1,20 ml de etilenglicol. (Solórzano, 2022)

Respecto a la característica pH, según lo planteado por Puga (2022), en un analisis de la acidificacion de los oceanos, se encontro que:

> Un estudio liderado por el Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona [ICM-CSIC] reveló que la degradación de plásticos disminuye hasta 0,5 unidades el pH del mar. Al descomponerse, los plásticos liberan ácidos orgánicos y dióxido de carbono (CO_2) que contribuyen a la acidificación de los océanos y afectan así al ecosistema

> marino. Esto, junto con la contaminación de plásticos, constituyen dos de las amenazas principales a las que se enfrentan los océanos.
>
> Además, el estudio define que la radiación solar también favorece a la acidificación. Al estar a la intemperie, los plásticos sufren distintos cambios durante su degradación, que van desde rayones y cambios físicos hasta alteraciones en su composición química y estructura. En ese sentido, algunos compuestos químicos de los plásticos se desprenden y se disuelven en el agua, lo que se conoce como lixiviación, lo que hace que se altere el pH y se acelere la acidificación. (ICM-CSIC, 2022, como se cita en Puga, 2022).

Por su lado, Naranjo (2023), en su investigacion “Elaboración de un bioplástico a partir de colágeno obtenido de residuos de wet blue proveniente de una curtiembre de la ciudad de Ambato”, respecto a la característica de solubilidad, afirmó que:

> Se utilizó una formulación basada en colágeno hidrolizado obtenido a partir de virutas de wet blue mediante una hidrolisis con MgO, almidón de zanahoria blanca y plastificantes como alcohol polivinílico y glicerina. Los resultados presentaron que los bioplásticos elaborados a partir de PVA presentan un porcentaje elevado de solubilidad llegando incluso al 81,56 % como en la muestra F6, esto es debido a que naturalmente el PVA es altamente soluble en agua debido a sus grupos funcionales de hidroxilo que pueden formar enlaces de puentes de hidrógeno con el solvente. En la estructura de la glicerina también es parecido a un modelo polar, ya que presenta 3 grupos hidroxilo altamente reactivos con el agua en su cadena, esto puede generar un porcentaje de solubilidad de hasta el 38,68 %, en conclusión, las formulaciones con glicerina poseen valores de solubilidad relativamente bajos a comparación de 3 de las formulaciones con PVA.

Por otra parte, Melendres et al. (2023), en su articulo de revista “Production of Defragmentable Bioplastic using Starch Extracted from Annona Muricata (Soursoup) Seed Reinforced with Bentonite Nanoclay”, con respecto a la característica de degradabilidad, sostuvo que:

> Se utilizaron semillas de Annona muricata como fuente de almidón para elaborar bioplásticos desfragmentables, incorporando glicerol y nanoarcilla de bentonita como aditivos. Las muestras se enterraron a 10 cm de profundidad en suelo franco y se evaluó la degradación mediante pérdida de peso. La mayor descomposición se registró en la muestra con 30 % de glicerol, alcanzando un 70,5% de pérdida de peso, atribuida a la afinidad del glicerol con el agua. En contraste, la nanoarcilla de bentonita ralentizó la degradación debido a su naturaleza hidrofóbica; esto se evidenció en la muestra con mayor concentración de arcilla (6%) y menor glicerol (20%), que presentó solo un 41,396% de degradación.

Tabla 1

Biodegradabilidad del bioplástico

Sample	Concentration of Glycerol (wt%)	Concentration of Bentonite Nanoclay (wt%)	Amount of Starch (grams)	Final Weight Loss aftr 12 days (%)
1	20	0	10	45,288
2	20	3	10	47,048
3	20	3	20	46,252
4	20	6	10	41,396
5	25	0	20	60,908
6	25	3	10	45,647
7	25	3	10	52,288
8	25	6	20	55,576
9	30	0	10	69,407
10	30	3	20	70,433
11	30	6	10	61,283

Nota. Obtenido de Melendres et al. (2023).

En la tabla 1 se observa que, la muestra 4, formulada con mayor concentración de arcilla, perdio menos peso en su ensayo de degradación, esto indicaria que la arcilla está retardando la degradación del bioplástico.

Entorno al uso de arcilla como aditivo, Tezera et al. (2024), en su investigación “Evaluation and Optimization of Sustainable Ecofriendly Bio-based Micro-composites for Smart Packaging Application Using Micro-Clay Particles as reinforcement” utilizaron almidón extraído de la semilla de mango, la raíz de yuca y los desechos de la fruta de mango, e incorporaron micro arcilla como refuerzo para la elaboración de su bioplástico. Respecto a la característica de resistencia al calor, en dicho estudio encontraron que:

> La estabilidad térmica de la película se examinó mediante análisis termogravimétrico (TGA) con el equipo Shimadzu TGA-50, bajo nitrógeno gaseoso y un caudal de 50 ml/min. El rango de temperatura se mantuvo entre 20 y 200 °C, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Los resultados mostraron que la etapa inicial de degradación térmica se produjo a una temperatura inferior a 90 °C. Las películas de control presentaron una mayor pérdida de masa que la película reforzada optimizada a esta temperatura, lo que indica que la película de control tenía un mayor contenido de humedad. La adición de arcilla disminuyó la absorción de agua, lo que mejoró la estabilidad térmica de la película reforzada por encima de los 135 °C. Las capas de arcilla actuaron como barreras para maximizar el aislamiento térmico y limitar la permeabilidad de los productos de degradación volátiles, previniendo así la degradación de fragmentos de almidón y mejorando la estabilidad térmica de las películas biodegradables.

Por su parte, Villacis (2024), en su estudio “Producción de bioplásticos sostenibles a partir de harina de cáscara y pulpa de yuca (Manihot esculenta)”, respecto a la característica de elasticidad, encontró lo siguiente:

> El resultado del ADEVA de la elasticidad del bioplástico, demostró diferencias estadísticas altamente significativas tanto para la formulación ($p<0.05$) como para la repetición ($p<0.05$). Esto indica que las diferentes formulaciones de bioplástico a partir de cáscara y pulpa de yuca tienen un impacto significativo en la elasticidad, evidenciando una notable variabilidad entre las formulaciones. En dicho estudio se observaron los resultados de 5 formulaciones. Los módulos de elasticidad correspondientes a cada formulación fueron: 3,67 (F1), 4,67 (F2), 5,67 (F3), 5,33 (F4), 5,67 (F5).

Respecto a la característica de resistencia al calor, “el polietileno (PE) es un polímero blando y viene en dos tipos principales: LDPE (polietileno de baja densidad), se funda a unos 105 °C y el HDPE (polietileno de alta densidad), se funda a unos 125 °C” (KIVO GROUP, 2024).

Se resalta tambien que, “los plásticos más comunes, como el polietileno o el polipropileno, pueden llegar a tardar entre 500 y 1.000 años en degradarse por completo en vertederos o ambientes naturales debido a su resistencia a la composición” Freire (2024).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Respecto a la característica de elongación, Granda y Ramos (2019), en su investigacion “Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de Solanum Tuberosum a diferentes porcentajes de plastificante”, afirmaron que:

> Para la elaboración de bioplástico, se mezcló el almidón con diversas sustancias como HCl y NaOH, teniendo como plastificante a la glicerina. Por ello, se evaluó la Resistencia Mecánica y Deformación en Tracción en función del porcentaje de

glicerol. Los porcentajes de glicerina usados en el bioplástico fueron de 3, 5, 8, 10 y 12%. El resultado final muestra que la resistencia tiene una máxima de 2,57 MPa para un 3% de glicerina y la mínima de 0,17 MPa para el 12% de glicerina. En cuanto a la deformación se alcanzó un 44,76% de deformación al 3% de glicerina y a 13,37% a un 12% de glicerina.

2.2. Base teórica

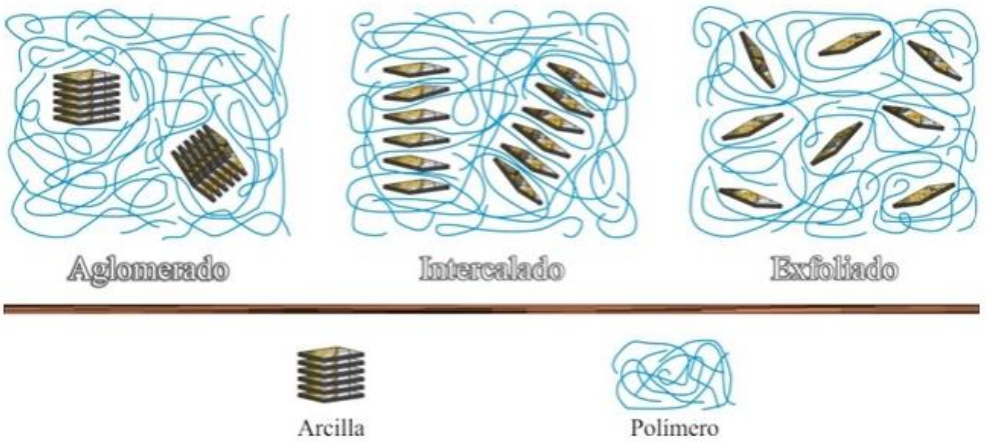
2.2.1. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades físicas del bioplástico

Oropeza et al. (2016), en su investigacion “Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación” afirmaron que:

> Las partículas de arcilla se componen de varias láminas agrupadas. Hay 3 tipos de formaciones polímero-arcilla: aglomerada (tactoide), intercalada y exfoliada (Fig. 3). En la estructura aglomerada, el espacio entre las láminas de arcilla no se expande por causa del polímero debido a la poca afinidad; no se forma un verdadero nanocompuesto. En la estructura intercalada, los espacios entre las láminas de arcilla se expanden ligeramente a medida que las cadenas de polímero penetran; el resultado es una afinidad moderada entre el polímero y la arcilla. En la estructura exfoliada, las láminas de arcilla se desagrupan y dispersan en la matriz del polímero; esto es debido a una alta afinidad entre el polímero y la arcilla (Franco-Urquiza y Maspoch-Rulduà, 2009; Bratovčić et al., 2015, como se cita en Oropeza et al, 2016). Las estructuras intercalada y exfoliada conllevan a la formación de nanocompuestos.

Figura 1

Formación de nanocompuestos (morfología polímero-arcilla)



Nota. Obtenido de Oropeza et al. (2016).

Por su lado, Zohra et al. (2024), en su libro “Biopolymers-Clay Nanocomposites: Synthesis Pathways, Properties, and Applications” sostienen que:

Los nanocompuestos de biopolímero-arcilla presentan ventajas significativas frente a los microcompuestos tradicionales debido a sus superiores propiedades mecánicas, térmicas, ópticas, antibacterianas y de barrera, además de su biodegradabilidad. Estas mejoras se deben a la incorporación de pequeñas cantidades de arcilla (1–5% en peso) y a su adecuada dispersión en la matriz polimérica. En particular, las propiedades de barrera a gases se ven notablemente reforzadas gracias a la alta relación de aspecto y exfoliación de las plaquetas de arcilla, que generan rutas tortuosas para el paso de moléculas. Esta característica ha posicionado a estos nanocompuestos como materiales clave en sectores como el embalaje alimentario, donde la impermeabilidad es crítica. Sin embargo, la heterogeneidad de métodos de análisis dificulta la comparación directa entre sistemas.

Estabilidad térmica de nanocompuestos de biopolímero/arcilla

La estabilidad térmica de los nanocompuestos de biopolímero/arcilla se evalúa comúnmente mediante análisis termogravimétrico (TGA), siendo clave para determinar su desempeño ambiental. La incorporación de nanorellenos inorgánicos, como la arcilla modificada, mejora dicha estabilidad al favorecer la exfoliación y compatibilidad con la matriz polimérica. Esta modificación superficial vuelve la arcilla más organofílica. Estudios como el de Kumar y Babu evidencian mejoras térmicas en biopolímeros como el PLA al añadir silicato. Factores como Tg, Tc y Tm influyen directamente en su resistencia térmica. (Zohra et al., 2024)

2.2.2. Propiedades físicas del bioplástico derivado del colágeno de escama paiche

Por su parte, Osorio (2005) en su investigación “Caracterizacion de Arcilla para La Fabricacion de Ladrillos Artesanales” sostiene que:

> Las aplicaciones industriales de este grupo de minerales se deben a sus propiedades físico-químicas, las cuales están determinadas por su reducido tamaño de partícula (inferior a 2um), su estructura laminar y las sustituciones isomórficas que generan carga en sus láminas. Estas características les otorgan una alta área superficial y gran cantidad de superficie activa, permitiendo interacciones con diversas sustancias, comportamiento plástico en mezclas con agua y, en algunos casos, capacidad de hinchamiento.

Adicionalmente, en el estudio titulado “Caracterizacion de las Arcillas en el Peru: Mercados y Perspectivas”, elaborado por Díaz y Zedano (2006), mencionaron lo siguiente:

> El término "arcilla" puede definirse desde tres enfoques: petrológicamente, como una roca blanda y plástica al contacto con el agua, frágil en seco y con alta capacidad de absorción; mineralógicamente, como silicatos alumínicos hidratados

derivados del intemperismo de feldespatos o de procesos hidrotermales; y granulométricamente, como partículas menores a 2 micras. En la naturaleza, las arcillas suelen encontrarse mezcladas con otros materiales como limos, arenas ricas en cuarzo, humedad y materia orgánica, formando lo que se denomina "material arcilloso".

Reyes y Zambrano (2012), en su estudio “Optimización de un fluido base agua con alta capacidad inhibitoria de arcillas para la perforación de la zona intermedia del campo Dragón” sostuvieron que:

Las arcillas son minerales cristalinos formados hace millones de años, compuestos por silicoaluminatos hidratados. Se caracterizan por su tamaño menor a 2 micras y estructura laminar, lo que les confiere alta plasticidad y capacidad de hinchamiento. Según su interacción con el agua, pueden ser hidrofílicas o hidrofóbicas.

La adsorción, es un fenómeno en el que una sustancia se fija a la superficie de un sólido, depende de la porosidad y superficie específica del material. Se distingue de la absorción por su naturaleza química. Ambos procesos pueden ocurrir simultáneamente. La capacidad de adsorción de las arcillas varía según su tipo y el compuesto involucrado.

En un informe denamoniado “Perfil de Mercado de la Bentonita”, La Dirección General de Desarrollo Minero de México [DGDM] (2017), sostuvo que:

La bentonita es una arcilla compuesta principalmente por minerales del grupo de la esmectita, cuya definición actual no depende de su origen volcánico. Sus propiedades se deben a su estructura laminar, pequeño tamaño de partícula y sustituciones isomórficas, lo que le otorga alta superficie activa, plasticidad y capacidad de expansión. La hidratación del espacio interlaminar permite la dilatación entre láminas, influida por el tipo de catión presente. Su plasticidad se relaciona con

> el efecto lubricante del agua entre partículas, mientras que su capacidad de absorción y adsorción depende de su porosidad y superficie específica, lo que la hace útil en aplicaciones industriales y como material absorbente.

De igual modo, Mamani y Nizama (2020), en su investigación “Influencia de La Arcilla de Caolin en Las Propiedades Fisico-Mecanicos de Un Ladrillo Artesanal en La Localidad de Catache” sostuvieron que:

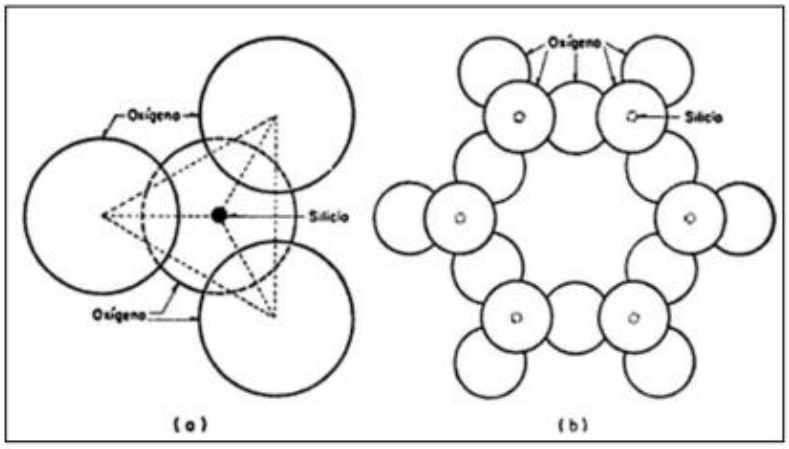
> La arcilla es un material de origen sedimentario compuesto por minerales ricos en silicatos hidratados de aluminio, hierro o magnesio, lo que le otorga propiedades específicas. Entre las principales características para su uso en la fabricación de ladrillos se encuentran: la plasticidad, que permite moldearla al mezclarse con agua; la contracción, que ocurre durante el secado por pérdida de agua en los poros; la porosidad y absorción, que varía según su composición; y la vitrificación, proceso mediante el cual se endurece al ser expuesta a altas temperaturas.
>
> El caolín resiste altas temperaturas, no es toxico ni abrasivo y presenta facilidad para la dispersión en agua; además, es absorbente y tiene baja viscosidad en altos porcentajes de sólidos. Es compacto, suave al tacto y difícilmente fusible; asimismo, es inodoro, moldeable y de fácil extracción.

Por otro lado, Moya (2022), en su estudio “Módulo de deformación volumétrica unitaria y módulo de elasticidad en arcillas de plasticidad media y alta” afirmó que:

> Lar acillas se definen generalmente como partículas menores de 0,002 mm, aunque en algunos casos las partículas entre 0,002 y 0,005 también se incluyen. Las partículas se clasifican como arcilla sobre la base de su tamaño ya que no pueden contener necesariamente minerales de arcilla. Las arcillas se definen como aquellas partículas que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua.

Figura 2

Esquema de la estructura de la lámina silícica

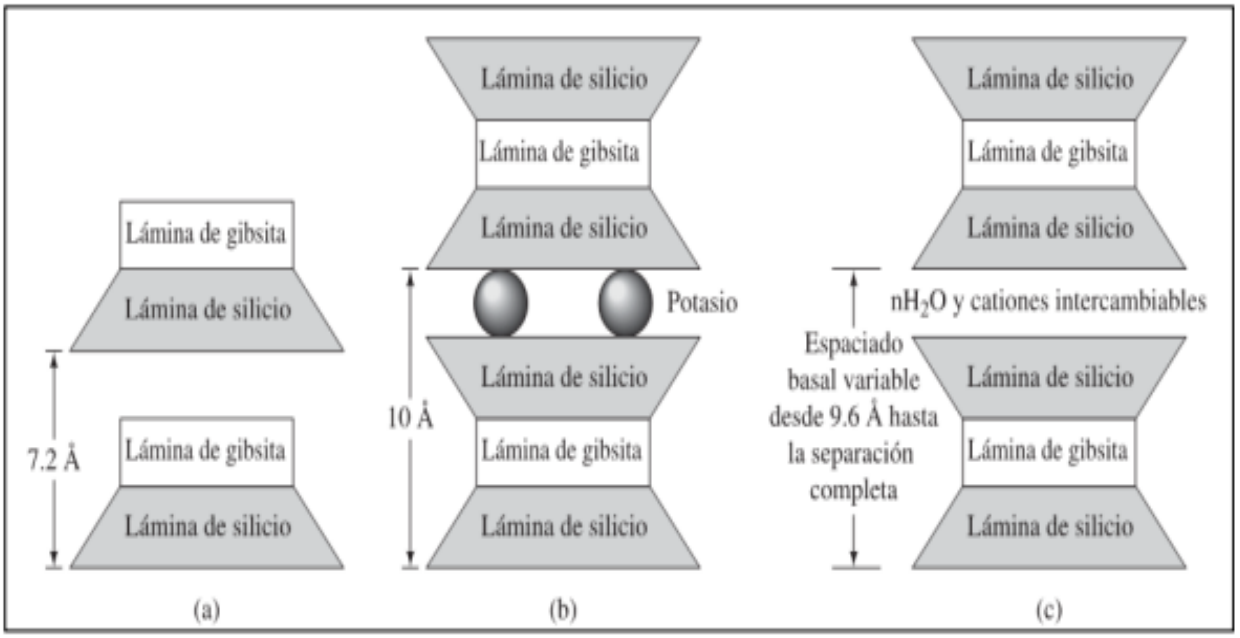


Nota. Obtenido de Juárez y Rico (2005, como se cita en Moya, 2022).

> Las láminas alumínicas de las arcillas están compuestas por retículas de octaedros con átomos de aluminio rodeados por oxígeno. Según su estructura, las arcillas se clasifican en tres grupos: caolinitas, montmorilonitas e illitas. Las caolinitas poseen una lámina silícica y otra alumínica unidas firmemente, lo que impide la penetración de agua, haciéndolas estables; se emplean en porcelana, pinturas y materiales de construcción. Las montmorilonitas tienen una lámina de aluminio entre dos silícicas, con enlaces débiles que permiten la entrada de agua, lo que provoca gran expansividad e inestabilidad; se usan en cultivos, hormigón liviano y lubricantes. Las illitas, similares a las montmorilonitas, tienden a formar grumos que limitan la absorción de agua, mostrando menor expansividad y mayor estabilidad; se utilizan en cosmética, dermatología y productos antisépticos. (Moya, 2022)

Figura 3

Diagrama de las estructuras de caolinita (a), illita (b) y montmorilonitas (c)



Nota. Obtenido de Braja (2013, como se cita en Moya, 2022).

Respecto a otro tipo de arcilla, Mapossa et al. (2023) en su estudio “Thermal, Morphological and Mechanical Properties of Multifunctional Composites Based on Biodegradable Polymers/Bentonite Clay: A Review” afirmaron que:

> La bentonita se encuentra en distintos países, superpuesta a otros depósitos minerales, y suele modificarse con compuestos orgánicos para hacerla compatible con polímeros. Este tratamiento cambia su carácter hidrófilo a organófilo, facilitando la exfoliación de sus capas en matrices poliméricas. Se utilizan comúnmente sales de alquilamonio cuaternario, cuyos iones de cadena larga aumentan el espaciamiento entre capas, permitiendo la penetración del polímero. Esta co-intercalación mejora la dispersión de la arcilla en la mezcla. La estabilidad térmica de la bentonita modificada se evalúa mediante análisis termogravimétrico (TGA).

2.2.3. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades mecánicas del bioplástico

Guarás (2013), en su investigación “Obtención y caracterización de nanocompuestos basados en mezclas de policaprolactona/almidón termoplástico” mencionó que:

> Las nanoarcillas han sido ampliamente estudiadas por su bajo costo y disponibilidad, lo que las hace competitivas como nano-refuerzos. Se desarrollaron nanocompuestos biodegradables a partir de una matriz polimérica de PCL y almidón termoplástico (TPS), compatibilizados con PCL funcionalizado (PCL-g-AM). Las mezclas 75/0/25 y 70/5/25 mostraron las mejores propiedades mecánicas. Estas formulaciones fueron reforzadas con montmorillonita (natural y modificada) en proporciones de 1% y 3%, mejorando significativamente el desempeño mecánico de los films, confirmando la eficacia de la nanoarcilla como agente reforzante.

