

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones
de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del
papel ecológico, Huánuco, 2025”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Ureta Inocente, Anderson Michel

ASESOR: Zacarías Ventura, Héctor Raúl

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología.

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Biotecnología ambiental

Disciplina: Biotecnología ambiental

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) Ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 70615511

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22515329

Grado/Título: Doctor en ciencias de la educación

Código ORCID: 0000-0002-7210-5675

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Doctor en ciencias de la salud	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día 09 del mes de abril del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

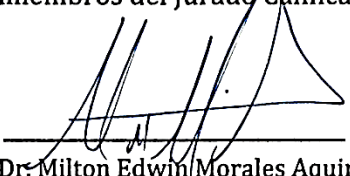
- Dr. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Vocal)


Nombrados mediante la **Resolución N° 0429-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: "Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025", presentado por el (la) Bach. **URETA INOCENTE, ANDERSON MICHEL** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

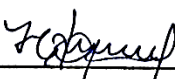
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **PROBADO** Por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **14** y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47)

Siendo las **18:30** horas del día **09** del mes de **ABRIL** del año **2026**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Dr. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente


Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario


Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal
DNI: 22411008
ORCID: 0000-0001-5319-4708
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ANDERSON MICHEL URETA INOCENTE, de la investigación titulada "Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025", con asesor(a) HÉCTOR RAÚL ZACARÍAS VENTURA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1590-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 13 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 23 de febrero de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

63. ANDERSON MICHEL URETA INOCENTE.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	2%
2	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A dios, por ser mi guía constante, en mis momentos de dificultad, por darme vida, salud y la oportunidad de llegar hasta aquí.

A mis padres, por ser mi mayor ejemplo en mi vida, y estar en mis buenos y malos momentos. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba de mí mismo, y apoyarme hasta poder terminar mis estudios.

A mis hermanos y familia, por su constante apoyo, palabras de aliento, brindándome siempre buenos consejos y estar presente en cada etapa de mi vida.

A mi enamorada y amigos, por su complejidad, comprensión, compañía en cada paso de este camino. Ustedes hicieron que este proceso se a más llevadero y significativo.

AGRADECIMIENTO

A mi universidad, por brindarme la formación académica, los recursos y el entorno necesarios para desarrollarme como profesional. Gracias por abrirme las puertas al conocimiento y al crecimiento personal.

A mi asesor Héctor Zacarias Ventura, por su valiosa guía, paciencia y dedicación durante todo este proceso. Su experiencia y apoyo fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Gracias por exigirme siempre un poco más y por confiar en mi capacidad.

A mi tío Agrepino Ureta, por su apoyo incondicional, sus consejos y el aliento constante que me dio en cada etapa. Gracias por estar presente no solo como familiar, sino como un verdadero pilar en este logro.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.3.OBJETIVO GENERAL	15
1.4.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6.LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.7.VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1.VARIABLE DE CALIBRACIÓN (CONCENTRACIÓN DE CASCARILLA DE CACAO)	27
2.1.2.VARIABLE EVALUATIVA (RESILIENCIA ESTRUCTURAL DEL PAPEL ECOLÓGICO)	32
2.2.DEFINICIONES CONCEPTUALES	41
2.3.HIPOTESIS	43
2.4.VARIABLES	44
2.4.1.VARIABLE DE CALIBRACIÓN	44
2.4.2.VARIABLE EVALUATIVA	44
CAPÍTULO III MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	46
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
3.1.1.ENFOQUE	46

3.1.2. ALCANCE O NIVEL	46
3.1.3. DISEÑO	46
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..	48
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.3.2. PROTOCOLO EN LA EJECUCIÓN	49
3.3.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LA INDUSTRIA PAPELERA	50
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	50
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	51
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	52
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	58
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS	71
ANEXOS	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes químicos de la cascarilla de cacao	30
Tabla 2 Operacionalización de variables	45
Tabla 3 Coordenadas UTM WGS-84 de ubicación del lugar a desarrollar	48
Tabla 4 Circunscripción temporal de la investigación	48
Tabla 5 Datos recolectados	48
Tabla 6 Resistencia mecánica (resistencia al rasgado) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.	52
Tabla 7 Resistencia física (gramaje, g/m ²) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.....	53
Tabla 8 Resistencia física (espesor, mm) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.....	54
Tabla 9 Resistencia física (absorción de agua, S) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.	55
Tabla 10 Resistencia ecológica (biodegradabilidad, %) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.	56
Tabla 11 Prueba de normalidad de los datos con Shapiro-	57
Tabla 12 Prueba de hipótesis, ANOVA.....	58
Tabla 13 Prueba post hoc de Tukey	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Propiedades y uso de la cascarilla de cacao	28
Figura 2 Creación de envase de cascara de cacao	31
Figura 3 Cascara de cacao es utilizada para crear envases biodegradables.	38