Por su parte, Mapossa et al. (2023) afirmó que:

> Las propiedades mecánicas más evaluadas en nanocompuestos poliméricos son el módulo de Young, la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura, las cuales dependen de factores como el tipo de polímero, el contenido de nanorelleno, los aditivos y las interacciones interfaciales. Diversos estudios han demostrado que la incorporación de bentonita, tanto natural como organomodificada, mejora significativamente las propiedades mecánicas de matrices como PLA y PCL. Estas mejoras incluyen aumentos en el módulo de tracción y el límite elástico, atribuibles al grado de dispersión de la arcilla y su compatibilidad con la matriz polimérica.

En la referencia 76 de la siguiente tabla, se pudo observar que, el aumento en la concentración de arcilla bentonita, mejoró las propiedades mecánicas de los bioplásticos elaborados a base de almidón de ñame (carbohidrato complejo extraído del tubérculo de

ñame). “Esto se debería a la dispersión homogénea de la bentonita en la película compuesta bioplástica” (Mapossa et al., 2023).

Tabla 2

Propiedades mecánicas de nanocompuestos de bentonita basados en polímeros biodegradables.

Muestra	Módulo de Young (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Referencia
PCL puro	114,8 ± 2,0	12,4 ± 0,2	[8]
PCL–1,5 % en peso doblado	194,7 ± 12	13,9 ± 0,2	[8]
PCL–3,0 % en peso doblado	180,8 ± 22,1	13,6 ± 0,5	[8]
PCL–1,5 % en peso bCBK	203,2 ± 20,9	19,3 ± 0,8	[8]
PCL–3,0 % en peso bCBK	257,3 ± 37,0	19,8 ± 3,1	[8]
PLA limpio	28,5 ± 3,8	1,7 ± 0,2	[75]
PLA/Bentonita	42,0 ± 4,3	2,6 ± 0,3	[75]
Películas de almidón	40,9 ± 6,04	2,56 ± 0,13	[76]
Almidón/bentonita (0,5 % en peso)	45,35 ± 3,03	2,66 ± 0,72	[76]
Almidón/bentonita (1 % en peso)	54,38 ± 7,89	3,053 ± 0,361	[76]
Almidón/bentonita (1,5 % en peso)	72,65 ± 11,42	4.063 ± 0.12	[76]
PLA limpio	452 ± 66	37,0 ± 6,0	[77]
PCL/Bentonita (5 % en peso)	767 ± 61	42,3 ± 2,5	[77]

Nota. Obtenido de Mapossa et al. (2023).

2.2.4. Propiedades mecánicas del bioplástico derivado del colágeno de escama paiche

En el estudio “Micromechanical analysis of native and cross-linked collagen type I fibrils supports the existence of microfibrils”, Yang et al. (2012), encontraron que:

> Las propiedades mecánicas de fibrillas individuales de colágeno (200 nm de diámetro) fueron evaluadas mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) adaptada, realizando ensayos de tracción en tampón PBS. Se observó un comportamiento tensión-deformación viscoelástico, con histéresis y dependencia de la velocidad de deformación. La relajación de tensión se ajustó con una serie de Prony de dos términos. Además, se analizó el efecto de distintos agentes de reticulación, concluyéndose que tanto el deslizamiento entre microfibrillas como entre moléculas de colágeno influye en sus propiedades viscoelásticas, aportando comprensión a su comportamiento micromecánico.

Respecto a las características del colageno, Fegan (2017), en su estudio de la quimica de la gelatina del colageno, afirmó que:

> La gelatina y el colágeno están formados por cadenas polipeptídicas unidas por enlaces de hidrógeno, cuya organización da lugar a la estructura secundaria de las proteínas. El colágeno se compone de tres cadenas que forman una triple hélice, otorgándole gran estabilidad y resistencia mecánica, clave para el soporte estructural de los tejidos. Al aplicar calor, esta estructura se desnaturaliza, dando origen a la gelatina, que es colágeno parcialmente desorganizado. Como el colágeno es insoluble en agua, se hidroliza en medios ácidos o básicos, generando gelatina tipo A o B, respectivamente. Al enfriarse, las cadenas intentan reestructurarse parcialmente, formando zonas de unión (donde reaparecen hélices) y regiones amorfas con estructura desordenada.

Por su parte Irais (2018) encontró que:

> El marlin azul (Makaira nigricans) y el tiburón sedoso (Carcharhinus falciformis) son las especies que presentan el mayor volumen de capturada de la pesca ribereña, y son las que mayor volumen de residuos genera, por ende, sería la partida para la extracción de gelatina y para la elaboración de bioplásticos. La extracción de gelatina se realizó con un tratamiento ácido- básico; una vez extraída fue mezclada con glicerol y procesada por el método de extrusión - inyección. La caracterización mecánica fue realizada con ensayos de tensión siguiendo la norma ASTM D638. Los bioplásticos mostraron un módulo de elasticidad 1300 MPa similar al que presenta el PVC plastificado.

Por otro lado, Alzáte et al. (2018) en su investigación “Bioplásticos de colágeno parcialmente hidrolizado obtenido de las escamas del bocachico (Prochilodum magdalenae), reforzados con cascarilla de arroz”, sostuvieron que:

> En este estudio se muestran los resultados de resistencia a la tensión y deformación a la máxima tensión de bioplásticos elaborados con colágeno parcialmente hidrolizado obtenido de las escamas del bocachico (Prochilodum magdalenae), reforzados con cascarilla de arroz al 3%, 5%, y 10%. Se obtuvo el colágeno, se elaboraron los bioplásticos, y se les caracterizó la resistencia y deformación. Los resultados de las pruebas arrojaron que el bioplástico con cascarilla de arroz al 3% presenta una mayor elasticidad, pero menor resistencia, el del 5% exterioriza un término medio de resistencia y elasticidad y el del 10% demuestra menor elasticidad, pero mayor resistencia. Concluyendo que los bioplásticos al 3% y al 10% son los que presentan mejores propiedades mecánicas.

Según Acosta y Candela (2020), su investigación presentó como objetivo, determinar la obtención del bioplástico utilizando el colágeno de los residuos de pescado del terminal pesquero Villa María, donde sostuvieron lo siguiente:

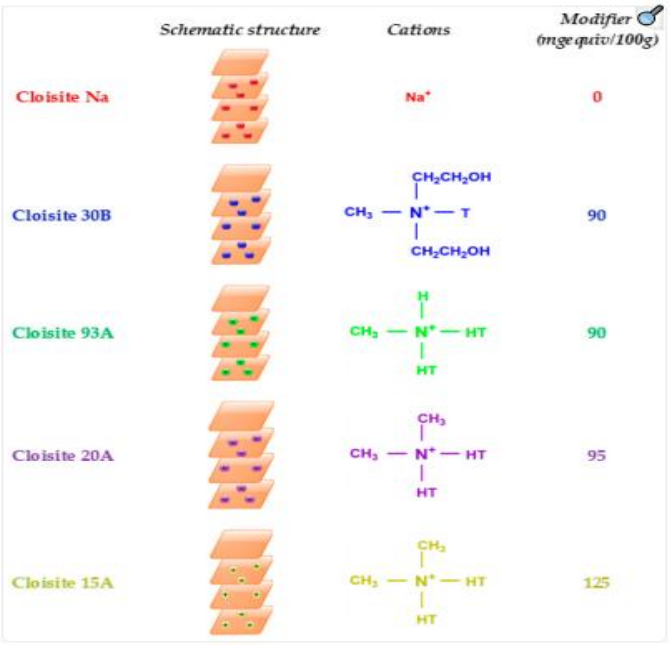
> Se procedió a la extracción de colágeno, en la que se desinfecto con NaClO al 1% de concentración y se dispuso 15 días en un sistema invernadero. Para la obtención de bioplástico, se mezcló glicerina, carbonató de sodio, almidón de yuca, ácido acético orgánico y agua destilada. La dosis D1-(10 g - 10 g) en la prueba físico-mecánicas presento un mayor porcentaje de alargamiento, resistencia de tracción, estando conformado por 10 g de almidón de yuca, 3 ml de glicerina, 10 g de colágeno de residuos de pescado, 2 ml de ácido acético y 1 g de carbonato de sodio.

Marin et al. (2021), en su estudio “Development of New Collagen/Clay Composite Biomaterials”, afirmaron que:

> Las estructuras de los diferentes tipos de Cloisitas se proporcionan en el esquema a continuación. Las arcillas comerciales: Cloisita 20A, Cloisita 15A, Cloisita 93A y Cloisita 30B son montmorillonitas modificadas orgánicamente con sales de amonio cuaternario de ácidos grasos, mientras que Cloisita Na representa el nombre comercial de la montmorillonita sin ninguna organomodificación. A través del proceso de organomodificación o reacción de intercambio catiónico, la superficie hidrófila de la montmorillonita se convierte al estado hidrófobo. Por lo tanto, los grupos funcionales hidrófobos aumentan beneficiosamente las interacciones entre la arcilla y las moléculas no polares.

Figura 4

Estructuras esquemáticas de los diferentes tipos de arcillas minerales



Nota. Obtenido de Marin et al. (2021).

Pruebas Mecánicas Colágeno/Arcilla

Las muestras compuestas de colágeno y arcilla mostraron mejor comportamiento mecánico que el colágeno puro. La incorporación de arcillas estratificadas fortaleció la matriz polimérica en estado seco, actuando como refuerzo elástico y mejorando la resistencia a la tensión. Entre las arcillas empleadas, la Cloisita Na generó el compuesto con mayor resistencia a la compresión. Las muestras con arcillas más hidrofóbicas presentaron menor resistencia, posiblemente por una distribución menos favorable de las plaquetas dentro de la matriz. Esta disposición, en su mayoría intercalada, fue confirmada mediante difracción de rayos X. El colágeno puro mostró mayor deformación bajo tensión, mientras que los compuestos con arcillas hidrófilas se deformaron mucho menos y recuperaron su forma más

eficazmente, gracias a una elasticidad inducida por los grupos orgánicos presentes. (Marin et al., 2021).

Plasticidad De Arcillas

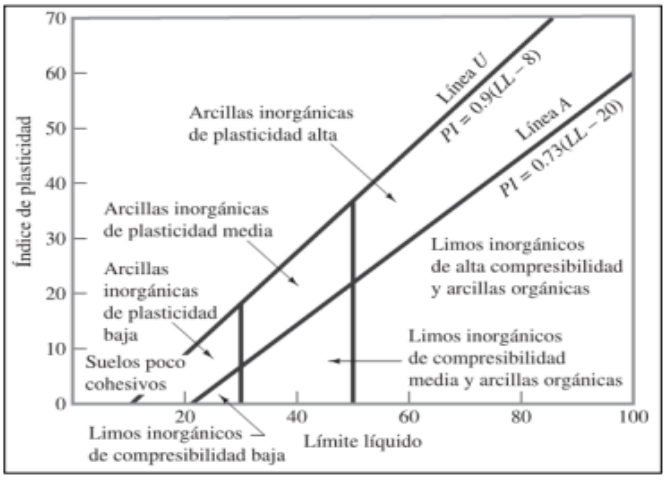
"La plasticidad se puede definir como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse" (Moya, 2022).

Límite Plástico De Arcillas

El límite plástico (WP) es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo pierde su capacidad plástica, y se determina mediante la formación de hilos delgados de suelo amasado. Según Casagrande, las arcillas con límite líquido (WL) mayor a 50% son de alta plasticidad (CH), mientras que aquellas con WL menor a 50% son de baja plasticidad (CL). Utilizando la línea A y este criterio, la carta de plasticidad de Casagrande permite clasificar suelos como arcillas (CL y CH), limos y suelos orgánicos de baja (ML-OL) y alta plasticidad (MH-OH). (Moya, 2022)

Figura 5

Carta de plasticidad



Nota. Obtenido de Braja (2013, como se cita en Moya, 2022).

Módulo De Elasticidad

El módulo elástico o de Young representa la relación entre la tensión aplicada y la deformación resultante en un material sólido, sin considerar la deformación transversal. Se expresa en unidades de tensión (MPa, PSI, kgf/cm²) y depende de la densidad del material. En suelos, este módulo no es constante, ya que estos no son homogéneos, isotrópicos ni estrictamente elásticos. Su comportamiento se aleja del modelo ideal de la teoría de elasticidad. Además, el módulo varía con la presión de confinamiento y tiende a aumentar con la profundidad. Por ello, se considera una magnitud aproximada que depende de las condiciones específicas de carga. (Moya, 2022)

Tabla 3

Parámetros elásticos para varios tipos de suelos

Tipo de Suelo	Módulo de Elasticidad Es (MN/m_2)	Coeficiente de Poisson μ_s
Arena Suelta	10,0-25	0,20-0,40
Arena semi-densa	15-30	0,25-0,40
Arena densa	35-55	0,30-0,45
Arena Limosa	10,0-20,0	0,20-0,40
Arena y grava	70-170	0,15-0,35
Arcilla blanda	4,0-20	
Arcilla media	20-40	0,20-0,50
Arcilla dura	40-100	

Nota. Obtenido de Braja (2013, como se cita en Moya, 2022).

Siguiendo el mismo lineamiento, Zohra et al. (2024) sostuvo que:

Los parámetros mecánicos más analizados en nanocompuestos de biopolímeros son el alargamiento a la rotura, el módulo de Young y la resistencia a la tracción. Estas propiedades dependen del tipo de biopolímero, la cantidad y forma del nanorrefuerzo, los métodos de procesamiento y la red formada por las partículas.

La fuerte interacción entre la nanoarcilla y la matriz, junto con su alta rigidez, mejora significativamente el desempeño mecánico.

2.2.5. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades químicas del bioplástico

Según Lubis et al. (2020), quien trabajo un bioplástico de almidón de semilla de mango con micro partícula de arcilla como refuerzo, detalló que:

> La biodegradabilidad se realizó plantando mediante el entierro en el suelo y la muestra colgado en el aire, observando una rápida reducción del peso residual por plantación. Esto es porque en el suelo existe actividades microbianas que rompen las cadenas de polímero, así provocando una rápida degradación.

Por su parte Mapossa et al. (2023) afirmó que:

> Las arcillas orgánicas como la bentonita mejoran notablemente propiedades de polímeros biodegradables, como la resistencia a la tracción, el módulo, la estabilidad térmica, la impermeabilidad a gases y la biodegradabilidad. Estas mejoras se deben a la fuerte interacción entre la arcilla y la matriz polimérica. Sin embargo, la producción de estos compuestos presenta retos, como lograr una dispersión uniforme de las nanopartículas, evitar su aglomeración y mantener la estabilidad térmica durante el procesamiento. Las sales de amonio utilizadas en la modificación pueden degradarse, afectando la durabilidad. Además, la producción a gran escala enfrenta complicaciones relacionadas con la variabilidad de materias primas y el control del proceso. Para superar estos desafíos, es esencial aplicar estrategias de formulación, procesamiento y uso de aditivos adecuados.

Por otro lado, Zohra et al. (2024) sostuvo que:

> Para mitigar la contaminación por plásticos, se ha promovido el uso de polímeros biodegradables en envases. Su degradación, o mineralización, ocurre mediante la

acción enzimática de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras, siendo influenciada por factores como pH, oxígeno y humedad. Este proceso permite la descomposición del polímero en minerales. La incorporación de nanoarcillas en biopolímeros, como quitosano, almidón, ácido poliláctico y policaprolactona, mejora su biodegradabilidad, facilitando una descomposición más rápida tras su descarte.

En el estudio “Determinacion del pH en diferentes tipos de arcillas”, Bermeo et al. (s.f.), afirmaron lo siguiente:

> En la caolinita, un pH inferior a 5 genera cargas positivas en los bordes de las partículas, favoreciendo su atracción. En general, un pH bajo en las arcillas produce electropositividad, lo que influye directamente en su capacidad de intercambio catiónico. Esta propiedad permite atraer cationes del suelo, como el sodio, que al reaccionar con aniones como el cloro pueden formar electrolitos como el cloruro de sodio. La presencia de estos electrolitos afecta negativamente la plasticidad de la arcilla, dificultando su manipulación. Además, un alto poder de adsorción puede llevar a la retención de iones no deseados como el aluminio, formando complejos inestables que alteran la estructura interna de las láminas y reducen aún más su plasticidad.

2.2.6. Propiedades químicas del bioplástico derivado del colágeno de escama paiche

Li et al. (2009), en su investigación “pH effects on collagen fibrillogenesis in vitro: Electrostatic interactions and phosphate binding” mencionaron que:

> El colágeno tipo I está compuesto por tres cadenas peptídicas entrelazadas que forman una estructura de triple hélice. Estas hélices se organizan espontáneamente en fibrillas con una estructura repetitiva conocida como periodicidad D, observada por primera vez hace más de 50 años mediante microscopía electrónica y difracción

> de rayos X. Esta periodicidad se relaciona con segmentos repetidos de 234 aminoácidos. La formación de estas fibrillas ocurre bajo condiciones controladas de pH (entre 5,0 y 8,5), fuerza iónica (de 0,1 a 0,8) y temperatura (entre 15 y 37 °C). El proceso de autoensamblaje del colágeno puede verse afectado por diversos factores, como el pH, la temperatura, el tipo y concentración de iones.

En el estudio denominado “Recent advances in 3D bioprinting of vascularized tissues”, respecto al colageno, Zhang et al. (2021), afirmaron que:

> La gelatina es una proteína fibrosa derivada del colágeno por hidrólisis irreversible. Presenta las ventajas de una alta capacidad de absorción de agua, excelente biocompatibilidad, no inmunogenicidad y biodegradabilidad completa. La gelatina acuosa es termosensible y forma hidrogel mediante enlaces de hidrógeno a bajas temperaturas (<35 °C), mientras que, a 37 °C, la gelatina sólida puede convertirse en un líquido viscoso y ser fácilmente impresa mediante extrusión. Dado que la gelatina pura se disuelve completamente en 24 horas, se suele utilizar como material de soporte sacrificial que se retira tras la impresión, dejando canales huecos para la obtención de tejidos vascularizados.

Por su parte, González Araya (2023), en su estudio “Caracterización experimental de la arcilla garumniense bajo ciclos de hielo-deshielo en laboratorio” afirmó que:

> La erosión de suelos es uno de los problemas ambientales relevantes a escala global. En zonas de gran pendiente y con suelo arcilloso se generan formas del terreno singulares, las cárcavas, donde la degradación de arcillas por la meteorización y su erosión posterior se produce a un ritmo muy rápido, superando localmente los 5 cm al año. En zonas de montaña de clima suficientemente húmedo, a la degradación de la arcilla por los ciclos de humidificación y desecación hay que

sumarle la debida a los ciclos de hielo y deshielo, que tiene una mayor influencia en la tasa de meteorización.

Respecto a al pH, Bermeo et al. (s.f.), sostuvo que:

El pH de las arcillas puede ser una ventaja o un inconveniente en la elaboración de cerámicas, dependiendo de su tipo. Las arcillas absorbentes tienden a ser más alcalinas, ya que retienen más agua, la cual se disocia y libera iones OH^-, elevando el pH. Por otro lado, la presencia de compuestos ácidos como sulfatos puede reducir el pH. Las arcillas comunes suelen tener un pH entre 4,5 y 6,5. Un pH demasiado ácido provoca floculación difícil de revertir, mientras que un pH muy alcalino facilita la desfloculación, útil para barbotinas, pero negativo para pastas moldeables. El pH óptimo para porcelanas es de 7,5. Este valor puede ajustarse añadiendo ácidos o carbonatos al agua usada en la preparación. Además, el pH varía según la proporción arcilla/agua, el tiempo de contacto y la agitación durante la medición.

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Arapaima gigas:** Nombre científico del pez de nombre paiche. (Stewart & Donald, 2013)
- **Arcilla:** Material que surge a partir de la agregación de silicatos de aluminio derivados del proceso de descomposición de distintos minerales. (Pérez & Merino, 2017)
- **Biopolímeros:** El biopolímero está formado por macromoléculas que está presente en los seres vivos de origen vegetal como en la celulosa, colágeno entre otras. (Castrejón, 2012)
- **Colágeno:** El colágeno es una proteína que representa más del 25 por ciento del total de las proteínas que forman parte del organismo de los mamíferos, lo que la

convierte en la proteína más importante. Su importancia radica en que genera fibras muy resistentes y flexibles, las llamadas fibras colágenas. (Meisenberg & Simmons, 2018)

- **Plastificante:** Los plastificantes son sustancias que se añaden para alterar las propiedades físicas de un material. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del fundido. (Beltrán & Marcilla, 2011)

- **Glicerina:** Alcohol que contiene tres grupos hidroxilos; estos grupos ayudan a ser soluble en el H2O. Su consistencia es viscoso y transparente. Se lo utiliza en la formulación de los bioplásticos por sus propiedades plastificantes este proporcionó un buen comportamiento mecánico como la flexibilidad y resistencia a la rotura. (Martínez, 2019)

- **Polímeros:** Un polímero no es más que una macromolécula, formada por decenas de millares de unidades de repetición, las cuales se encuentran unidas por enlaces covalentes, formando principalmente una estructura de cadena. (Irais, 2018)

- **Polipropileno:** Es un termoplástico que es obtenido mediante la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Esto es desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidado de control de temperatura y presión. (Anbinder, 2011)

- **Termoplástico:** Los termoplásticos son polímeros que se pueden calentar hasta un punto en el que se vuelven maleables, permitiendo su moldeado en diversas formas. Una vez enfriados, conservan la forma y pueden ser re-calentados y re-moldeados. (Díaz, 2023)

- **Elasticidad:** Capacidad de un cuerpo material deformado de recuperar su forma y tamaño originales al cesar las fuerzas que lo causan. Se dice que un cuerpo con esta capacidad se comporta (o responde) elásticamente. (Encyclopedia Britannica, 2025)

- **Plasticidad:** Es una propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico. (Pérez & Gardey, 2022)

- **Elongación:** Es la cantidad de deformación plástica o permanente determinada después de la fractura al realinear y ajustar los extremos rotos de la muestra. (Cohen, 2010)

- **Resistencia al calor:** No se quema ni se derrite fácilmente. (Diccionario Británico, s.f.)
- **Higroscópico:** Conjunto de compuestos que reaccionan atrayendo agua en forma de vapor o de líquido de su entorno o ambiente, siendo utilizados en la industria como mecanismo desecante. (GSL Industrias, 2021)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación.

La investigación se desarrolló con una metodología de tipo experimental, según la fuente de información fue básica, desarrolló un nivel de investigación exploratoria, donde se utilizó como base el método de extracción de colágeno de escamas utilizado por Jaimes et al. (2020) para la extracción de colágeno de las escamas de paiche (*arapaima gigas*).

Se utilizó diferentes dosis del aditivo “arcilla” para la obtención del bioplástico. Una vez obtenido el resultado se sometió a pruebas en el laboratorio para determinar la variación sus propiedades (físicas, mecánicas, químicas).

Según el propósito de investigación: fue del tipo Aplicada.

Según el nivel de profundización en el objeto de estudio, fue exploratorio.

Según el tipo de datos empleados, fue cuantitativa.

Según el grado de manipulación de las variables, fue experimental.

Según el tipo de inferencia fue de método deductivo.

Tipo de investigación: Básica, pues el objetivo fue generar el conocimiento necesario para la fabricación óptima de un bioplástico a partir de la dosis de arcilla y el colágeno de la escama de paiche.

Nivel de investigación: Exploratoria, puesto que se desconocía el efecto de la dosis de aditivo en las propiedades del bioplástico.

3.2. Población y muestra.

3.2.1. Población.

Todo el colágeno extraído de 5,380 kg de las escamas de paiche criados en la piscigranja de la empresa “Servicios Agropecuarios S.R.L.” ubicado en el distrito de Campo Verde, provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali – Perú.

Tabla 4

Coordenadas UTM de las Piscigranjas de la empresa SERVAGRO S.R.L.

Vértice	X	Y
1	529955	9058607
2	530585	9058801
3	530361	9057317
4	531007	9057504

3.2.2. Muestra.

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. (Johnson, 2014, Hernández-Sampieri et al., 2013 y Battaglia, 2008b, como se cita en Hernández et al., 2014)

La muestra es del tipo no probabilístico, el cual fue 621,6g de colágeno, esto se justifica con la siguiente tabla.

Tabla 5

Distribución de colágeno-arcilla para la experimentación de 1 propiedad

Tratamiento	Dosis (Arcilla: Colágeno)	Repetición	Mezcla	
			Arcilla	Colágeno
T1	(0:100)	1	0	8
		2	0	8
		3	0	8
T2	(5:95)	1	0,4	7,6
		2	0,4	7,6
		3	0,4	7,6
T3	(10:90)	1	0,8	7,2
		2	0,8	7,2
		3	0,8	7,2
T4	(15:85)	1	1,2	6,8
		2	1,2	6,8
		3	1,2	6,8
	Total		7,2	88,8

Nota. La unidad de medida de todos los datos fue el gramo (g).

En cada repetición la masa de la muestra fue de 8 g, el motivo fue determinar el comportamiento de cada cuerpo teniendo el mismo peso variando las concentraciones para simular el comportamiento de un producto elaborado. Se realizaron 3 repeticiones en el laboratorio para cada formulación (Arcilla: Colágeno) como se muestra en el la tabla 5. Para el análisis de 1 propiedad se utilizó 24 g de colágeno para el T1, 22,8 g de colágeno para el T2, 21,6 g de colágeno para el T3 y 20,4 g de colágeno para el T4, dando un total de 88,8 g de colágeno. Fueron 7 las propiedades para analizar, por lo tanto, se multiplicó por 7 la sumatoria de colágeno de la tabla 5 para obtener la cantidad de colágeno total.

$$Colágeno: 88{,}8\ g\ \times 7 = 621{,}6\ g$$

La adición de arcilla corresponde a la relación determinada por (Colágeno: Arcilla) 100:0, 95:5, 90:10 y 85:15 para los tratamientos 1, 2, 3, 4 respectivamente, se obtuvo 7,2 g para el análisis de 1 propiedad, observado en la tabla 5. Del mismo modo, se multiplicó por 7 el total de arcilla de la tabla 5 para obtener la cantidad de arcilla total.

$$Arcilla: 7{,}2\ g\ \times 7 = 50{,}4\ g$$

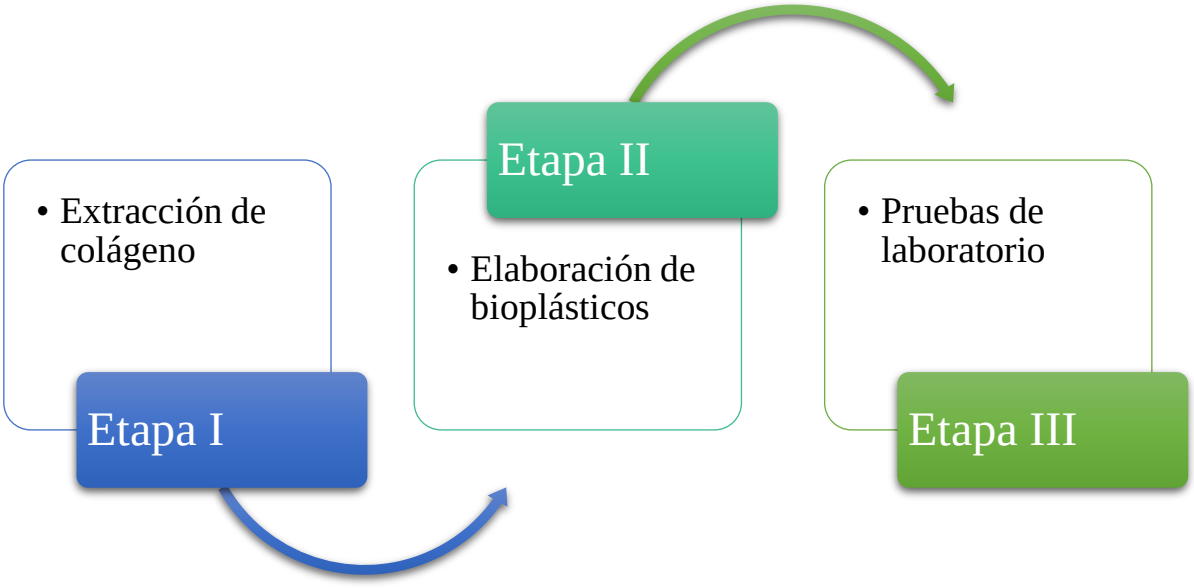
3.3. Procedimientos de recolección de datos.

Las actividades de esta investigación se realizaron en 3 etapas (Extracción de colágeno, elaboración de bioplásticos, pruebas de laboratorio). Por la naturaleza experimental de la investigación se probaron diferentes procedimientos y métodos, sin embargo, por practicidad y objetividad se detallarán solo los procedimientos y los métodos que mostraron los resultados deseados.

Después de recolectar todos los datos de los ensayos, se obtuvieron los promedios cuantitativos de los efectos producido por la dosis del aditivo arcilla en las propiedades del bioplástico. Estos promedios permitieron obtener una visión más clara de la incidencia del aditivo y cómo los datos se diferenciaban según el tratamiento desarrollado, gracias a esto, se obtuvo una evaluación global, desarrollada en la tabla N° 7.

Figura 6

Etapas de la investigación



Descripción de procedimientos

3.3.1 Extracción de colágeno

Se recolectó 5,380 kg de escamas de paiche (*Arapaima gigas*) de las instalaciones del CITE Pesquero de Pucallpa. Las escamas fueron obtenidas después del proceso de lavado y almacenado de la carne y piel de paiche. Las escamas no contaban con un uso determinado, por ello fueron donadas en beneficio de esta investigación.

Se lavaron las escamas con abundante agua, separándolas de impurezas mayores como restos de piel, grasas, etc. Luego fueron almacenadas en una congeladora para su posterior uso en el laboratorio.

Para el proceso de obtención de colágeno se siguió la guía metodológica utilizada por Jaimes et al. (2020). Las escamas fueron retiradas del almacenamiento en distintas proporciones para iniciar el proceso de extracción de colágeno.

Se inicio el proceso lavando las escamas con 2 volúmenes diferentes de agua, el primer volumen constaba de una solución de Cloruro de Sodio (NaCl) al 5% durante 30 minutos, el segundo volumen de agua constaba de una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0,1N durante 1 hora con el fin de eliminar las proteínas no colagenosas, después de esto todas las escamas fueron almacenadas nuevamente en la congeladora.

En el primer ensayo se utilizó 90 g de escamas, se llevó a la cocina en una olla conteniendo 2 litros de agua. El proceso de hidrolisis térmica duró 150 minutos a una temperatura de 90 grados centígrados, se utilizó un termómetro digital para controlar la temperatura.

Transcurrido el tiempo, se retiró la olla del fuego y se procedió a filtrar el líquido sobrante, es importante mencionar que este proceso se trabajó en caliente, debido a que, el colágeno es un biopolímero de peso molecular grande y el líquido que se obtiene presenta alta densidad, la filtración se realizó rápidamente antes que se enfrié, se utilizó una tela blanca de filtrado separando el líquido del material solido restante, este líquido se

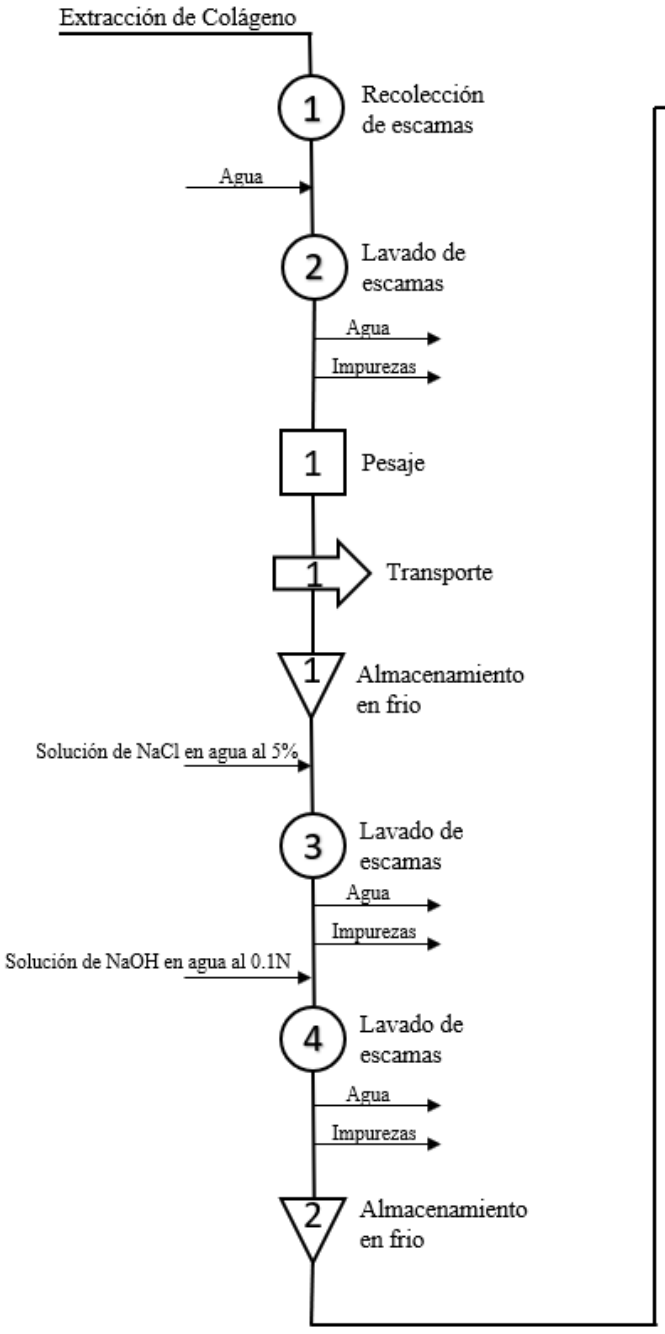
puso en un recipiente de silicona. El objetivo fue conocer con exactitud la cantidad de colágeno obtenida, para esto la muestra se llevó a un horno de secado durante 24 horas a una temperatura de 70 °C. Finalmente se obtuvo 16 g colágeno sólido en este primer ensayo.

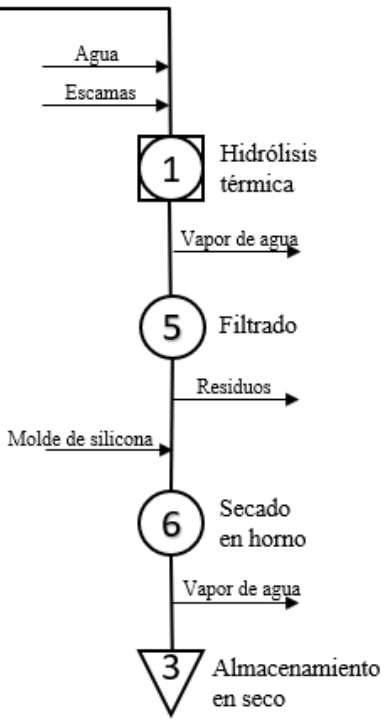
El proceso anterior se repitió 8 veces, después de esto, se aumentó las cantidades de escamas en el proceso de solución (400 y 500 g), de igual manera se incrementó el volumen de agua a 5 litros y el tiempo aumentó a 5 horas para acelerar el proceso, la cantidad de colágeno obtenido fue menor en relación al peso inicial de escamas con el peso final de colágeno, sin embargo, la diferencia fue poco significativa y se optó por continuar con el procedimiento para ahorrar tiempo y energía.

Es importante mencionar que después del proceso de hidrolisis térmica, el líquido que se obtuvo en la olla no era 100% colágeno, la solución contenía un porcentaje desconocido de agua, debido a esto, fue necesario extraer el agua para el correcto cálculo de las proporciones en la elaboración del bioplástico.

Figura 7

Diagrama de operaciones de proceso de la extracción de colágeno





Símbolo	Actividad	Cantidad
	Operación	6
	Inspección	1
	Mixta	1
	Almacenamiento	3
	Transporte	1

3.3.2. Elaboración de bioplásticos

Después de obtener todo el colágeno, se dividió el resultado entre todas muestras consideradas en cada tratamiento para cada propiedad, estos valores se encuentran detallados en la tabla 5.

Se contemplaron 4 tratamientos con diferentes concentraciones de colágeno: arcilla para determinar el efecto del aditivo arcilla en las propiedades del bioplástico resultante.

Tratamiento 1:

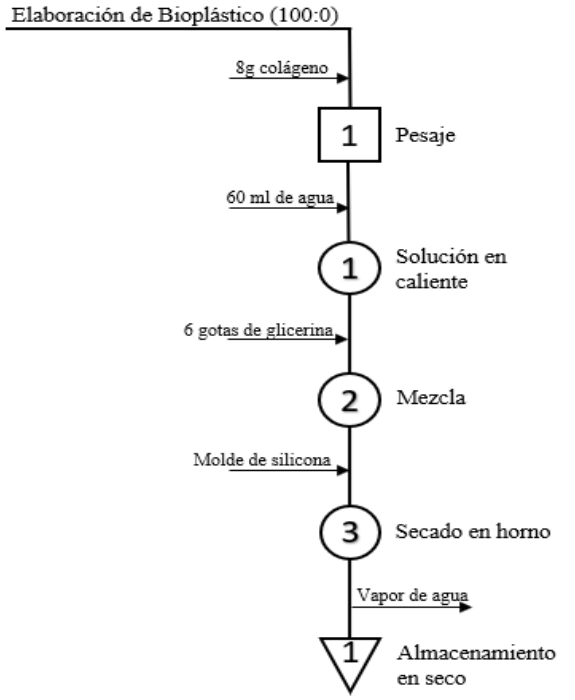
Para la elaboración del bioplástico del primer tratamiento se consideró una composición de 100:0 (colágeno:arcilla), por ello se utilizó 8 g de colágeno, esta formulación sirvió como muestra testigo para comparar el cambio en las propiedades de las muestras con arcilla y con ello determinar el efecto del aditivo en las propiedades del bioplástico.

Se colocaron las muestras de colágeno en vasos precipitados con 60 ml de agua destilada, se llevaron al horno durante 1 hora a una temperatura de 70 °C para acelerar el proceso de dilución. Transcurrido el tiempo en el horno, se retiraron las muestras diluidas de colágeno. Adicionalmente, se agregaron 6 gotas de glicerina a cada muestra y se agitó suavemente con una bagueta, después, se vertió el contenido de cada vaso precipitado en los moldes de silicona, posteriormente, se colocaron estas muestras nuevamente al horno para secarse a una temperatura de 70 °C durante 24 horas.

Finalmente se retiraron las muestras del horno y se dejaron enfriar durante 24 horas para su posterior desmolde. Este proceso se repitió 7 veces, una para cada propiedad.

Figura 8

Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplástico con 0% de arcilla (testigo)



Símbolo	Actividad	Cantidad
○	Operación	3
□	Inspección	1
▽	Almacenamiento	1

Tratamiento 2:

Para la elaboración del bioplástico del segundo tratamiento se consideró una composición de 95:5 (colágeno:arcilla), por ello se utilizó 7,6 g de colágeno y 0,4 g de arcilla.

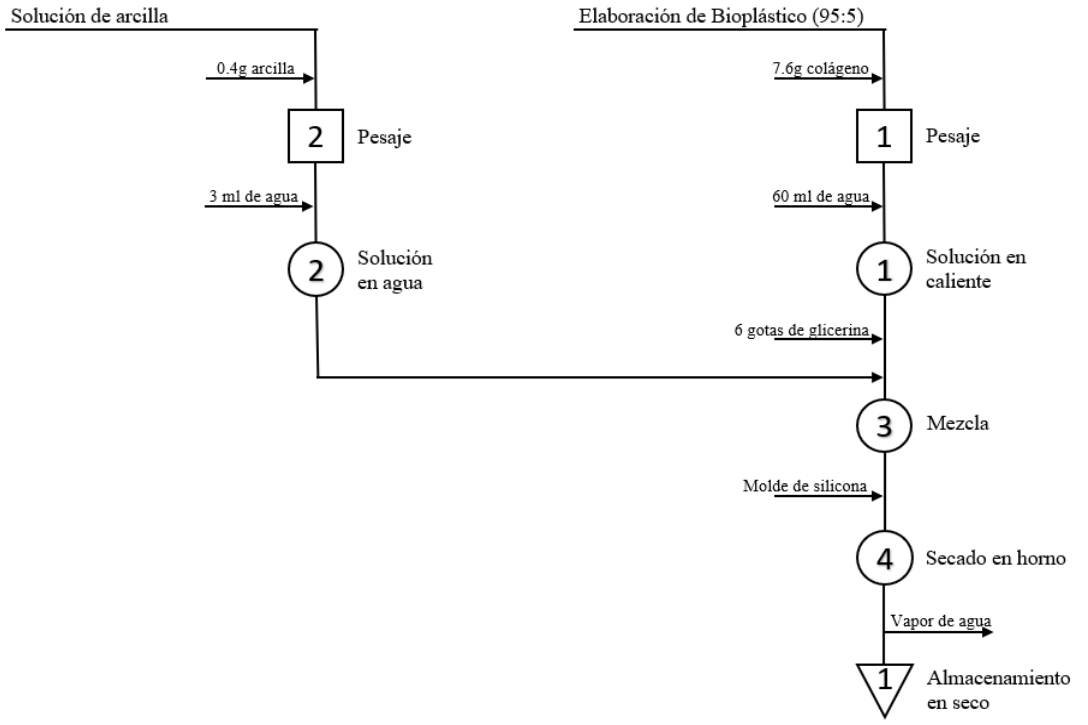
Se colocaron las muestras de colágeno en vasos precipitados con 60 ml de agua destilada, se llevaron al horno durante 1 hora a una temperatura de 70 °C para acelerar el proceso de dilución, paralelamente se usaron placas petri para preparar muestras de 0.4 g de arcilla diluidas en 2 ml de agua. Transcurrido el tiempo en el horno, se retiraron las

muestras diluidas de colágeno y se mezclaron con las muestras de arcilla diluida. Adicionalmente, se agregaron 6 gotas de glicerina a cada muestra y se agitó suavemente con una bagueta, después, se vertió el contenido de cada vaso precipitado en los moldes de silicona, posteriormente, se colocaron estas muestras nuevamente al horno para secarse a una temperatura de 70 °C durante 24 horas.

Finalmente se retiraron las muestras del horno y se dejaron enfriar durante 24 horas para su posterior desmolde. Este proceso se repitió 7 veces, una para cada propiedad.

Figura 9

Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplásticos con 5% de arcilla



Símbolo	Actividad	Cantidad
○	Operación	4
□	Inspección	2
▽	Almacenamiento	1

Tratamiento 3:

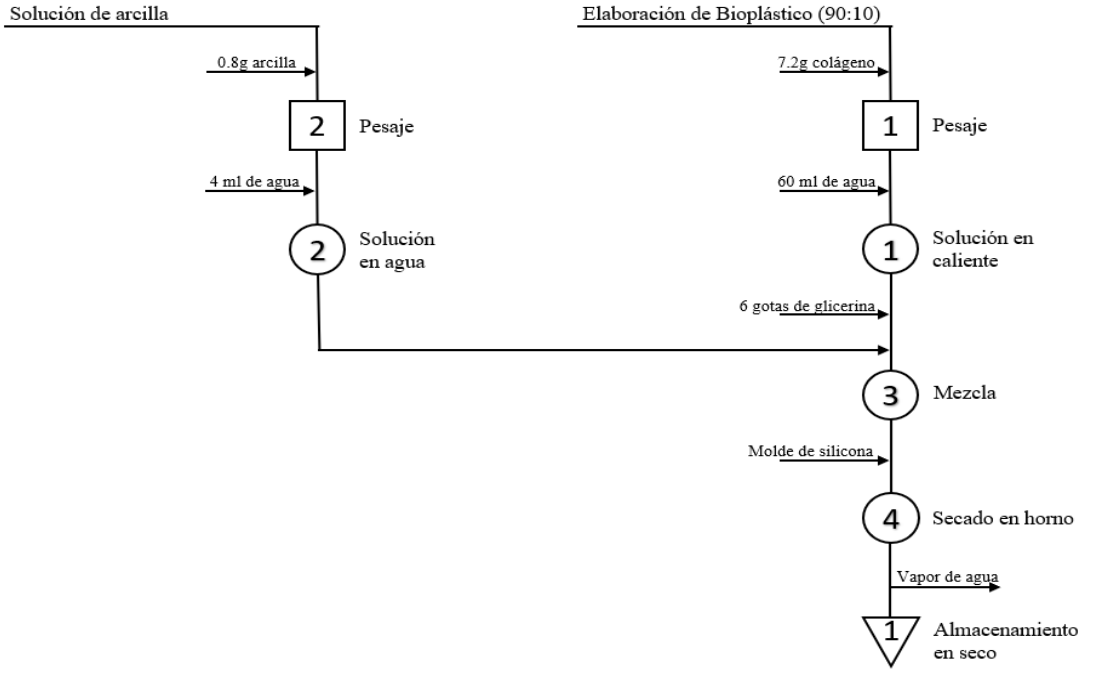
Para la elaboración del bioplástico del tercer tratamiento se consideró una composición de 90:10 (colágeno:arcilla), por ello se utilizó 7,2 g de colágeno y 0,8 g de arcilla.