RESUMEN

En el presente estudio: Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025, se tuvo como Objetivo determinar la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico. La metodología adoptó un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, con la manipulación de tres concentraciones de cascarilla de cacao (50%, 70%, y 80%) como factor de estudio. La elaboración del papel siguió un proceso artesanal, incluyendo fases como cocción con soda cáustica y encolado con almidón de yuca. La evaluación de las propiedades de resiliencia estructural (Mecánica, Física y Ecológica) se realizó usando como referencia las normativas TAPPI (Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel) y las normas ISO (Organización Internacional de Normalización), Para el análisis inferencial, se aplicó la prueba ANOVA para determinar si existen diferencias significativas en la elaboración del tipo de papel, y la prueba Tukey para identificar las diferencias específicas entre los pares de concentración, se encontró un compromiso inverso en la eficacia: la Pulpa 50% resultó ser significativamente superior para la Resistencia al Rasgado y Absorción de Agua (durabilidad), mientras que las concentraciones de Pulpa 70% y 80% fueron significativamente superiores en Biodegradabilidad (sostenibilidad) y Espesor (cuerpo del papel). En conclusión, no existe una única concentración óptima; el 50% maximiza la durabilidad, y el 70%, 80% maximiza la sostenibilidad, validando la eficacia diferencial de la cascarilla de cacao en la modulación del papel ecológico.

Palabras Clave: Cascarilla de cacao, Papel ecológico, Resiliencia estructural, Biodegradabilidad, Propiedades mecánicas.

ABSTRACT

In the present study: Evaluation of the Effectiveness of Different Cocoa Husk Concentrations on the Structural Resilience of Ecological Paper, Huánuco, 2025, the Objective was to determine the effectiveness of different cocoa husk concentrations on the structural resilience of ecological paper. The methodology adopted a quantitative approach and an experimental design, with the manipulation of three cocoa husk concentrations (50%, 70%, and 80%) as the study factor. The paper elaboration followed an artisanal process, including phases such as cooking with caustic soda and sizing with yuca starch. The evaluation of the structural resilience properties (Mechanical, Physical and Ecological) was carried out using as a reference the TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) regulations and the ISO (International Organization for Standardization) standards. For the inferential analysis, the ANOVA test was applied to determine if there are significant differences in the production of the type of paper, and the Tukey test to identify the specific differences between the concentration pairs; an inverse trade-off in effectiveness was found: The 50% pulp concentration proved significantly superior in tear resistance and water absorption (durability), while the 70% and 80% pulp concentrations were significantly superior in biodegradability (sustainability) and thickness (paper body). In conclusion, there is no single optimal concentration; 50% maximizes durability, and 70% and 80% maximize sustainability, validating the differential effectiveness of cocoa husk in modulating eco-friendly paper.

Keywords: Cocoa husk, Ecological paper, Structural resilience, Biodegradability, Mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

La producción global de papel genera una presión insostenible sobre los ecosistemas forestales, siendo la deforestación una problemática ambiental crítica y bien documentada. Este desafío se agrava en contextos locales como Huánuco, Perú, donde la necesidad de mitigar la contaminación por residuos agroindustriales se une a la urgencia de encontrar alternativas de producción más limpias y circulares. Específicamente, la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*) se genera en grandes volúmenes como subproducto del cultivo principal, convirtiéndose en un residuo que, si no se gestiona adecuadamente, contribuye a la polución local.

Ante esta problemática dual (deforestación y gestión de residuos), el presente estudio tuvo como objetivo determinar la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, la solución propuesta es aprovechar la cascarilla de cacao como materia prima lignocelulósica para la fabricación de papel ecológico. Este estudio se justifica en los principios de la economía circular, transformando un desecho en un producto de valor. Sin embargo, para que esta solución sea viable, es crucial que el nuevo material cumpla con los requisitos mínimos de desempeño, asegurando que el papel resultante posea una resiliencia estructural adecuada para su uso.