Se colocaron las muestras de colágeno en vasos precipitados con 60 ml de agua destilada, se llevaron al horno durante 1 hora a una temperatura de 70 °C para acelerar el proceso de dilución, paralelamente se usaron placas petri para preparar muestras de 0,8 g de arcilla diluidas en 4 ml de agua. Transcurrido el tiempo en el horno, se retiraron las muestras diluidas de colágeno y se mezclaron con las muestras de arcilla diluida. Adicionalmente, se agregaron 6 gotas de glicerina a cada muestra y se agitó suavemente con una bagueta, después, se vertió el contenido de cada vaso precipitado en los moldes de silicona, posteriormente, se colocaron estas muestras nuevamente al horno para secarse a una temperatura de 70 °C durante 24 horas.

Finalmente se retiraron las muestras del horno y se dejaron enfriar durante 24 horas para su posterior desmolde. Este proceso se repitió 7 veces, una para cada propiedad.

Figura 10

Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplásticos con 10% de arcilla



Símbolo	Actividad	Cantidad
○	Operación	4
□	Inspección	2
▽	Almacenamiento	1

Tratamiento 4:

Para la elaboración del bioplástico del cuarto tratamiento se consideró una composición de 85:15 (colágeno:arcilla), por ello se utilizó 6,8 g de colágeno y 1,2 g de arcilla.

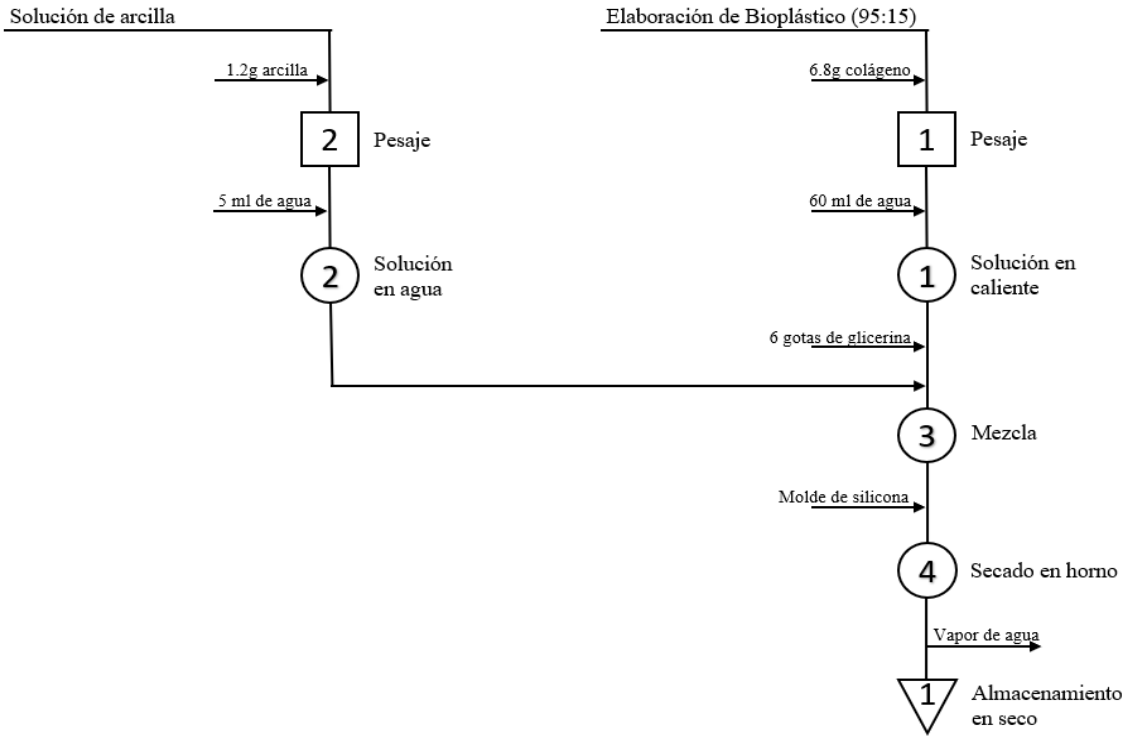
Se colocaron las muestras de colágeno en vasos precipitados con 60 ml de agua destilada, se llevaron al horno durante 1 hora a una temperatura de 70 °C para acelerar el proceso de dilución, paralelamente se usaron placas petri para preparar muestras de 1,2 g de arcilla diluidas en 5 ml de agua. Transcurrido el tiempo en el horno, se retiraron las muestras diluidas de colágeno y se mezclaron con las muestras de arcilla diluida.

Adicionalmente, se agregaron 6 gotas de glicerina a cada muestra y se agitó suavemente con una bagueta, después, se vertió el contenido de cada vaso precipitado en los moldes de silicona, posteriormente, se colocaron estas muestras nuevamente al horno para secarse a una temperatura de 70 °C durante 24 horas.

Finalmente se retiraron las muestras del horno y se dejaron enfriar durante 24 horas para su posterior desmolde. Este proceso se repitió 7 veces, una para cada propiedad.

Figura 11

Diagrama de operaciones de proceso de la elaboración del bioplásticos con 15% de arcilla



Símbolo	Actividad	Cantidad
○	Operación	4
□	Inspección	2
▽	Almacenamiento	1

3.3.3. Pruebas de laboratorio

I. Propiedades físicas

Resistencia al calor

En los ensayos de esta propiedad se utilizó el procedimiento realizado por Alcaide et al. (2020)

Se llevaron las muestras del tratamiento 1, 2, 3 y 4 a un horno con una temperatura inicial de 80 °C, se incrementó el valor de la temperatura cada 10 °C hasta llegar a una temperatura de 120 °C con intervalos de tiempo de 15 minutos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6

Intervalos de temperatura y tiempo

Temperatura (°C)	Tiempo (min)
80	0-15
90	15-30
100	30-45
110	45-60
120	60-75

Es preciso mencionar que la temperatura máxima del ensayo para este análisis fue de 120 °C puesto que no se previó la utilización de este material en escenarios adversos mayores a 120 °C.

Solubilidad

Se siguió la metodología propuesta por Gontard (1992, como se cita en Henríquez, 2016) con modificación. Las muestras del tratamiento 1, 2, 3 y 4 fueron cortadas en círculos con un diámetro promedio de 25 mm y luego se pesaron en la balanza analítica, debido a que las muestras del T1 tenían una masa de 2 g se buscó que todas las muestras pesaran lo mismo para reducir el error en el resultado de la solubilidad debido a que todas las

muestras iban a ser diluidas en la misma cantidad de agua destilada. Las muestras fueron puestas en vasos precipitados con 50ml de agua destilada, el proceso de dilución se llevó a cabo a una temperatura ambiente de 29 °C con agitación de 1000 rpm durante 3 h, es preciso mencionar que el proceso debió durar 24 h, sin embargo, transcurrida las 3 h no había muestra para retirar. La siguiente ecuación presente en la metodología de Gontard (1992, citado en Henríquez, 2016), permite obtener el porcentaje de solubilidad de las muestras.

$$\%\text{de solubilidad} = ((\text{pi} - \text{pf})/\text{pi}) * 100$$

Donde pi = Peso inicial; pf = Peso final.

Densidad

Se llevaron las muestras a la balanza analítica para determinar la masa correspondiente. Después de esto fue necesario determinar el volumen de las muestras para calcular la densidad. El volumen de las muestras se calculó siguiendo el principio de Arquímedes.

El volumen del objeto es igual al volumen del agua desplazada (derramada). Como la densidad del agua es de 1 g/cm3 (1000 kg/m3), el número de gramos de masa del agua corresponde al número de centímetros cúbicos de volumen del objeto. (Teran, 2014)

Este método permite determinar el volumen de objetos de forma irregular, para ello, las muestras fueron acondicionadas y sumergidas en una pipeta de 10 ml que contenía 5 ml de agua destilada.

La densidad se calculó en base a la formula universal:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

m: masa del cuerpo en el aire

v: volumen del cuerpo

D: Densidad de la muestra

II. Propiedades mecánicas

Elasticidad

La ecuación empleada para determinar la elasticidad de los bioplásticos fue la del módulo de Young propuesta por el físico Thomas Young. El módulo de Young es también conocido como el módulo de elasticidad o módulo de tracción, este módulo es un parámetro que mide la capacidad de un material para soportar cambios de longitud cuando está bajo tensión o compresión y se halla con la siguiente formula.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E: Modulo de Young o módulo de elasticidad

σ: Tensión ejercida sobre el área de la sección transversal del elemento (Fuerza/Área transversal)

ε: Deformación unitaria entendida como la relación entre el cambio de longitud con respecto a la longitud inicial (Δlongitud/longitud inicial)

Se construyó un soporte vertical de 60 cm para medir la elasticidad que constaba de 2 agarres (superior e inferior) para sujetar ambos extremos de las muestras, constituido con una canasta sujetada en el agarre inferior del soporte para contener el peso externo y poder elongar la muestra.

La muestra fue cortada en forma de “hueso” de acuerdo al modelo establecido en la norma de la American Society for Testing and Materials D638-14 [ASTM] (2014) (Método de prueba estándar para Propiedades de tracción de los plásticos).

Se escogió y utilizó el modelo de tipo IV de la norma debido a que el espesor de la muestra era menor a 4 mm, los diferentes tipos y condiciones de la norma se muestran en la siguiente figura.

Figura 12

Tabla de dimensiones de las muestras por espesor en milímetros (mm) y pulgadas (in) para los ensayos de tracción

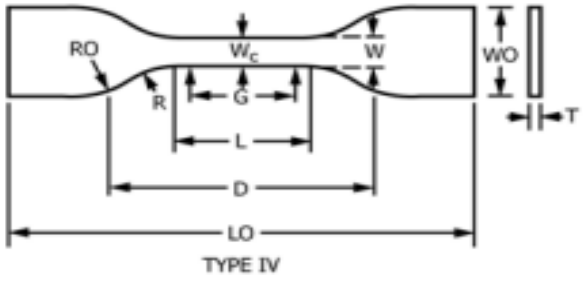
Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm (in.)[A]

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV[B]	Type V[C,D]	
W—Width of narrow section[E,F]	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02)[B,C]
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02)[C]
WO—Width overall, min[G]	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min[G]	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min[H]	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length[I]	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010)[C]
G—Gage length[I]	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)[J]	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04)[C]
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Nota. Obtenido de ASTM (2014)

Figura 13

Modelo de las muestras de tipo IV para los ensayos de tracción



Nota. Obtenido de ASTM (2014)

Después de acondicionar la muestra, se colocó en el soporte para dar inicio a la prueba, esta consistió en agregar 2 pernos de 6,6 g periódicamente en la canasta con un

intervalo de 1 minuto para medir el estiramiento de las muestras. Se retiró todo el peso después de cada medición para comprobar si la muestra presentaba “elasticidad”, es decir, regresaba a su posición inicial después del estiramiento. Se determino la masa total en cada sistema para poder medir la fuerza vertical presente en cada una de las pruebas por ello la masa de la canasta también se tomó en cuenta, siendo de 15,4 g.

Después de obtener la masa total, se determinó la fuerza presente del sistema de cada uno de los tratamientos. Dado que la deformación ocurrió en un eje vertical, en la ecuación de la fuerza se consideró la aceleración de la gravedad.

$$F = m * a$$

F: Fuerza del sistema

m: masa total

a: aceleración de la gravedad (9,81 m/s2)

De acuerdo con Formerly et al. (2021):

> La elasticidad es la tendencia de los objetos sólidos y los materiales a volver a su forma original después de que se eliminen las fuerzas externas (carga) que causan una deformación. Un objeto es elástico cuando vuelve a su tamaño y forma originales cuando la carga deja de estar presente.

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio a una temperatura de 26 °C. Este procedimiento se repitió 3 veces para los 4 tratamientos.

Elongación

Las muestras fueron elongadas en el soporte construido para la prueba de elasticidad, se sometieron a una fuerza vertical agregando varios pernos de 6,6 g a la canasta del soporte que ejercían fuerza hacia abajo, se dejó estirar por efecto del peso y

se tomó nota de la medida final en el punto de rotura para luego aplicar la formula establecida en la norma ASTM D638-14 (Método de prueba estándar para Propiedades de tracción de los plásticos).

$$\%Elongación = \frac{\Delta L}{Lo} * 100 = \frac{Lf - Lo}{Lo} * 100$$

ΔL: Variación de la longitud

Lf: Longitud final

Lo: Longitud inicial

III. Propiedades químicas

Degradabilidad

Las muestras del Tratamiento 1, 2, 3 y 4 fueron cortadas en cuadrados de 2,5 cm * 2,5 cm. Las muestras fueron enterradas a 2 cm de profundidad del suelo de una huerta, para luego ser pesadas antes y después del ensayo durante 7, 14, 21 y 28 días. La prueba de degradabilidad se midió mediante la siguiente ecuación.

$$\%\text{Degradabilidad} = ((\text{Wi} - \text{Wf})/\text{Wi}) * 100$$

Donde Wi = Peso inicial; Wf = Peso final

Este método de ensayo se basó en la investigación realizada por Ruiz (2021).

pH

Se pesaron y luego se diluyeron las muestras en 200 ml de agua destilada a una temperatura ambiente promedio de 26 °C. Posteriormente se utilizó un equipo multiparámetro (Marca: HANNA) para determinar el pH de cada muestra.

Figura 14

Diagrama de procesos de la elaboración de bioplástico de colágeno-arcilla



3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

Las técnicas de recolección de datos se definen como el conjunto de procedimientos y herramientas para recoger, validar y analizar la información necesaria que permita lograr los objetivos de la investigación.



De manera que en la etapa de campo se utilizó la técnica de recopilación de datos documental, experimental (se realizó pruebas en el laboratorio), y la observación estructurada que constaba de listas de control y valoración.

3.4.1. Técnicas

La técnica que se utilizó para el desarrollo de la investigación, fue:

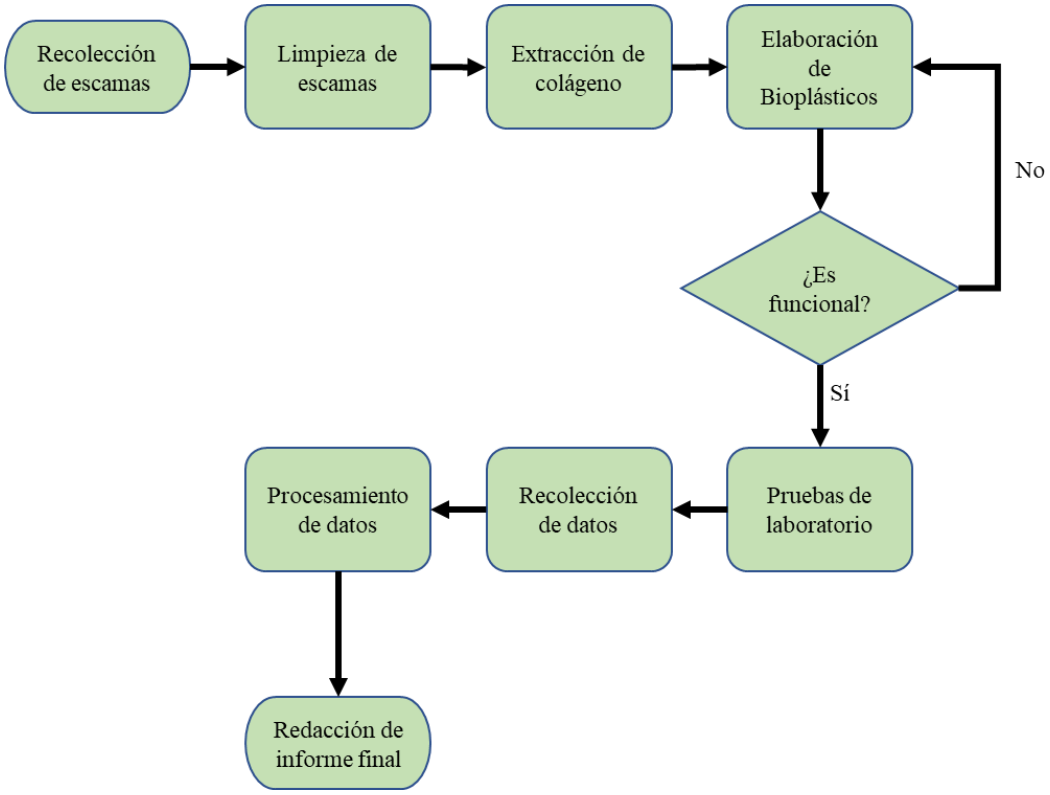
La observación; este método de recolección de datos consistió en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables.

3.4.2. Instrumentos

“Los instrumentos de medición son recursos que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables” (Hernández et al., 2014).

Los instrumentos utilizados fueron:

a. Diagrama de flujo de proceso.



b. Formato para el registro para la obtención de colágeno

N°	Escama (g)	Agua	Solución		Líquido colagenoso (g)	Colágeno (g)
			Tiempo	Temperatura		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
13						
14						
15						
16						
17						
17						
18						

c. Formato para el registro de la elaboración del bioplástico.

Ensayo	Solución				Tiempo de secado (horas)	Temperatura de secado (°C)	Recipiente
	Colágeno (g)	Agua (ml)	Arcilla (g)	Agua (ml)			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

d. Formato para el registro de prueba física del bioplástico.

X		Y			
Tratamiento	Rep.	Propiedades Físicas			
		Resistencia al calor		Densidad (g/cm3)	Solubilidad (%)
		Temperatura Mín.	Temperatura Máx.		
T1	1				
	2				
	3				
T2	1				
	2				
	3				
T3	1				
	2				
	3				
T4	1				
	2				
	3				

e. Formato para el registro de prueba mecánicas del bioplástico.

X		Y	
Tratamiento	Rep.	Propiedades Mecánicas	
		Elasticidad (MPa)	Elongación (%)
T1	1		
	2		
	3		
T2	1		
	2		
	3		
T3	1		
	2		
	3		
T4	1		
	2		
	3		

f. Formato para el registro de prueba química del bioplástico.

X		Y				
Tratamiento	Rep.	Propiedades Químicas				
		Degradabilidad (%)				pH
		Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	
T1	1					
	2					
	3					
T2	1					
	2					
	3					
T3	1					
	2					
	3					
T4	1					
	2					
	3					

3.5. Procesamiento para recolección de datos.

Se empleó el programa estadístico SPSS V.30 para el análisis de los datos obtenidos de las pruebas en el laboratorio. La prueba de ANOVA (análisis de la varianza) de un factor es un método estadístico para examinar las diferencias en las medias de tres o más grupos. La prueba fue utilizada para determinar si existía un efecto significativo de la dosis del aditivo arcilla entre los tratamientos de las propiedades del bioplástico.

Se establecieron las siguientes hipótesis para la prueba:

Para la toma de decisión, se consideró un nivel de significancia de α=0,05. Si el valor de p obtenido en la Prueba de ANOVA fue menor que 0,05, se interpretó como evidencia de diferencia significativa entre las medias de los tratamientos por lo tanto se consideró como presencia de un efecto significativo por parte del aditivo arcilla para cada una de las propiedades del bioplástico.

3.6. Tratamiento de datos.

En los casos donde se obtuvieron resultados significativos en la prueba de ANOVA, se realizó un análisis con la prueba de TUKEY al 95% de nivel de significancia para determinar qué grupos diferían significativamente entre sí.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Efecto de la dosis del aditivo "arcilla" en las propiedades del bioplástico derivado del colágeno de escama de paiche

La adición de arcilla tuvo un efecto global significativo y diferenciado sobre las propiedades del bioplástico, la dosis de arcilla modificó selectivamente cada propiedad del material aumentando la densidad y la resistencia térmica, redujo la elasticidad y la elongación debido al incremento de plasticidad, y produjo una leve acidificación del pH, sin afectar la solubilidad ni la biodegradabilidad. La siguiente tabla permite visualizar de manera clara cómo la dosis de arcilla modificó selectivamente cada propiedad.

Tabla 7

Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades del bioplástico

Tratamiento	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)	T4 (15%)
Propiedades físicas	resistencia al calor 110 °C densidad 1,33 g/cm³ solubilidad 100 %	↑ resistencia al calor 110 °C ↑ densidad a 1,41 g/cm³ solubilidad 100 %	↑ resistencia al calor 120 °C ↑ densidad 1,44 g/cm³ solubilidad 100 %	↑ resistencia al calor 120 °C ↑ densidad a 1,49 g/cm³ solubilidad 100 %
Propiedades mecánicas	elasticidad 4,74 MPa elongación 373,4 %	↓ elasticidad 0 MPa (no recupera su forma) ↓ elongación 282,5 %	↓ elasticidad 0 MPa (no recupera su forma) ↓elongación 229,1 %	↓ elasticidad 0 MPa (no recupera su forma) ↓ elongación 156 %
Propiedades químicas	pH 6,61 biodegradabilidad 100 %	↓ pH 6,55 biodegradabilidad 100 %	↓ pH 6,56 biodegradabilidad 100 %	↓ pH 6,21 biodegradabilidad 100 %
Evaluación global	Material muy resistente	Moderadamente resistente	Ligeramente resistente	Poco resistente

4.1.2. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades físicas (resistencia al calor, densidad, solubilidad) del bioplástico

Los resultados muestran que la dosis de arcilla tuvo un efecto no determinante en dos propiedades físicas (resistencia al calor y solubilidad), esto se debe a que los valores obtenidos fueron prácticamente constantes. El análisis de varianza tampoco permitió identificar diferencias significativas en estas propiedades, en contraste, para la propiedad de densidad sí se evidenció un efecto significativo de la dosis de arcilla. Estos hallazgos se detallan a continuación para cada propiedad física.

I. Resistencia al calor

Esta propiedad permite conocer qué materiales pueden soportar altas temperaturas sin perder su integridad estructural, de acuerdo con el Diccionario Británico (s.f.), los materiales resistentes al calor no se queman ni se derriten facilmente.

Tabla 8

Valores de resistencia al calor según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	110	110	120	120
2	110	110	120	120
3	110	110	120	120
Promedio	110	110	120	120

Nota. Los datos están representados en grados centígrados (°C).

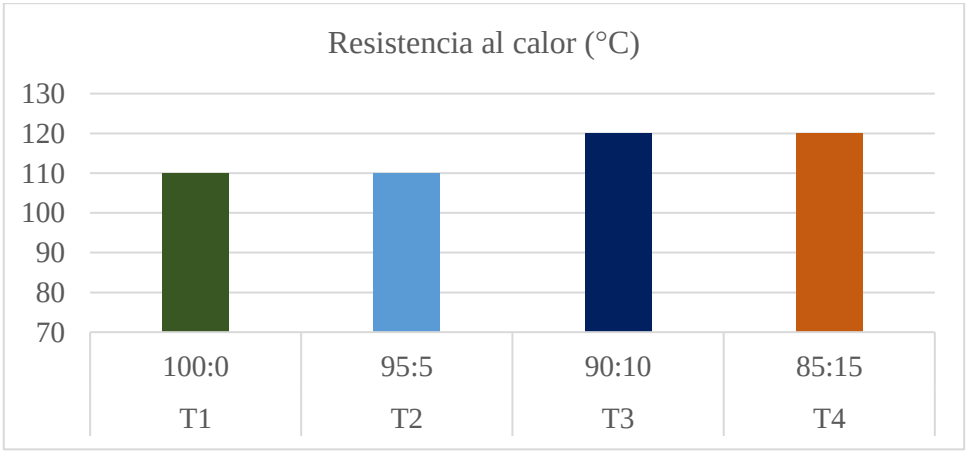
En la tabla 8 se puede observar que el tratamiento T1 y T2 tiene como temperatura máxima el valor de 110 °C en las 3 repeticiones, debido a que las muestras presentaron los mismos cambios físicos en sus estructuras como un leve hinchamiento en la parte media, esto se daría por la liberación de gases del material orgánico desde el interior de las muestras, a su vez, se observó una notoria rigidez de los cuerpos producto de la perdida de la humedad.

Tanto el tratamiento T3 y T4 alcanzaron la temperatura máxima de la prueba que fue de 120 °C sin presentar cambios sustanciales en sus estructuras más que una leve rigidez producto de la perdida de humedad lo que indica que ambas muestras serían capaces de soportar mayor calor antes de presentar cambios considerables en su estructura.

Se puede observar que los valores promedio son bastante cercanos entre sí, teniendo en cuenta que los rangos de medida de las pruebas incrementaban en 10 °C cada 15 minutos.

Figura 15

Valores promedio de resistencia al calor según tratamiento



Dos de los tres tratamientos con mayor concentración de arcilla alcanzaron el valor máximo de resistencia al calor de la prueba, mientras que la formulación con menor

concentración y el testigo, estuvieron muy cerca de este límite establecido. El bioplástico con matriz de colágeno refleja un gran potencial para resistir temperaturas altas.

Anova

Se analizó la varianza con los datos de las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 8.

Tabla 9

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la resistencia al calor del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	300,000	3	100,000		*ND
Dentro de grupos	0,000	8	0,000		
Total	300,000	11			

Nota. *ND: No determinado.

El análisis de varianza no mostró un valor “p”, debido a esto, no se pudo asegurar que el efecto fue significativo o su contrario ya que los grupos tienen medias iguales y muy poca variabilidad, por lo anterior, se tomó este resultado como “no determinante” ya que no hubo una incidencia clara o precisa de la dosis de arcilla en esta propiedad bajo las condiciones del ensayo.

II. Densidad

En concordancia con Yacolca (2024), esta propiedad nos permite conocer la magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

Tabla 10

Masa de muestras para la prueba de densidad según tratamiento y repetición

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	0,603	0,715	1,016	0,515
2	0,524	0,84	1,152	0,596
3	0,598	0,625	0,715	0,906

Nota. Los datos están representados en gramos (g).

La tabla 10 muestra en su mayoría, valores inferiores a 1 g, esto es debido a que se redujo el tamaño por las necesidades del ensayo.

Tabla 11

Volumen de muestras para la prueba de densidad según tratamiento y repetición

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	0,45	0,50	0,70	0,35
2	0,40	0,60	0,80	0,40
3	0,45	0,45	0,50	0,60

Nota. Los datos están representados en mililitros (ml).

La tabla 11 muestra el valor del volumen de las muestras que, expresa la cantidad volumétrica de agua desplazada verticalmente en el interior de la pipeta de 10 ml al seguir el principio de Arquímedes. El desplazamiento está en función al peso desigual de las muestras observadas en la tabla 10.

Tabla 12

Valores de densidad según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	1,34	1,43	1,45	1,47
2	1,31	1,40	1,44	1,49
3	1,33	1,39	1,43	1,51
Promedio	1,33	1,41	1,44	1,49

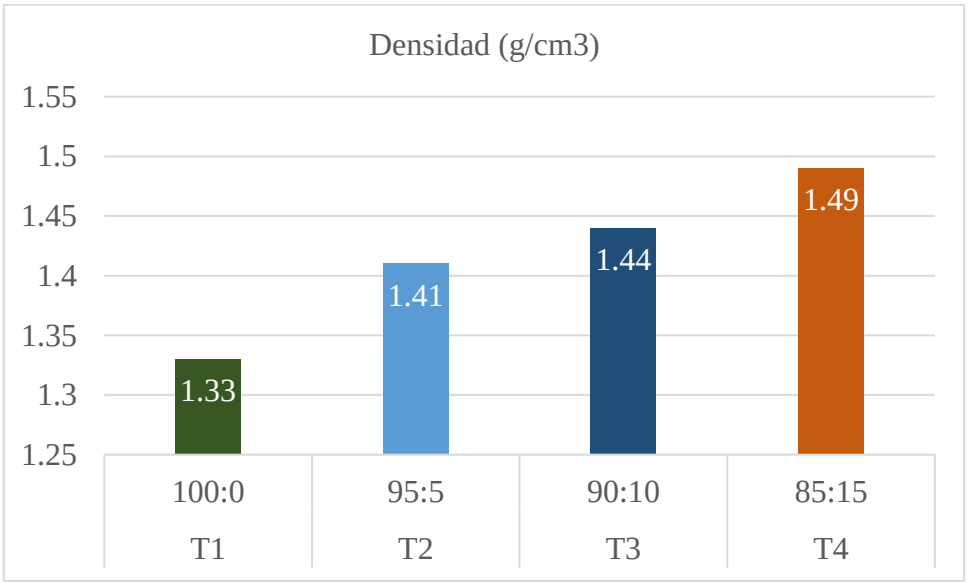
Nota. Los datos están representados en gramos por centímetro cubico (g/cm3).

En la tabla 12 se puede observar que la adición de mayor concentración de arcilla incrementa progresivamente los valores de densidad de las muestras, debido a esto, el tratamiento T4 presenta mayor densidad en comparación a los demás tratamientos.

Adicionalmente, todas las muestras presentan una densidad superior a 1 g/cm3 lo cual indica que las muestras poseen una densidad mayor a la del agua, este resultado es relevante porque permite entender su comportamiento en medios acuáticos.

Figura 16

Valores promedio de densidad según tratamiento



En la figura 16 se observa un crecimiento casi lineal en el valor de la densidad a medida que la concentración de arcilla incrementa. Esto indicaría que la arcilla dispersa, ocupa espacios intermoleculares dentro de la matriz de colágeno, generando un material más compacto.

Anova

Se analizó la varianza con los datos de las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 12.

Tabla 13

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la densidad del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,042	3	0,014	48,41	0,000
Dentro de grupos	0,002	8	0,000		
Total	0,045	11			

La tabla 13 muestra un valor “p” menor que α=0,05, debido a esto, se puede afirmar que existe diferencia entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, la dosis de arcilla sí tuvo un efecto significativo en esta propiedad.

Tukey

Al encontrar diferencia entre las medias de los tratamientos, se realizó la prueba estadística Tukey para determinar cuáles de los tratamientos son iguales entre sí y cuales son diferentes.

Tabla 14

Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la densidad del bioplástico

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	3	1,3267		
T2	3		1,4067	
T3	3		1,4400	
T4	3			1,4900
Sig.		1,000	0,156	1,000

De acuerdo con la tabla 14, el tratamiento T2 y T3 son iguales entre sí, esto indica que sus valores son muy cercanos y no habría diferencia si se trabaja con el primero o el segundo, por otro lado, los tratamientos T1 y T4 son sus extremos inferiores y superiores respectivamente, además, ambos son singulares. Esto quiere decir que T4 ofrece una mejor densidad si se busca un material más resistente.

III. Solubilidad

De acuerdo con Quinteros (2013), esta propiedad permite conocer la capacidad que tienen las muestras para disolverse en otra sustancia (agua).

Tabla 15

Masa inicial de muestras para la prueba de solubilidad según tratamiento y repetición

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	2	2	2	2
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2

Nota. Los datos están representados en gramos (g).

En la tabla 15 se observa el peso inicial uniformizado de las muestras utilizadas en los ensayos.

Tabla 16

Masa final de muestras de la prueba de solubilidad según tratamiento y repetición

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Nota. Los datos están representados en gramos (g).

Todas las muestras presentaron un peso final de 0 g, ya que, después de 3 horas no se encontró ninguna muestra solida o semisólida para ser retirada de los envases.

Tabla 17

Valores de porcentaje de solubilidad según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla

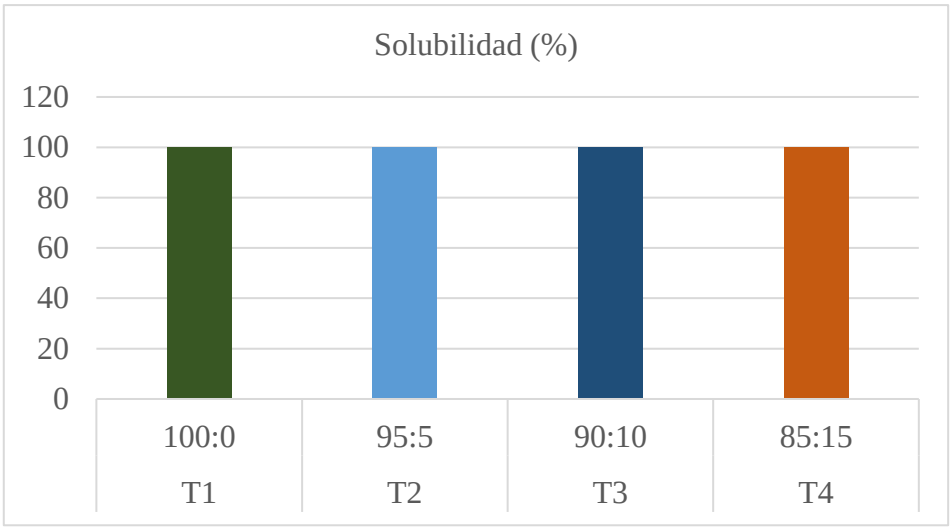
Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	100	100	100	100
2	100	100	100	100
3	100	100	100	100
Promedio	100	100	100	100

Nota. Los datos están representados en porcentajes (%).

En la tabla 17 se puede observar que todos los tratamientos tienen un valor del 100% de solubilidad, esto significa que la adición de arcilla en las concentraciones estudiadas no es determinante en los valores de esta propiedad. En base a esto, se puede afirmar que todas las muestras de bioplástico tienen un 100% de solubilidad en agua independientemente si se añade o no arcilla.

Figura 17

Valores promedio de solubilidad según tratamiento



Anova

Se analizó la varianza con los datos de las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 17.

Tabla 18

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la solubilidad del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,000	3	0,000	.	*ND
Dentro de grupos	0,000	8	0,000		
Total	0,000	11			

Nota. *ND: No determinado.

El análisis de varianza no mostró un valor “p”, debido a esto, no se pudo asegurar que el efecto fue significativo o su contrario ya que los grupos tienen medias iguales y muy poca variabilidad, por lo anterior, se tomó este resultado como “no determinante” ya que no hubo una incidencia clara o precisa de la dosis de arcilla en esta propiedad bajo las condiciones del ensayo.

4.1.3. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades mecánicas (elasticidad, elongación) del bioplástico

Los resultados muestran que la dosis de arcilla tuvo un efecto significativo en las dos propiedades mecánicas analizadas. Estos hallazgos se detallan a continuación para cada una de ellas.

I. Elasticidad

De acuerdo con Formerly et al. (2021), esta propiedad permite conocer que materiales tienen la capacidad de volver a su forma original después de haber sido deformados bajo una fuerza y haberla retirado.

Es importante resaltar que la fuerza ejercida por la masa total de la siguiente tabla, solo deformó la muestra en 1 mm (milímetro) en todos los tratamientos.

Tabla 19

Masa de los elementos involucrados en la fuerza de tracción según tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	N° de pernos	masa unitaria de pernos (g)	masa total de pernos (g)	masa de canasta (g)	Σ de masas (kg)
T1	1	8	6,6	52,8	15,4	0,0682
	2	8	6,6	52,8	15,4	0,0682
	3	10	6,6	66	15,4	0,0814
T2	1	5	6,6	33	15,4	0,0484
	2	6	6,6	39,6	15,4	0,0550
	3	6	6,6	39,6	15,4	0,0550
T3	1	4	6,6	26,4	15,4	0,0418
	2	3	6,6	19,8	15,4	0,0352
	3	4	6,6	26,4	15,4	0,0418
T4	1	1	6,6	6,6	15,4	0,0220
	2	2	6,6	13,2	15,4	0,0286
	3	1	6,6	6,6	15,4	0,0220

Nota. Se realizo la conversión de la sumatoria de masas que fue necesaria para deformar las muestras en 1 milímetro (mm), de gramos (g) a kilogramos (kg).

Se puede observar que, a mayor concentración de arcilla en la composición de la muestra (T4), menor fue el número de pernos necesarios para deformarla en 1mm, esto significa que existe una relación inversamente proporcional entre la cantidad de arcilla y la cantidad de pernos (masa) necesarios para la deformación de las muestras, por consiguiente, a mayor cantidad de arcilla, menor es la masa necesaria en el sistema para lograr la deformación.

Tabla 20

Valor de la fuerza de tracción según tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	Masa (kg)	Gravedad (m/s2)	Fuerza (N)
T1	1	0,0682	9,8	0,66836
	2	0,0682	9,8	0,66836
	3	0,0814	9,8	0,79772
T2	1	0,0484	9,8	0,47432
	2	0,0550	9,8	0,53900
	3	0,0550	9,8	0,53900
T3	1	0,0418	9,8	0,40964
	2	0,0352	9,8	0,34496
	3	0,0418	9,8	0,40964
T4	1	0,0220	9,8	0,21560
	2	0,0286	9,8	0,28028
	3	0,0220	9,8	0,21560

Nota. La Fuerza de tracción es producto de la masa por la gravedad, expresada en Newtons (N).

Se observó que la fuerza total se redujo progresivamente a medida que la concentración de arcilla aumentaba. El tratamiento T4 tiene la mayor concentración de arcilla y a su vez la menor fuerza empleada para la deformación mientras que las muestras

del tratamiento T1 al no poseer arcilla parecían ser más resistente, ya que, se requirió mayor fuerza para deformarlas.

Es preciso resaltar que, durante las pruebas, solo el tratamiento T1 cumplió con el concepto de elasticidad mencionado por Formerly et al. (2021), el cual nos indicó que, para que un elemento sea considerado elástico debe ser capaz de volver a su posición original despues de retirarse las fuerzas externas que lo mantenian bajo tensión. Solo las muestras del tratamiento T1 volvieron a su posicion inicial despues de ser deformadas en 1mm. Despues de deformar las muestras de T1 en 1 mm más, es decir 2 mm en total, solo fueron capaces de volver 1 mm desde su posicion final en lugar de 2 mm, es decir, ya no fueron capaces de regresar a su posicion inicial, por lo tanto, quedaron deformadas permanentemente en 1mm, al suceder esto se considero unicamente como zona elastica el espacio deformado por el primer milimetro. Los tratamientos T2, T3 y T4 no fueron capaces de regresar a su posicion inicial despues de haber sido deformados solamente 1 mm, es decir, quedaron deformados permanentemente, debido a ello los bioplásticos de estos tratamientos no fueron considerados elásticos ya que no poseian la capacidad de volver a su posicion inicial, por ello en los cuadros siguientes no se contemplan datos para la determinacion del modulo de Young para estos tratamientos ya que no cumplieron con la característica requerida para ser considerados materiales elasticos. Solo el tratamiento T1 fue considerador elástico en funcion a su primera deformación de 1 mm.

La siguiente tabla muestra el valor del área transversal solo de las muestras consideradas “elásticas”.

Tabla 21

Valor del área transversal de las muestras según tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área transversal (m2)
T1	1	0,6	0,1	0,000006
	2	0,6	0,1	0,000006
	3	0,6	0,1	0,000006
T2	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
T3	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
T4	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-

Nota. El Área transversal es producto del ancho por el espesor, se expresó directamente en metros cuadrados (m2).

En la tabla 21 se observa los valores del área transversal de las muestras con forma de “hueso” que fueron utilizadas en el soporte para el estiramiento, debido a que todas las muestras poseían la misma forma, el valor del área transversal es el mismo.

Tabla 22

Valores de tensión en el área transversal según tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	Fuerza (N)	Área transversal (m2)	Tensión en el área transversal (Pa)
T1	1	0,66836	0,000006	111393,3
	2	0,66836	0,000006	111393,3
	3	0,79772	0,000006	132953,3
T2	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
T3	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-
T4	1	-	-	-
	2	-	-	-
	3	-	-	-

Nota. La tensión en el área transversal es resultado de dividir la fuerza entre el área transversal, se representa en pascales (Pa).

Tabla 23

Longitud y deformación unitaria de las muestras según tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	Longitud inicial (cm)	Longitud final (cm)	Variación de longitud (cm)	Deformación unitaria
T1	1	4	4,1	0,1	0,025
	2	4	4,1	0,1	0,025
	3	4	4,1	0,1	0,025
T2	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
T3	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
T4	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-

Nota. La deformación unitaria es resultado de dividir la variación de la longitud entre la longitud inicial, es un valor adimensional, es decir, no tiene unidades asociadas.

Tabla 24

Valores de elasticidad según tratamiento y repetición para las dosis de colágeno-arcilla

Tratamiento	Dosis (colágeno:arcilla) %	Repetición	Tensión (Pa)	Deformación unitaria	Elasticidad (MPa)
T1	100:0	1	111.393,3	0,025	4,45
		2	111.393,3	0,025	4,45
		3	132.953,3	0,025	5,31
T2	95:5	1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-	-	-
T3	90:10	1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-	-	-
T4	85:15	1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-	-	-

Nota. La elasticidad es resultado de dividir la tensión entre la deformación unitaria, se transformó directamente de pascales (Pa) a Mega pascales (MPa).

Como se observa en la tabla 24, solo el tratamiento T1 presenta elasticidad ya que fue el único tratamiento donde las muestras poseían la capacidad de recuperar su forma original.

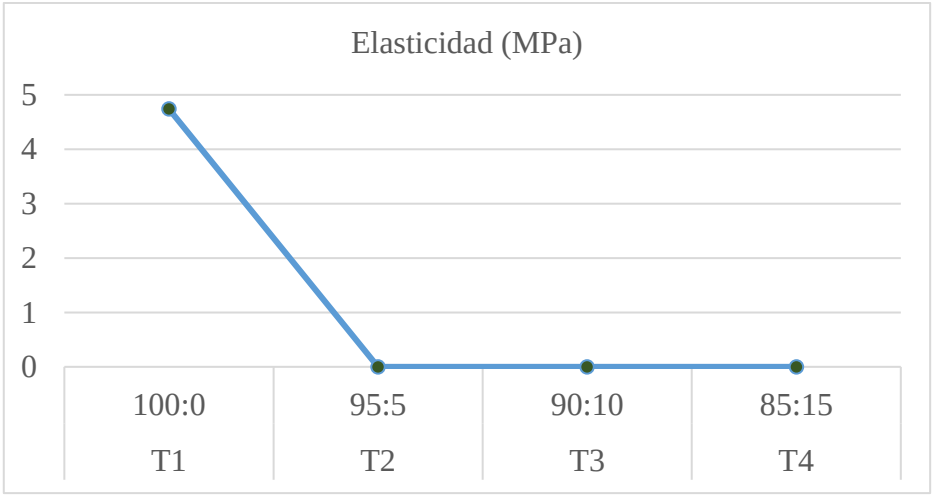
Tabla 25

Valores promedio elasticidad según tratamiento

Tratamiento	Dosis (colágeno:arcilla) %	Elasticidad (MPa)
T1	100:0	4,74
T2	95:5	0
T3	90:10	0
T4	85:15	0

Figura 18

Valores promedio elasticidad según tratamiento



De acuerdo con la figura 18, solo el tratamiento testigo (sin presencia de arcilla) presentó elasticidad, esto podría indicar que la arcilla estaría afectando de manera negativa el comportamiento del bioplástico. Según lo observado en el laboratorio, las muestras con

arcilla eran más blandas (menos resistentes) y al momento de someterse a tracción, se rompían con mayor facilidad a medida que incrementaba el porcentaje de arcilla.

Una vez obtenido los resultados de cada tratamiento se inició el análisis estadístico para determinar el efecto de las dosis de arcilla en esta propiedad.

Anova

Se analizó la varianza con los datos de elasticidad de acuerdo a las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 24.

Tabla 26

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la elasticidad del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	50,481	3	16,827	273,018	0,000
Dentro de grupos	0,493	8	0,062		
Total	50,974	11			

La tabla 26 muestra un valor “p” menor que α=0,05, debido a esto, se puede afirmar que existe diferencia entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, la dosis de arcilla sí tiene un efecto significativo en esta propiedad.

Tukey

Tras encontrar diferencia entre las medias de los tratamientos, se procedió a realizar la prueba estadística Tukey para determinar cuál de los tratamientos son iguales entre sí y cuales son diferentes.

Tabla 27

Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la elasticidad del bioplástico

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	3	0,0000	
T3	3	0,0000	
T4	3	0,0000	
T1	3		4,7367
Sig.		1,000	1,000

De acuerdo con la tabla 27, los tratamientos T2, T3 y T4 son iguales entre sí, esto significa que sus valores son muy cercanos o iguales y no habría diferencia al escoger alguno de estos tratamientos, por otro lado, el tratamiento T1 es diferentes de ellos, por lo tanto, si se busca un material elástico se debe utilizar el bioplástico del primer tratamiento.

II. Elongación

De acuerdo con Cohen (2010), esta propiedad permite conocer la magnitud en el aumento de la longitud de un material cuando se somete a un esfuerzo.

Tabla 28

Valores de longitud final de las muestras después de la prueba de elongación según tratamiento y repetición

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	40	33	29,7	22,2
2	42	33	28,2	23,4
3	43	35	29	22

Nota. La longitud inicial de todas las muestras fue de 8,8 cm, los datos están representados en centímetros (cm).

Como se observa en la tabla 28, la longitud inicial de todas las muestras fue de 8,8 cm, esta fue la longitud que marcaba el agarre de la parte inferior de la muestra donde se empezó a medir el estiramiento vertical hacia abajo, hasta llegar al punto de rotura. Se observó que, el valor de la longitud final se redujo progresivamente a medida que la concentración de arcilla aumentó, siendo el tratamiento T1 el que presentó un mayor estiramiento, de manera opuesta, el tratamiento T4 con mayor concentración de arcilla presentó el menor estiramiento, esto significa que existe una relación inversamente proporcional entre la cantidad de arcilla presente en las muestras y la longitud máxima de estiramiento. Esto se debería a la propiedad plástica que posee la arcilla, lo que quita resistencia a las muestras produciendo una rotura temprana en el estiramiento.

Tabla 29

Valores de porcentaje de elongación según tratamiento y repetición

Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	354,5	275	237,5	152,2
2	377,2	275.00	220,4	165,9
3	388,6	297,7	229,5	150
Promedio	373,4	282,5	229,1	156

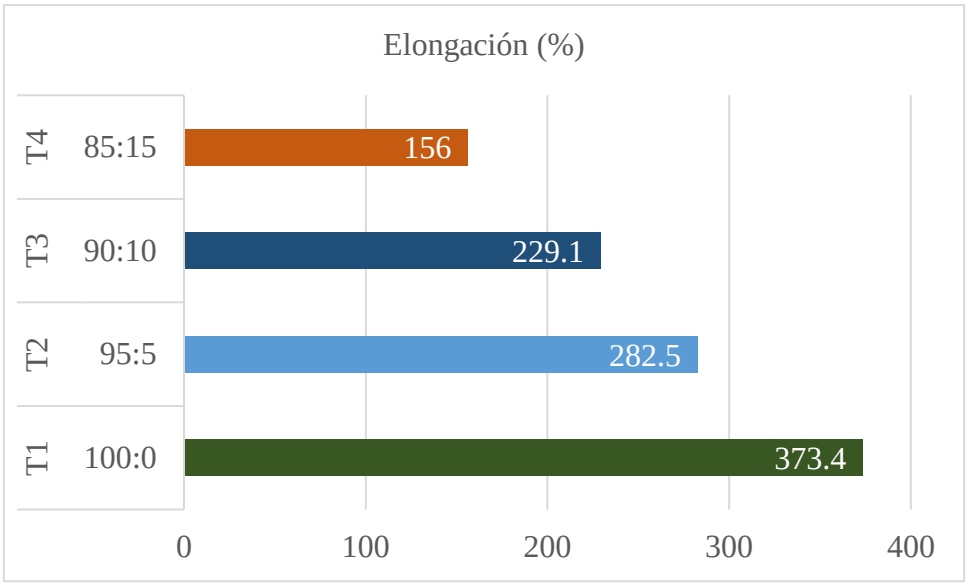
Nota. Los datos están representados en porcentaje (%)

La tabla 29 muestra que, los tratamientos presentan valores de elongación descendentes a medida que el porcentaje de arcilla aumenta, siendo el tratamiento T1 el que presenta mayor porcentaje de elongación al no poseer arcilla en su composición y, por el contrario, el tratamiento T4 con mayor composición de arcilla, presenta el menor porcentaje de elongación.

En la siguiente tabla se presentan los valores promedio de cada tratamiento para el análisis de elongación del bioplástico a diferentes dosis de colágeno y arcilla.

Figura 19

Valores promedio de elongación según tratamiento



Anova

Se analizó la varianza con los datos de las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 29.

Tabla 30

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la elongación del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	75.413,56	3	25.137,85	162,04	0,000
Dentro de grupos	1.241,07	8	155,133		
Total	76.654,63	11			

La tabla 30 muestra un valor “p” menor que α=0,05, debido a esto, se puede afirmar que existe diferencia entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, la dosis de arcilla sí tiene un efecto significativo en esta propiedad.

Tukey

Tras encontrar diferencia entre las medias de los tratamientos, se procedió a realizar la prueba estadística Tukey para determinar cuál de los tratamientos son iguales entre sí y cuales son diferentes.

Tabla 31

Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la elongación del bioplástico

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
T4	3	156,0333			
T3	3		229,1333		
T2	3			282,5667	
T1	3				373,4333
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

De acuerdo con la tabla 31 Todos los tratamientos son diferentes entre sí lo que significa que cada tratamiento es singular y el tratamiento a escoger dependerá de las condiciones de uso.

4.1.4. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades químicas (degradabilidad, pH) del bioplástico

Los resultados muestran que la dosis de arcilla tuvo un efecto que varió según la propiedad química evaluada, por el lado de la degradabilidad tuvo un efecto no determinante debido a que a los valores obtenidos fueron constantes, en contraste, para la propiedad de pH sí se evidencio un efecto significativo de la dosis de arcilla. Estos hallazgos se detallan a continuación para cada propiedad química.

I. Degradabilidad

De acuerdo con Maita et al. (2024), esta propiedad permite conocer la capacidad de un material o sustancia para descomponerse o transformarse en sustancias más simples.

Tabla 32

Valores de masa inicial y final de las muestras del ensayo de biodegradabilidad según tratamiento y repetición

Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g) Día 0	Peso final (g) Día 7
T1	1	0,83	0
	2	0,81	0
	3	0,83	0
T2	1	0,89	0
	2	0,87	0
	3	0,86	0
T3	1	0,90	0
	2	0,90	0
	3	0,89	0
T4	1	0,91	0
	2	0,93	0
	3	0,94	0

De acuerdo con la tabla 32, todos los tratamientos tienen un peso final igual a 0 en el séptimo día del ensayo, esto se debería a la rápida solubilidad de las muestras compuestas de colágeno en el entorno húmedo bajo suelo. Por lo descrito anteriormente las muestras no fueron analizadas los 28 días que se había previsto para el ensayo.

Tabla 33

Valores de porcentaje de degradabilidad según tratamiento y repetición

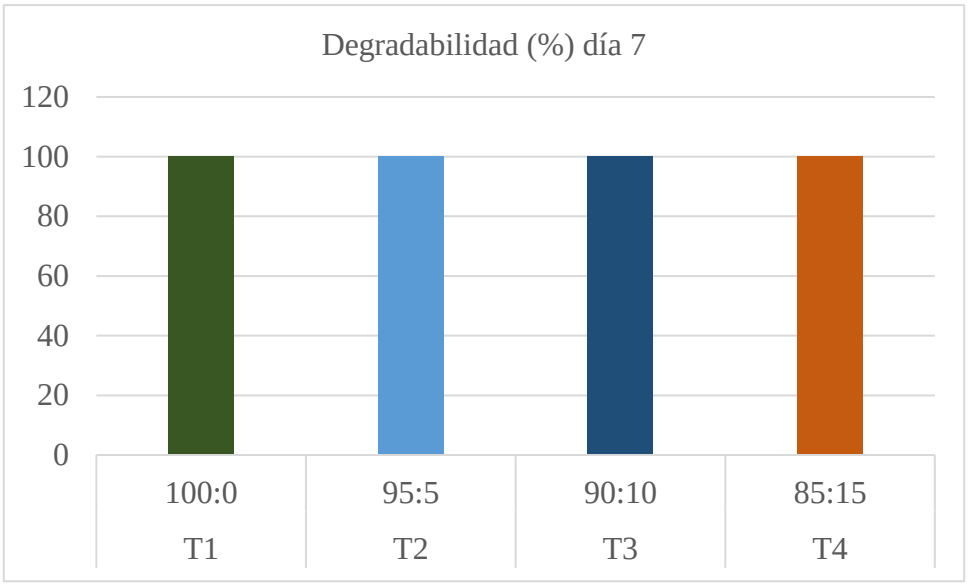
Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	100	100	100	100
2	100	100	100	100
3	100	100	100	100
Promedio	100	100	100	100

Nota. Los datos están representados en porcentaje (%)

Debido a que no se encontraron las muestras debajo del suelo después del día 7, dando como resultado un peso final igual a cero en cada tratamiento, se puede asegurar que todas las muestras tienen un porcentaje de degradabilidad igual a 100%.

Figura 20

Valores promedio de degradabilidad según tratamiento



Anova

Se analizó la varianza con los datos de las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 33.

Tabla 34

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la degradabilidad del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,000	3	0,000	.	*ND
Dentro de grupos	0,000	8	0,000		
Total	0,000	11			

Nota. *ND: No determinado.

El análisis de varianza no mostró un valor “p”, debido a esto, no se pudo asegurar que el efecto fue significativo o su contrario ya que los grupos tienen medias iguales y muy

poca variabilidad, por lo anterior, se tomó este resultado como “no determinante” ya que no hubo una incidencia clara o precisa de la dosis de arcilla en esta propiedad bajo las condiciones del ensayo.

II. pH

De acuerdo con Renneboog (2022), esta propiedad permite conocer la acidez o alcalinidad de un material hecho sustancia en el agua.

Tabla 35

Valores de pH según tratamiento y repetición

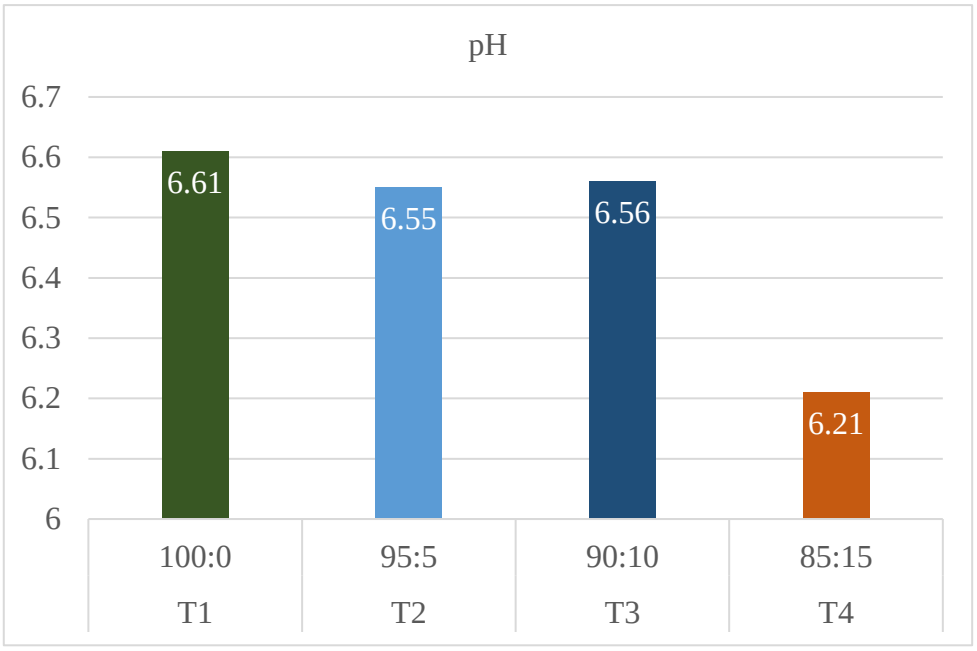
Repetición	T1 (100:0)	T2 (95:5)	T3 (90:10)	T4 (85:15)
1	6,59	6,53	6,61	6,21
2	6,62	6,55	6,55	6,24
3	6,63	6,59	6,54	6,18
Promedio	6,61	6,55	6,56	6,21

Nota. Los datos están representados en potencial de hidrógeno (pH)

En la tabla 35 se puede observar que el valor del pH de los 4 tratamientos es superior a 6 pero inferior a 7 lo que indica que las muestras oscilan entre los valores considerados neutros y levemente ácidos. Se observa también que, a medida que el porcentaje de arcilla incrementa, el valor del pH se reduce, esto significa que, con una mayor concentración de arcilla en la formulación la acides de la sustancia también aumenta, con este resultado se puede afirmar que existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de arcilla presente en las muestras y el valor de la acides de las mismas.

Figura 21

Valores promedio de elasticidad según tratamiento



Anova

Se analizó la varianza con los datos de las repeticiones de cada tratamiento de la tabla 35.

Tabla 36

Análisis de varianza del efecto de la arcilla en la solubilidad del bioplástico

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,312	3	0,104	112,312	0,000
Dentro de grupos	0,007	8	0,001		
Total	0,319	11			

La tabla 36 muestra un valor “p” menor que α=0,05, debido a esto, se puede afirmar que existe diferencia entre las medias de los tratamientos, por lo tanto, la dosis de arcilla sí tiene un efecto significativo en esta propiedad.

Tukey

Tras encontrar diferencia entre las medias de los tratamientos, se procedió a realizar la prueba estadística Tukey para determinar cuál de los tratamientos son iguales entre sí y cuales son diferentes.

Tabla 37

Prueba Tukey de los tratamientos respecto a la densidad del bioplástico

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0,05	
		1	2
T4	3	6,2100	
T2	3		6,5567
T3	3		6,5667
T1	3		6,6133
Sig.		1,000	0,1820

De acuerdo con la tabla 37 el tratamiento T2, T3 y T1 son iguales entre sí lo que significa que sus valores son muy cercanos o iguales y no habrá diferencia al escoger alguno de estos tratamientos, por otro lado, el valor del tratamiento T4 es diferentes de ellos, siendo el más acido, por lo tanto, si no se quiere un bioplástico más acido no se debería utilizar el tratamiento T4.

4.2. Discusión

Frente a la creciente acumulación de plásticos sintéticos en los ecosistemas, producto de su amplio uso doméstico e industrial debido a su bajo costo y alta durabilidad, surgió la necesidad de desarrollar una alternativa más sostenible. Los plásticos, al no ser biodegradables, perduran cientos de años en el ambiente, generando contaminación y afectando el equilibrio de los ecosistemas, debido a esto, se propuso la elaboración de un bioplástico a partir de colágeno extraído de escamas de paiche, un subproducto de la actividad pesquera que no tiene un aprovechamiento definido, con la finalidad de reducir el impacto ambiental generado por los plásticos convencionales. La arcilla fue utilizada como

refuerzo, y debido a la limitada información sobre su interacción con el colágeno, se buscó evaluar el efecto de este aditivo en las propiedades del bioplástico obtenido. Para ello, se analizaron algunas de sus propiedades como, resistencia térmica, densidad, solubilidad, elasticidad, elongación, degradabilidad y pH. Algunas condiciones generales de los ensayos fue un espacio limpio y controlado, y una temperatura ambiente de 26 °C.

4.2.1. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades físicas (resistencia al calor, densidad, solubilidad) del bioplástico

I. Resistencia al Calor

Los resultados mostraron que la incorporación de arcilla no generó un cambio estadísticamente significativo en esta propiedad, ya que la muestra control T1 (sin arcilla) soportó temperaturas de hasta 110 °C sin presentar cambios aparentes al igual que la muestra T2 (5% de arcilla), mientras que las muestras T3 (10% de arcilla) y T4 (15% de arcilla) resistieron hasta 120 °C. Esta limitada variación de los datos y cercanía de los mismos, impidió que el sistema SPSS pudiera otorgar un valor de “p” en el análisis de varianza (ANOVA), por lo que se consideró que el efecto de la arcilla no fue determinante en esta propiedad bajo las condiciones del ensayo. Cabe señalar que este valor corresponde al límite máximo de temperatura establecido para la prueba, lo que significó una limitación metodológica relevante en los ensayos, pues no permite descartar que a temperaturas superiores la arcilla hubiera podido tener un mayor impacto. Aun así, de acuerdo con lo observado, los resultados sugieren que la mayor presencia de arcilla podría estar asociada a una mejora en la estabilidad térmica, aunque esta no se manifieste de forma concluyente dentro del rango evaluado.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por otros autores, se puede observar una notable variabilidad que puede depender tanto de la fuente del biopolímero como de los aditivos utilizados. Por ejemplo, Alcaide et al. (2020), al trabajar un bioplástico de

almidón de maíz con distintas frutas como aditivos, reportaron una resistencia al calor considerablemente menor, puesto que, los bioplásticos comenzaron a deformarse desde los 65 °C (naranja), 75 °C (plátano) hasta los 100 °C (manzana). En este caso, se evidenció que la adición de los diferentes aditivos orgánicos afectó negativamente la estabilidad térmica de su material, en contraste con nuestro estudio, donde la inclusión de arcilla no tuvo ese efecto adverso, sino que incluso mostró una ligera mejora.

Por otro lado, el estudio de Tezera et al. (2024), que combinó almidón de semillas de mango, yuca y desechos de mango con arcilla microcerámica como refuerzo para su bioplástico, obtuvo resultados que refuerzan la teoría de que la arcilla es capaz mejorar la resistencia térmica del bioplástico. En su caso, el testigo resistió hasta 90 °C, mientras que la reforzada con arcilla superó los 135 °C, demostrando una mejora significativa. Esto es coherente con la ligera mejora observada en nuestras muestras con arcilla, y sugiere que el tipo y concentración del aditivo, así como la interacción con la matriz polimérica, son factores determinantes para potenciar esta propiedad.

Asimismo, los resultados de Irais (2018), quien utilizó gelatina proveniente de la hidrólisis de colágeno de Marlín azul y Tiburón sedoso para sus bioplásticos, mostraron temperaturas de fusión de hasta 180 °C, superiores a las de nuestro bioplástico. Sin embargo, en ese estudio se emplearon reactivos químicos para la extracción del colágeno, que probablemente influyeron en la estructura molecular del biopolímero, favoreciendo una mayor resistencia térmica. A pesar de que ambos estudios se basan en colágeno de origen marino o acuático, las diferencias en especie, método de extracción y aditivos empleados dificultan una comparación directa, aunque resultó interesante que el colágeno, de diferentes especies, mostró un potencial considerable como base para materiales con buena estabilidad térmica.

Resulta necesario considerar ensayos con mayor variabilidad en las composiciones para evaluar el efecto de la arcilla en la resistencia térmica, además de contar con un diseño

experimental que permita un análisis más detallado del impacto de este componente en la matriz polimérica.

II. Densidad

Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron un efecto significativo ($p < 0,05$) del aditivo arcilla en la densidad del bioplástico elaborado a partir de colágeno de escamas de paiche, según el análisis de varianza (ANOVA). Se observó un aumento progresivo en la densidad a medida que se incrementó la proporción de arcilla en la mezcla. La muestra control (T1), compuesta únicamente por colágeno, presentó una densidad promedio de 1,32 g/cm³. En contraste, las muestras con arcilla al 5 % (T2), 10 % (T3) y 15 % (T4) alcanzaron valores de 1,40, 1,44 y 1,49 g/cm³, respectivamente. Este incremento puede explicarse por la naturaleza del refuerzo utilizado. De acuerdo con Tezera et al. (2024), la arcilla, al ser un material inorgánico con mayor densidad que el colágeno, tiende a ocupar los espacios libres en la matriz polimérica, reduciendo su porosidad y compactando su estructura.

Al comparar los resultados con los plásticos convencionales, se observa una diferencia importante. “El polietileno de baja densidad (PEBD) presenta valores entre 0,915 y 0,925 g/cm³, mientras que el polietileno de alta densidad (PEAD) ronda los 0,941 g/cm³” (PlasticsEurope, 2022). Todos los tratamientos desarrollados en este trabajo superan ampliamente esos valores. Aunque podría pensarse que una mayor densidad implica un material más pesado, este factor no necesariamente es una desventaja. En aplicaciones donde se requiere mayor resistencia estructural, durabilidad o estabilidad como, por ejemplo, envases rígidos o productos biodegradables de mayor vida útil, un bioplástico con mayor densidad puede ofrecer ventajas competitivas frente a los derivados del petróleo. Además, al provenir de fuentes renovables como residuos de escamas de pescado, y considerando la indiscutible biodegradabilidad del colágeno, este material representa una

alternativa más sostenible desde el punto de vista ambiental. La inclusión de arcilla no compromete esta sostenibilidad, ya que se trata de un recurso abundante y de bajo impacto ambiental.

Es importante destacar que el aumento de densidad fue progresivo y controlado, lo que ofrece una posibilidad interesante de ajustar esta propiedad en función de las necesidades de uso, simplemente modificando la proporción de arcilla en la formulación.

III. Solubilidad

Los resultados obtenidos mostraron que todos los tratamientos evaluados (T1, T2, T3 y T4), con sus diferentes proporciones de colágeno:arcilla (100:0, 95:5, 90:10 y 85:15, respectivamente), presentaron el mismo valor de solubilidad (100%). Esta uniformidad en los datos imposibilitó obtener un valor estadísticamente significativo en el análisis de varianza (ANOVA), debido a la similitud de valores en los tratamientos, lo cual limitó las posibilidades de interpretar un efecto directo del aditivo arcilla sobre esta propiedad, por lo tanto, la adición de arcilla, se consideró como no determinante bajo las condiciones del ensayo. A pesar de esta limitación metodológica, el hallazgo de una solubilidad del 100% en todos los tratamientos es muy relevante. Este resultado indica que, independientemente de la proporción de arcilla incorporada, el bioplástico mantiene una solubilidad total en agua, lo cual sugiere un potencial favorable para aplicaciones donde la biodegradabilidad en medios acuosos sea deseable o prioritaria.

Al comparar nuestros resultados con los obtenidos por otros autores que utilizaron matrices distintas, fue posible observar una diferencia considerable. Torres (2021), por ejemplo, obtuvo bioplásticos a partir de almidón de cáscara de papa y cascara de papa con cascara de papaya, sus bioplásticos alcanzaron solubilidades del 43,9% y 44%, respectivamente. Estos valores, si bien muestran un comportamiento hidrosoluble, se encuentran por debajo de los resultados alcanzados en el presente estudio. De acuerdo

con Gómez et al. (2011), esta diferencia puede atribuirse a la naturaleza del colágeno, cuya estructura proteica posee grupos hidrofílicos, lo cual favorece una mayor interacción con el agua en comparación con la estructura más rígida y menos accesible del almidón.

Solórzano (2022), por su parte, combinó almidón de plátano y colágeno de pescado, con adición de ácido acético y etilenglicol, logrando en su mejor formulación un 27,51 ± 3,49% de solubilidad, y en la menor, apenas un 15,15 ± 9,19%. Estos valores reflejan formulaciones más resistentes al agua, pero también menos propensas a degradarse con rapidez en condiciones acuosas.

Por otro lado, Naranjo (2023) elaboró bioplásticos con colágeno de residuos de wet blue y almidón de zanahoria blanca, alcanzando solubilidades del 81,56% con alcohol polivinílico (PVA) y 38,68% con glicerina. Aunque el resultado con PVA se acerca más al comportamiento observado en el presente trabajo, sigue siendo inferior.

Adicionalmente, “los plásticos sintéticos convencionales, como el polietileno o el polipropileno, no son solubles en agua y requieren solventes orgánicos específicos para degradarse parcialmente, en condiciones muy controladas” (Shen et al., 2020). Esta característica los convierte en un importante contribuyente a la contaminación, especialmente en ecosistemas acuáticos.

Es importante resaltar que el bioplástico elaborado en este estudio no solo presenta una alta solubilidad, sino que también fue producido a partir de un subproducto de desecho (escamas de paiche), lo que contribuye a valorizar los residuos de origen pesquero. Si bien la alta solubilidad podría representar una limitación para ciertas aplicaciones que requieran resistencia al agua como empaques de larga duración o contacto prolongado con humedad, este comportamiento es altamente favorable para usos donde la vida útil sea corta, como bolsas compostables, envoltorios para alimentos secos, o productos agrícolas biodegradables.

4.2.2. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades mecánicas (elasticidad, elongación) del bioplástico

I. Elasticidad

"La elasticidad es la capacidad de un material de volver a su forma original después de haber sido deformado por una fuerza" (Formerly et al., 2021). Los resultados obtenidos mostraron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) del aditivo arcilla en la elasticidad del bioplástico elaborado a partir de colágeno de paiche, según el análisis de varianza (ANOVA). Esto indica que, la presencia de arcilla tuvo una influencia directa sobre la capacidad elástica del material. Al evaluar los tratamiento con diferente proporcion de colageno:arcilla y 6 gotas de glicerina, se encontró que, la muestra control T1 (sin arcilla) presentó un modulo de elasticidad promedio de 4,74 MPa; contrariamente, los tratamientos T2 (5% de arcilla), T3 (10% de arcilla) y T4 (15% de arcilla), no mostraron la capacidad elástica sostenida por formerly et al. (2021) al momento de realizar las pruebas bajo las condiciones del ensayo, es decir, quedaron deformados permanentemente despues de la primera medicion. Este resultado sugiere que la presencia de arcilla disminuye la elasticidad del material, puesto que, solo la muestra control (T1) retomaba su forma original despues de la deformación, esto indica que, la arcilla por su naturaleza hidrofilica, estaria incrementado el reblandecimiento higroscópico del bioplastico, alterando negativamente la matriz elástica y volviendola en mayor medida, plástica.

El valor obtenido en el tratamiento T1 refleja un comportamiento relativamente elástico comparado con materiales poliméricos tradicionales y otros bioplásticos reportados en distintas investigaciones. Al comparar este valor con el obtenido por Chariguamán (2015), quien obtuvo un bioplástico con un módulo elástico de hasta 2,23 MPa formado por almidón y albedo de maracuyá, se observa una diferencia significativa de más de 2,5 MPa. Esto pone en manifiesto la buena capacidad elástica que posee la matriz de colágeno por sí misma.

Por su parte, Villacis (2024) elaboró un bioplástico a partir de harina de cascara y pulpa de yuca donde logró obtener un módulo de elasticidad de hasta 5,67 MPa, un poco mayor al bioplástico obtenido en este estudio con una diferencia levemente significativa (menor a 1 MPa), esto sugiere que un bioplástico con matriz de colágeno de escamas de paiche podría ser igual o superior elásticamente si se emplea un aditivo adecuado con incidencia positiva.

Es importante resaltar que además de la adición de arcilla, estas variaciones pueden deberse a otros factores como el tipo y proporción de plastificantes, las condiciones de preparación, materia prima empleada, etc. En nuestro caso, la elaboración del bioplástico empleó en su mayoría solo reacciones físicas, siendo las de solubilidad en agua, hidrólisis, mezclas y secado.

Como apreciación final, “el plástico de polietileno de baja densidad, comúnmente usado para la fabricación de bolsas y envases flexibles, posee un módulo elástico que va de 620 a 860 MPa” (Ashby, 2013). Esto permite observar la gran diferencia que aún existe entre los bioplásticos y los polímeros sintéticos, sin embargo, gracias a los resultados de este estudio, se puede sostener que la adición de arcilla tiene una incidencia negativa cuando se busca obtener un material predominantemente elástico. Este es un hallazgo relevante para futuras investigaciones, ya que podrán considerar este comportamiento en función del tipo de aplicación que deseen.

II. Elongación

Los resultados obtenidos mostraron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en esta propiedad, según el análisis de varianza (ANOVA). Esto indica que, la presencia de arcilla tuvo una influencia directa sobre la capacidad de elongación del bioplástico. Se observó una disminución progresiva del porcentaje de elongación a medida que aumentaba la proporción de arcilla. La muestra control T1 (sin arcilla) alcanzó el

porcentaje más alto de elongación, con 373,4%, seguido por T2 (5% de arcilla) con 282,5%, T3 (10% de arcilla) con 229,1%, y finalmente T4 (15% de arcilla) con 156%. Este comportamiento sugiere que, si bien la arcilla puede aportar ciertas ventajas físicas o estructurales en otros contextos, su efecto en la capacidad de elongación del material es inversamente proporcional. Esto sugiere que, al igual que con la elasticidad, la naturaleza higroscópica de la arcilla podría estar afectando y manteniendo húmeda la matriz de colágeno, provocando que las cadenas del biopolímero se rompan con mayor facilidad bajo las condiciones del ensayo. La adición moderada de glicerina como plastificante (menos del 10% en peso) permitió mantener niveles aceptables de elongación, aunque no contrarrestó completamente el efecto humectante del aditivo. Es preciso mencionar que la teoría sugiere que los plastificantes como la glicerina y glicerol, en cantidades adecuadas, mejoran significativamente la elongación al mismo tiempo que reducen drásticamente la rigidez.

Al comparar estos resultados con los reportados por otros autores, se puede apreciar que el bioplástico desarrollado en este estudio muestra un comportamiento mecánico superior en términos de elongación. Por ejemplo, Lubis et al. (2020) obtuvieron un valor máximo de 43,43% de elongación utilizando almidón de semilla de mango, 6% de arcilla y 25% de glicerol. Se observa que, incluso el tratamiento con menor capacidad de elongación de este estudio (T4 con 156%) supera ampliamente ese resultado, y con un contenido significativamente menor de plastificante.

De forma similar, Solórzano (2022) obtuvo valores de elongación entre 29,48% y 45,86% en sus muestras de bioplásticos formados con de almidón de plátano, colágeno de escamas de pescado, ácido acético y etilenglicol. Aunque él sostiene que el ácido acético mejoró la flexibilidad del material, estos valores continúan siendo considerablemente menores a los alcanzados por las muestras de bioplástico del presente estudio, incluso con aquellas que tienen presencia de arcilla.

Por su parte, Granda y Ramos (2019) quien trabajo con almidón de Solanum Tuberosum (patata), registraron una deformación máxima de 44,76% con 3% de glicerina, disminuyendo hasta 13,37% al aumentar la concentración de plastificante a 12%. Esto refuerza la idea de que no solo la formulación base, sino también el tipo y la cantidad de plastificante influyen directamente en las propiedades mecánicas.

En cuanto a la comparación con plásticos sintéticos, los valores de elongación obtenidos en el tratamiento T1 (373,4%) y T2 (282,5%) se sitúan dentro del rango reportado para muchos polímeros comerciales no degradados, que, según Rabell et al. (2013), pueden alcanzar elongaciones del 300% o más antes de la ruptura. Otros estudios y fichas técnicas industriales respaldan esta afirmación, indicando que, “plásticos como el polietileno de baja densidad (LDPE) pueden exhibir valores superiores al 500% en la dirección de procesamiento (MD) y hasta 700–1100% en la dirección transversal (TD)” (Eurasia Petrol, s.f.). No obstante, es fundamental contextualizar estas cifras: si bien los plásticos sintéticos superan en muchos casos los valores de elongación de los bioplásticos, lo hacen a costa de una persistencia ambiental extrema, dada su resistencia a la biodegradación y su dependencia de combustibles fósiles en su producción.

En contraste, el bioplástico desarrollado en este estudio no solo fue elaborado a partir de un residuo orgánico (escamas de paiche), sino que también logra un equilibrio notable entre elongación y sostenibilidad. La alta elongación alcanzada, especialmente en el tratamiento sin arcilla, lo posiciona como una alternativa viable para aplicaciones que requieren materiales con gran capacidad de deformación, pero fácilmente degradables, como empaques compostables, bolsas de un solo uso o envoltorios agrícolas. Esta es una ventaja ambiental muy importante si consideramos que los plásticos convencionales, pese a su rendimiento mecánico superior, no son solubles en agua y tardan cientos de años en degradarse.

Se debe explorar el equilibrio entre resistencia y elongación, incorporando otros aditivos naturales o modificando las condiciones de procesamiento, sin perder de vista el objetivo de generar materiales que combinen funcionalidad con sostenibilidad.

4.2.3. Efecto de la dosis de arcilla en las propiedades químicas (degradabilidad, pH) del bioplástico

I. Degradabilidad

Los resultados mostraron que la adición de arcilla no generó una diferencia estadísticamente significativa en ninguno de los 4 tratamientos evaluados (T1, T2, T3 y T4), las muestras fueron desenterradas (2cm de profundidad) al séptimo día de haber iniciado las pruebas, donde se observó que, todos los bioplásticos presentaron una degradabilidad del 100%. Esta uniformidad en los resultados impidió que el sistema SPSS pudiera otorgar un valor de “p” en el análisis de varianza (ANOVA), debido a esto, se consideró que, el efecto de la arcilla no fue determinante en esta propiedad bajo las condiciones del ensayo.

A pesar de que este resultado podría interpretarse inicialmente como una limitación estadística, desde una perspectiva ambiental representa una gran fortaleza. El hecho de que todos los tratamientos del bioplástico, independientemente de la concentración de arcilla, lograran una degradación total en tan solo siete días, evidencia un comportamiento altamente favorable para las aplicaciones donde se requiere un material completamente biodegradable en tiempos cortos. Dicho comportamiento es particularmente relevante en comparación con otros bioplásticos reportados en diferentes investigaciones y, sobre todo, frente a los plásticos sintéticos convencionales.

Por ejemplo, Torres (2021) elaboró bioplásticos a base de almidón de cáscara de papa y de papaya, cuyos porcentajes de degradabilidad, tras 15 días enterrados (12 cm), oscilaron entre 28,12% y 33,46%. Aunque sus formulaciones también fueron biodegradables, los resultados reflejan un ritmo de descomposición más lento que el

obtenido en este estudio. Algo similar ocurrió en el trabajo de Solórzano (2022), donde los bioplásticos elaborados con almidón de plátano y colágeno de pescado, enterrados a 5 cm en composta durante 4 semanas, presentaron un rango de degradación entre 24,16% y 61,04%, dependiendo de la formulación. Incluso bajo condiciones ricas en materia orgánica como la composta, la degradabilidad fue considerablemente inferior a la observada en el presente trabajo. Esta diferenciación puede deberse en gran medida a la utilización de colágeno como constituyente de nuestro estudio y a la utilización de colágeno como aditivo en la investigación del anterior autor.

Por su parte, Melendres (2023), utilizó almidón de semilla de guanábana con nanoarcilla de bentonita como refuerzo. Dicho autor sostiene que la arcilla como aditivo, ralentiza la degradación. Los valores de sus resultados de degradabilidad tras 12 días de prueba a 10 cm bajo tierra, oscilan entre 41,3% y 70,5% de pérdida de peso. En ese caso, la incorporación de arcillas, aunque en forma de nanopartículas, tuvo un efecto claramente retardante sobre la descomposición, lo cual, dicho por Melendres (2023), se asocia con sus propiedades hidrofóbicas inherentes a la bentonita y su capacidad para actuar como barrera a la penetración del agua y microorganismos. Este patrón no se repitió en nuestro estudio, lo que podría estar relacionado con la naturaleza del colágeno como matriz principal, que, por su origen proteico, puede ser más susceptible a la acción de microorganismos presentes en el suelo y también a la naturaleza hidrofílica de la arcilla empleada en este estudio.

Al comparar estos resultados con los de los plásticos sintéticos, la diferencia se vuelve aún más significativa. Según Freire (2024), materiales como el polietileno y el polipropileno pueden tardar entre 500 y 1000 años en degradarse completamente bajo condiciones naturales o en vertederos. Esta persistencia extrema convierte a los plásticos convencionales en una de las mayores amenazas ambientales actuales. A diferencia de ellos, el bioplástico elaborado a partir de escamas de paiche no solo es de origen natural y

biodegradable, sino que además se descompone completamente en una semana, sin necesidad de procesos industriales, ni condiciones controladas. En este contexto, el bioplástico desarrollado representa una alternativa altamente viable y ecológica, ideal para productos de vida útil corta como empaques primarios, envoltorios agrícolas, o bolsas de un solo uso. El hecho de que se degrade tan rápidamente en suelo común y a poca profundidad significa que su disposición final no dejará huella. Además, al estar elaborado con un subproducto del procesamiento de paiche, también se contribuye a la valorización de residuos y al aprovechamiento integral de este recurso.

II. pH

Los resultados obtenidos muestran un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$), según el análisis de varianza (ANOVA). Esto indica que la variación en la concentración de arcilla tuvo una influencia directa en el comportamiento del pH del bioplástico. Los resultados en medio acuoso mostraron un valor inicial de 6,61 para el tratamiento T1 (sin arcilla), mientras que los tratamientos con mayores proporciones de arcilla como T2 (5%), T3 (10%) y T4 (15%) mostraron ligeras pero consistentes disminuciones, hasta 6,21 en el caso del tratamiento T4. Estas diferencias pueden parecer pequeñas, sin embargo, su significancia estadística revela que la arcilla no solo actúa como un refuerzo físico y mecánico, sino que también influye en la química del material. Esto puede deberse a la naturaleza ligeramente ácida de algunos tipos de arcillas, que, al mezclarse con el colágeno y glicerina, podrían estar alterando el equilibrio iónico del bioplástico. No obstante, es importante destacar que, incluso con esta variación, las muestras mantuvieron un pH cercano a la neutralidad, lo que lo hace seguro para aplicaciones indirectas con alimentos, uso agrícola o compostaje.

En la revisión de la literatura no se encontraron estudios previos que reporten valores de pH en bioplásticos similares, lo que sugiere que esta propiedad ha sido poco

explorada en este tipo de materiales. Ante la escasez información, se contrastó directamente los resultados con los efectos ambientales que se conocen del plástico en el pH de los ecosistemas. En este sentido, un estudio liderado por el Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona [ICM-CSIC] (2022, citado en Puga, 2022), reveló que la degradación de los plásticos convencionales puede disminuir hasta 0,5 unidades el pH del océano, debido a la liberación de ácidos orgánicos y dióxido de carbono durante su descomposición. Este fenómeno contribuye significativamente a la acidificación y al deterioro marino, una de las principales amenazas actuales para los ecosistemas acuáticos.

Adicionalmente, el ICM-CSIC (2022, citado en Puga, 2022) ha evidenciado que los plásticos sintéticos, al estar expuestos al medio ambiente, sufren procesos de lixiviación, donde se desprenden compuestos químicos que se disuelven en el agua, alterando su pH y afectando la vida acuática. A diferencia de los plásticos sintéticos, el bioplástico desarrollado en esta investigación no mostró fuertes tendencias hacia la acidificación, teniendo una variación de solo 0,4 en la escala. Por el contrario, incluso con la incorporación de arcilla, sus valores de pH se mantuvieron dentro de un rango aceptable, lo cual sugiere que este material no representa un riesgo de acidificación del entorno tras su degradación.

Este hallazgo adquiere mayor importancia si se considera que los plásticos sintéticos no solo no se degradan fácilmente, sino que al hacerlo generan subproductos perjudiciales. El bioplástico de colágeno de escamas de paiche y arcilla aparece como una alternativa mucho más responsable y segura.

En futuras investigaciones sería importante evaluar el comportamiento del pH del bioplástico durante y después de su degradación en distintas matrices ambientales, como compostas, suelos agrícolas o cuerpos de agua dulce.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La incorporación de arcilla en distintas proporciones (0, 5, 10 y 15 %) sí tuvo un efecto sobre las propiedades físicas, mecánicas y químicas del bioplástico, evidenciándose mejoras en algunas propiedades y efectos negativos o nulos en otras.

- **Propiedades Físicas:** En base a los análisis estadísticos se determinó que la dosis de arcilla tuvo un efecto significativo en las propiedades físicas con un valor de $\alpha<0.05$ en la densidad y no se evidencio un efecto significativo en la resistencia al calor y la solubilidad. Su incidencia en la resistencia al calor fue positiva variando desde los 110 °C a 120 °C. La incidencia en la densidad también fue positiva incrementando desde 1,33 g/cm³ a 1,49 g/cm³. La dosis de arcilla no incidió en la solubilidad debido a que todos los resultados fueron del 100%.
- **Propiedades Mecánicas:** Basados en los análisis estadísticos se determinó que la dosis de arcilla tuvo un efecto significativo en las propiedades mecánicas con un valor de $\alpha<0.05$ en la elasticidad y la elongación. Su incidencia en la elasticidad fue negativa teniendo un valor de 4,74 MPa en la formulación sin arcilla mientras que en las formulaciones con arcilla la capacidad elástica disminuyo hasta llegar al punto de plasticidad. Su incidencia en la elongación fue positiva partiendo de un porcentaje de elongación de 156% hasta 373,4%.
- **Propiedades Químicas:** De acuerdo con los análisis estadísticos se determinó que la dosis de arcilla tuvo un efecto significativo en las propiedades químicas con un valor de $\alpha<0.05$ en el pH y no se evidencio un efecto significativo en la biodegradabilidad. Su incidencia en la degradabilidad fue nula debido a que todos los resultados de los tratamientos mostraron un 100% de degradación. Su incidencia

en el pH fue negativa, acidificándose levemente a medida que la concentración de arcilla incrementaba, los valores encontrados oscilaron desde 6.61 hasta 6.21 en la escala del pH.

5.2. Recomendaciones

- Basados en los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda la elaboración de bioplásticos elaborados de colágeno de escama de paiche con arcilla como refuerzo, en cualquiera de sus formulaciones para escenarios donde se requiera bioplásticos de vida útil corta.
- No se recomienda la utilización del actual bioplástico si se desea elaborar un material con resistencia estructural estable de vida útil larga que vaya a tener contacto con el agua o la humedad debido a la alta capacidad de este bioplástico a degradarse en estos ambientes.
- Si se desea un material rígido y estable, se recomienda remplazar la arcilla por aditivos que reduzcan la capacidad higroscópica del bioplástico en lugar de aumentarla.
- Se recomienda seguir utilizando el colágeno de escama de paiche como matriz polimérica para la elaboración de bioplásticos debido a su mayor potencial mecánico, físico y químico frente a otros bioplásticos elaborados con diferentes matrices poliméricas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, M., & Candela, S. (2020). Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77128/Acosta_BML-Candela_OSM-SD.pdf?sequence=1

Alcaide, M., Collado, C., & Sancho, J. (Julio de 2020). *Ingenia Materiales.* Obtenido de https://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/4424

Alzáte Pérez, S., Quintanilla Caballero, J., Paredes Niño, C., & Velasco, E. (2018). Bioplásticos de colageno parcialmente hidrolizado obtenido de las escamas del bocachico (Prochilodum magdalenae), reforzados con cáscarilla de arroz. *Informador Técnico*, 103-106. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Judith-Elizabeth-Vergara-Figueroa/publication/336510071_Desarrollo_de_un_biofilm_en_base_a_PLA_cargado_con_iones_de_cobre_soportados_en_nanoparticulas_de_zeolita_natural_chilena_y_reforzado_con_nanofibras_de_celulosa_p

American Society for Testing and Materials. (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Obtenido de https://borgoltz.aoe.vt.edu/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf

Anbinder, P. S. (Mayo de 2011). Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2642/Documento_completo.pdf?sequence=1

Ashby, M. F. (2013). *Materials and the Environment.* Oxford: Butterworth-Heinemann.

Beltrán, M., & Marcilla, A. (2011). Tema 2. Tipos de plasticos, reciclado, aditivación y mezclado. *Revista Colombiana de Biotecnología*.

Bermeo, J., Juela, D., Jumbo, A., & Peñaherrera, C. (s.f.). *Scribd*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/407062001/2-pH-de-las-Arcillas-

docx#:~:text=de%20Las%20Arcillas-,Este%20informe%20presenta%20los%20resultados%20de%20la%20determinaci%C3%B3n%20del%20pH,es%20importante%20para%20aplicaciones%20cer%C3%A1micas.

Castrejón, D. (2012). Ciencia y tecnología de polímeros. *Revista plásticos modernos*.

Chariguamán Chanatasig, J. A. (Noviembre de 2015). *BIblioteca Digital - ZAMORANO.* Obtenido de https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/06a5dc04-9bc7-4253-a0ad-30c4c6c160be/content

Cohen, D. (Diciembre de 2010). *MASSDEVICE*. Obtenido de https://www.massdevice.com/common-terms-materials-testing

Díaz Olmedo, J. A. (2023). Guía completa de termoplásticos: tipos, propiedades y aplicaciones. *Plasticman*.

Díaz Valdiviezo, A., & Zedano Cornejo, J. (Marzo de 2006). *Scribd*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/511536938/Caracterizacion-de-Arcillas-en-Peru?

Diccionario Británico. (s.f.). *Britannica*. Obtenido de https://www.britannica.com/dictionary/heat-resistant#:~:text=heat%20resistant-,adjective,heat%20resistant%20cooking%20utensils

Dirección General de Desarrollo Minero de México. (Diciembre de 2017). *Perfil de Mercado de la Bentonita.* Ciudad de México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287791/Perfil_Bentonita_2017.pdf

Encyclopedia Britannica. (2025). *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de https://www.britannica.com/science/elasticity-physics

Eurasia Petrol. (s.f.). *Eurasia Petrol*. Obtenido de https://eurasiapetrol.com/portfolio-items/polyethylene-ldpe/?

Fegan, K. (2017). *ChemBAM*. Obtenido de https://chembam.com/resources-for-students/the-chemistry-

of/gelatin/#:~:text=When%20collagen%20is%20hydrolysed%20under,under%20acidic%20or%20basic%20conditions.

Formerly, W. M., Truman, S. L., & Loyola, J. S. (2021). *Fisica Universitaria Volumen 1.* Houston, Texas: Sitio web: OpenStax.

Freire, N. (Mayo de 2024). *NATIONAL GEOGRAPHIC ESPAÑA*. Obtenido de https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/preguntas-y-respuestas-sobre-plasticos_22266

Gómez Guillén, M., Giménez, B., López Caballero, M., & Montero, M. (Diciembre de 2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 1813-1827. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11000427?via%3Dihub

González Araya, N. (Octubre de 2023). *CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LA ARCILLA GARUMNIENSE BAJO CICLOS DE HIELO-DESHIELO EN LABORATORIO.* Obtenido de https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/67df7159-015c-48b7-a39a-29e791f12d8e/content

Granda Sanchez, J., & Ramos Contreras, Y. (Agosto de 2019). *DSpace.* Obtenido de https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4f01fe76-928a-445b-94a7-eb2e679e8f65/content

GSL Industrias. (2 de Noviembre de 2021). *Industrias GSL*. Obtenido de https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/higroscopico#:~:text=Se%20entiende%20por%20higrosc%C3%B3pico%20al,por%20ejemplo%2C%20los%20metales%20alcalinos.

Guarás, M. P. (Noviembre de 2013). Obtenido de http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/292/MPGuaras-TFG-IM-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Henríquez Velasco, J. (Noviembre de 2016). *Optimización de revestimientos comestibles a base de proteína de soya, almidón de yuca y plastificantes en manzanas (Malus domestica)* . Obtenido de https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/28465dfd-25e2-45a6-ad4c-c52b7004bcee/content

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Mexico: McGraw-Hill.

Irais Aragón, L. (Enero de 2018). *Repositorio Dspace.* Obtenido de http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/355/Arag%C3%B3n%20Lucero,%20I.,%202018.pdf?sequence=1

Jaimes, G., Urribarri, W., & Quevedo, G. (2020). Determinación del rendimiento y calidad del colágeno obtenido de las escamas de la especie pomadasys incisus (roncador) proveniente del Lago de Maracaibo. *Revista Tecnocientífica URU*.

KIVO GROUP. (Diciembre de 2024). *KIVO GROUP*. Obtenido de https://www-kivo-nl.translate.goog/en/knowledge-base/at-what-temperature-does-plastic-melt/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge&_x_tr_hist=true

Li, Y., Asadi, A., Monroe, M., & Douglas, E. (Junio de 2009). *ScienceDirect*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493109000058#:~:text=En%20nuestro%20sistema%2C%20el%20p,el%20tama%C3%B1o%20de%20las%20fibrillas.

Lubis, M., Ginting, M., Kartika, T., Tesanika, A., Winny, Ayu, G., & Harahap, M. (2020). Utilization of mango seed starch in manufacture of hybrid biocomposite reinforced

with microparticle ZnO and clay using glycerol as plasticizer. *ARPN J Eng Appl Sci, 15*.

Maita Urbina, F. O., Quispe Moran, A., Contreras Paco, J. L., Curasma Ccente, J., & Chavez Raymundo , A. J. (2024). Degradabilidad in situ de la materia seca de especies vegetales naturales en un ecosistema pajonal. *Revista de investigación científica siglo XXI*, 27-30.

Mamani Lezameta, K., & Nizama Roque, J. (2020). *Influencia de la arcilla de coalín en las propiedades físico-mecánico de un ladrillo artesanal.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/493594960/PROYECTO-TESIS-INFLUENCIA-DE-LA-ARCILLA-DE-CAOLIN-EN-LAS-PROPIEDADES-FISICO-MECANICOS-DE-UN-LADRILLO-ARTESANAL-EN-LA-LOCALIDAD-DE-CATACHE-CAJAMARCA?

Mapossa, A., Da Silva Júnior , A., Silva de Oliveira, C., & Washington, M. (17 de Agosto de 2023). *PMC PubMed Central*. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10458906/#:~:text=Los%20resultados%20demostraron%20que%20la,relleno%20para%20nanocompuestos%20polim%C3%A9ricos%20biodegradables.

Maqueda, T. (Abril de 2011). *SCRIBD.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/53569807/POLIETILENO

Marin, M., Ianchis, R., Alexa, R., Gifu, I., Albu Kaya, M., Savu, D., . . . Iovu, H. (Diciembre de 2021). *PMC PubMed Central*. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8745677/?

Martinez , R. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio Elaboration. *Revista del Instituto de Investigación*.

Meisenberg, G., & Simmons, W. (2018). *Principios de bioquímica medica.* Barcelona: ELSEVIER.

Melendres, A., Ángulos , S., Gaspar, E., Saliendra, J., Buenaventura, M., Sobrepeña, G., . . . Rubi, R. (2023). Production of Defragmentable Bioplastic using Starch Extracted from Annona Muricata (Soursoup) Seed Reinforced with Bentonite Nanoclay. *IOPSCIENCE*. Obtenido de https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1318/1/012034/pdf

Mosquera, J. A., & Bedoya, J. C. (Junio de 2015). Dosis personal de drogas: Inonsistencia técnico-científicas en la legislación y la jurisprudencia colombiana. *Pers.Bioét. Vol.19 N°1*.

Moya Sulca, S. (2022). *MÓDULO DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA UNITARIA Y MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ARCILLAS DE PLASTICIDAD MEDIA Y ALTA*. Obtenido de https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e2d7e7f8-526b-4498-97eb-36218ec6e6a1/content

Naranjo Moreno, S. N. (Septiembre de 2023). *Repositorio UTA.* Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/294c5d8c-296b-4f6a-b58d-c403dc30dfe5/content

Oropeza González, R., Montes Hernández, A., & Padrón Pereira, C. (29 de Octubre de 2016). *Revista venezolana de ciencia y tecnología de alimentos*. Obtenido de https://sites.google.com/site/2rvcta/v7-n1-2016/h5?

Osorio, N. L. (Noviembre de 2005). *Scribd*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/701641889/Tesis-Caracterizacion-de-Arcilla-Para-La-Fabricacion-de-Ladrillos-Artesanales?

Pérez Porto, J., & Gardey, A. (13 de Octubre de 2022). *Definición.de*. Obtenido de https://definicion.de/plasticidad/

Pérez Porto, J., & Merino, M. (2017). Arcilla. *Definición.DE*.

PLASTICS EUROPE. (2022). *PLASTICS EUROPE.* Obtenido de https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/polyolefins/

Puga, L. M. (18 de Septiembre de 2022). *Agencia de Noticias Científicas*. Obtenido de https://agencia.unq.edu.ar/?p=7650#:~:text=Un%20estudio%20liderado%20por%20el%20Instituto%20de,hasta%200%2C5%20unidades%20el%20pH%20del%20mar

Quinteros, A. J. (Abril de 2013). *SCRIBD.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/138424265/Solubilidad-de-Liquidos-y-Solidos

Rabell Contreras, M., Vázquez Morillas, A., Espinosa Valdemar, R., Beltrán Villavicencio, M., Osada Velázquez, M. H., & González Filio, J. (2013). PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADABILIDAD DE PLÁSTICOS MEDIANTE COMPOSTEO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 127-133. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/370/37029665015.pdf

Renneboog, R. M. (2022). *EBSCO*. Obtenido de https://www.ebsco.com/research-starters/science/ph

Reyes Yejans, D., & Zambrano Alvera, F. (Febrero de 2012). *Scribd*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/289224252/Importante-Hidratacion-de-Arcillas?utm_source=chatgpt.com#content=query:hidrof,pageNum:28,indexOnPage:0,bestMatch:false

Ruiz, L. J. (2021). “ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE ARROZ (Oryza sativa) Y ARROZ INTEGRAL PARA USO COMO ENVOLTURAS BIODEGRADABLES DE ALIMENTOS. Ecuador.

Shen, M., Huang, W., Chen, M., Song, B., Zeng, G., & Zhang, Y. (1 de Mayo de 2020). (Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *Journal of Cleaner Production*. Obtenido de

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620301852?via%3Dihub

Solórzano Santos, G. M. (Noviembre de 2022). *Repositorio UNICACH.* Obtenido de https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4626#:~:text=Resumen,biotecnolog%C3%ADa%2C%20entre%20otras%2C%20industrias.

Stewart, & Donald, J. (2013). A New Species of Arapaima (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the Solimões River, Amazonas State, Brazil. *AMAZONIA BRASILEÑA*.

Teran, L. V. (2014). Principio de Arquimides. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Preparatoria.

Tezera, A., Abera, D., Bantie, Z., Bisenebt, B., Beyene, A., Deslaegn, E., . . . Arega, G. (2024). Evaluation and Optimization of Sustainable Ecofriendly Bio-based Micro-composites for smart packaging Aplication Using Micro-Clay Particles as Reinforcement. En *Sustainable Development Research in Materials and Energy* (págs. 3-23).

Torres Andrade, E. E. (21 de Junio de 2021). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO - ESPOCH.* Obtenido de https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/7a03032c-7af7-4d48-8b9a-088405a45523/content

Villacis, M. P. (2024). *Reincisol.* Obtenido de http://www.reincisol.com/ojs/index.php/reincisol/article/view/231

Wahyuningtiyas, N. E., & Suryanto, H. (2018). Properties of cassava starch based bioplastic reinforced by nanoclay. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology (JMEST)*.

Yacolca Tejada, J. D. (2024). SOBRE LA DENSIDAD Y SU FORMULACIÓN. *ResearchGate*.

Yang, L., van der Werf, K., Dijkstra, P., Feijen, J., & Bennink, M. (2012). Micromechanical analysis of native and cross-linked collagen type I fibrils supports the existence of microfibrils. *ELSEVIER*, 1458-158. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751616111002955?via%3Dihub

Zhang, Y., Kumar, P., Lv, S., Xiong, D., Zhao, H., Cai, Z., & Zhao, X. (Febrero de 2021). *ScienceDirect*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127520309345

Zohra Zeggai, F., Touahra, F., Labied, R., Lerari, D., Chebout, R., & Bachari, K. (22 de Abril de 2024). *Intechopen*. Obtenido de https://www.intechopen.com/chapters/89345

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de extracción de colágeno

N°	Escama (g)	Agua	Solución		Líquido colagenoso (g)	Colágeno (g)
			Tiempo	Temp.		
1	90	2000	150	90	45	15
2	90	2000	150	90	42	13
3	90	2000	150	90	44	14
4	90	2000	150	90	45	14
5	90	2000	150	90	44	13
6	90	2000	150	90	44	14
7	90	2000	150	90	44	15
8	90	2000	150	90	44	13
9	500	4000	240	90	185	62
10	500	4000	240	90	177	63
11	500	4000	240	90	175	64
13	500	4000	240	90	173	63
14	500	4000	240	90	177	64
15	400	4000	240	90	183	58
16	400	4000	240	90	179	56
17	400	4000	240	90	177	57
17	400	4000	240	90	177	58
18	560	4000	300	90	175	72

Anexo 2. Cuadro experimental de la elaboración de bioplástico

Ensayo	Solución				Tiempo de secado (horas)	Temperatura de secado (°C)	Recipiente	Observación
	Colágeno (g)	Agua (ml)	Arcilla (g)	Agua (ml)				
1	16	.	.	.	24	55	plástico	Material traslucido, compacto, poco desmoldable.
2	5	50	0.75	3	24	55	papel horno	Material poco traslucido, compacto, nada desmoldable (pegado al papel horno).
3	5	50	.	.	24	55	plastilina	La muestra fue absorbida por la plastilina, imposible de desmoldar.
4	10	100	.	.	24	55	vidrio	Material traslucido, compacto, poco desmoldable.
5	10	100	.	.	24	55	Metal	Material traslucido, compacto, Difícil de desmoldar.
6	4	50	.	.	24	55	Silicona	Material traslucido, compacto y fácil de desmoldar
7	8	60	.	.	48	25	Silicona	Material poco traslucido, Gelatinoso y difícil de desmoldar
8	8	60	.	.	24	70	Silicona	Material poco traslucido, Compacto y fácil de desmoldar

Anexo 3. Cuadro de obtención de bioplástico

Ensayo	Solución				Tiempo de secado (horas)	Temperatura de secado (°C)	Recipiente
	Colágeno (g)	Agua (ml)	Arcilla (g)	Agua (ml)			
1	8	60	-	-	24	60	Silicona
2	8	60	-	-	24	60	Silicona
3	8	60	-	-	24	60	Silicona
4	7.6	60	0.4	2	24	60	Silicona
5	7.6	60	0.4	2	24	60	Silicona
6	7.6	60	0.4	2	24	60	Silicona
7	7.2	60	0.8	2	24	60	Silicona
8	7.2	60	0.8	2	24	60	Silicona
9	7.2	60	0.8	2	24	60	Silicona
10	6.8	60	1.2	2	24	60	Silicona
11	6.8	60	1.2	2	24	60	Silicona
12	6.8	60	1.2	2	24	60	Silicona

Anexo 4. Cuadro de Pruebas Físicas

X		Y		
Tratamiento	Rep.	Propiedades Físicas		
		Resistencia al calor (°C)	Densidad (g/cm3)	Solubilidad (%)
T1	1	110	1,34	100
	2	110	1,31	100
	3	110	1,33	100
T2	1	110	1,43	100
	2	110	1,4	100
	3	110	1,39	100
T3	1	120	1,45	100
	2	120	1,44	100
	3	120	1,43	100
T4	1	120	1,47	100
	2	120	1,49	100
	3	120	1,51	100

Anexo 5. Cuadro de Pruebas Mecánicas

X		Y	
Tratamiento	Rep.	Propiedades Mecánicas	
		Elasticidad (MPa)	Elongación (%)
T1	1	4,45	354,5
	2	4,45	377,2
	3	5,31	388,6
T2	1	0	275
	2	0	275
	3	0	297,7
T3	1	0	237,5
	2	0	220,4
	3	0	229,5
T4	1	0	152,2
	2	0	165,9
	3	0	150

Anexo 6. Cuadro de Pruebas Químicas

X		Y	
Tratamiento	Rep.	Propiedades Químicas	
		Degradabilidad (%)	pH
		Día 7	
T1	1	100	6,59
	2	100	6,62
	3	100	6,63
T2	1	100	6,53
	2	100	6,55
	3	100	6,59
T3	1	100	6,61
	2	100	6,55
	3	100	6,54
T4	1	100	6,21
	2	100	6,24
	3	100	6,18

Anexo 7. Lavado de escama de Paiche



Anexo 8. Pesaje de escamas de Paiche



Anexo 9. Lavado de escamas de Paiche en solución de cloruro de sodio (NACL) AL 5%



Anexo 10. Lavado de escamas de Paiche en solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 0,1 N



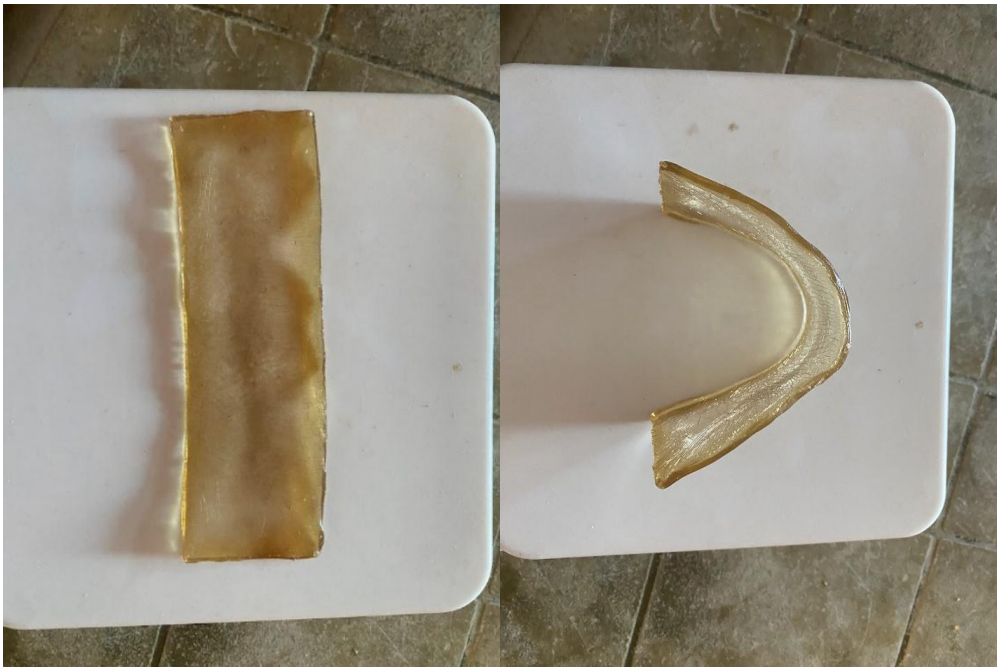
Anexo 11. Filtración del líquido colagenoso



Anexo 12. Extracción del agua de la solución por secado en horno



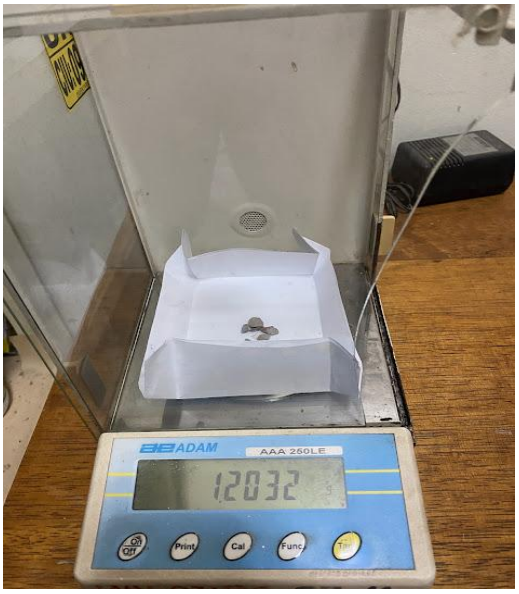
Anexo 13. Desmolde de muestras



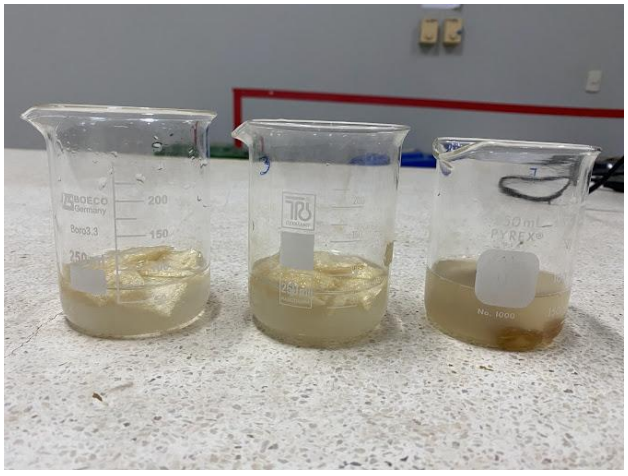
Anexo 14. Pesaje de colágeno extraído de las escamas de paiche para la elaboración del bioplástico de composición 95:5



Anexo 15. Pesaje del aditivo arcilla para la elaboración del bioplástico de composición 85:5



Anexo 16. Dilución de colágeno en agua caliente para la elaboración de bioplástico

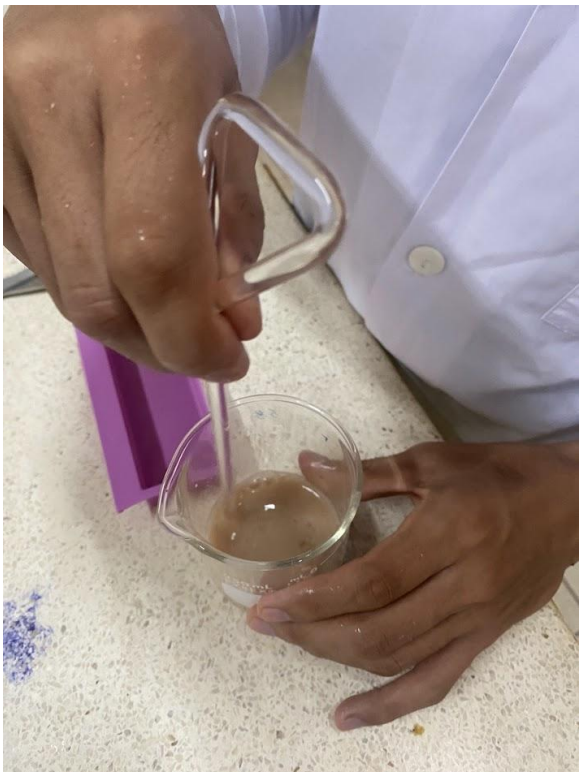




Anexo 17. Mezcla de arcilla diluida en la solución de colágeno



Anexo 18. Homogenización de la solución de colágeno:arcilla



Anexo 19. Vertimiento de la mezcla en los moldes de silicona



Anexo 20. Secado de las muestras en horno



Anexo 21. Desmolde de las muestras



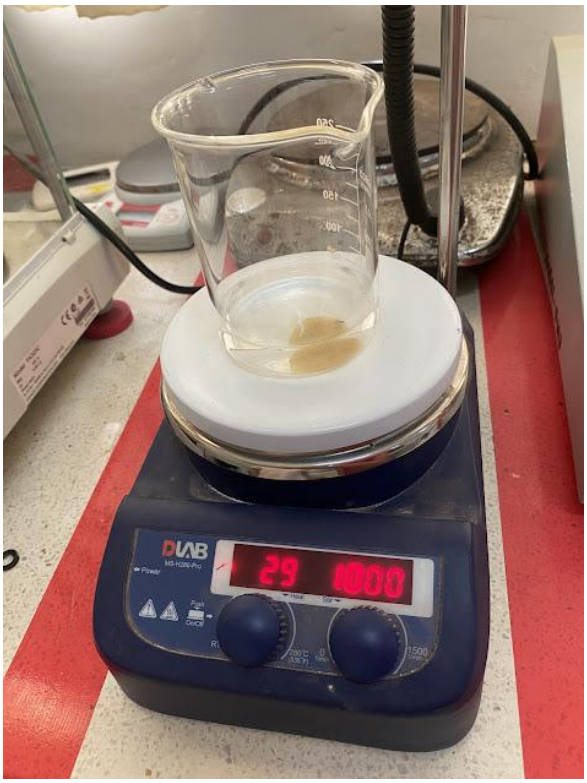
Anexo 22. Pruebas de Resistencia al calor



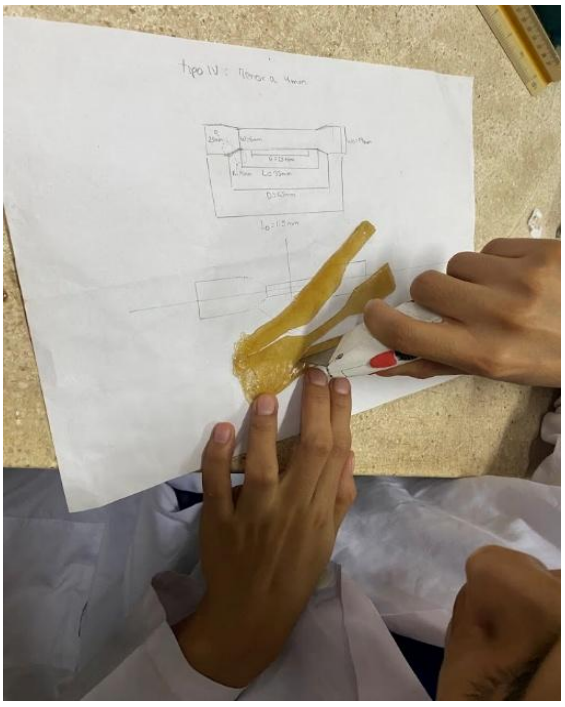
Anexo 23. Pruebas de Densidad



Anexo 24. Pruebas de Solubilidad



Anexo 25. Acondicionamiento de las muestras para las pruebas de elasticidad y elongación





Anexo 26. Pruebas de Elasticidad en el laboratorio





Anexo 27. Pruebas de Elongación en el laboratorio





Anexo 28. Pruebas de pH