El presente estudio, titulado "Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025," tuvo como conclusión que no existe una única concentración óptima; el 50% maximiza la durabilidad, y el 70% y 80% maximiza la sostenibilidad, validando la eficacia diferencial de la cascarilla de cacao en la modulación del papel ecológico, los resultados demostraron que la concentración de cascarilla es un factor estadísticamente significativo ($p < 0.05$ en todas las propiedades) para la resiliencia estructural. Sin embargo, se encontró un compromiso inverso en la eficacia: la Pulpa 50% resultó ser significativamente superior para la Resistencia al Rasgado y Absorción de Agua (durabilidad), mientras que las concentraciones de Pulpa 70% y 80% fueron significativamente superiores en Biodegradabilidad

(sostenibilidad) y Espesor (cuerpo del papel). El estudio busco abordar esta necesidad técnica. Su utilidad radica en proveer una base científica rigurosa, validada bajo estándares TAPPI e ISO, que guíe a los productores locales y a la industria papelera hacia la concentración óptima de cascarilla. La investigación determinará, mediante un diseño experimental, cómo diferentes proporciones del residuo (50%, 70%, y 80%) afectan las propiedades Mecánicas, Físicas y Ecológicas del papel, sentando las pautas para una producción sostenible y técnicamente sólida en la región de Huánuco.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el contexto de la sostenibilidad ambiental y el cambio climático, la necesidad de encontrar alternativas ecológicas a los productos de consumo diario se vuelve cada vez más crucial. Uno de los materiales más demandados a nivel mundial es el papel, cuyo proceso de producción convencional tiene un alto impacto ambiental debido a la tala de árboles, el consumo de agua y energía, así como la generación de residuos.

En este sentido, la búsqueda de materias primas alternativas y más sostenibles para la fabricación de papel se presenta como una estrategia clave para reducir el impacto ambiental asociado a su producción. En el departamento de Huánuco, Perú, una región rica en biodiversidad y producción agrícola, surge una alternativa prometedora: la utilización de cascarilla de cacao, un subproducto de la industria cacaotera, para la producción de papel ecológico. Esta iniciativa no solo ofrece una alternativa sostenible, sino que también impulsa la economía local y contribuye a la gestión de residuos en la región.

El Perú es el segundo productor de cacao orgánico en el mundo, y Huánuco es uno de los departamentos donde este cultivo ha mostrado un notable crecimiento en los últimos años. Sin embargo, la industria cacaotera también genera una gran cantidad de residuos, particularmente en forma de cascara, los cuales, si no se gestionan adecuadamente, pueden convertirse en una fuente de contaminación ambiental. La utilización de estos desechos para la fabricación de papel ecológico representa una solución innovadora y sostenible, capaz de mitigar los efectos negativos de la producción de cacao y promover una economía circular en la región.

La cascarilla de cacao, constituido por las cáscaras y restos fibrosos de la mazorca de cacao, contiene propiedades que lo hacen viable para la producción de papel. Diversos estudios han demostrado que las fibras presentes en los residuos del cacao pueden ser procesadas para crear un

papel de buena calidad, reduciendo significativamente la dependencia de la pulpa de madera convencional. Además, la cascarilla de cacao es un material renovable y abundante en Huánuco, lo cual no solo favorece la sostenibilidad del proyecto, sino que también reduce costos de transporte y permite valorizar un subproducto que, de otro modo, podría ser desechado sin aprovechar su potencial. La implementación de este tipo de proyectos en Huánuco representa una oportunidad para crear una economía más sustentable, en la que los residuos agrícolas se transforman en nuevos productos de valor añadido.

La producción de papel ecológico a partir de la cascarilla de cacao se enmarca dentro de los principios de la economía circular, un modelo económico que busca reducir al mínimo los residuos y aprovechar los recursos al máximo. Este enfoque es particularmente relevante en Huánuco, donde las actividades agrícolas, como el cultivo de cacao, generan residuos que en su mayoría no son aprovechados.

La economía circular propone transformar estos desechos en insumos para otros procesos productivos, fomentando una cadena de valor sostenible y menos dependiente de los recursos naturales. En el caso del papel ecológico a base de cascarilla de cacao, este modelo permite no solo reducir la demanda de madera para la producción de papel, sino también contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la conservación de la biodiversidad local.

El desarrollo de esta iniciativa en Huánuco es también relevante en términos educativos y de concienciación ambiental. Al integrar el conocimiento sobre la producción de papel ecológico en la comunidad, se promueve una cultura de respeto hacia el medio ambiente y un enfoque sostenible de los recursos naturales. La sensibilización sobre el impacto ambiental de los productos de consumo, como el papel, y la presentación de alternativas sostenibles, son aspectos esenciales para fomentar un cambio de mentalidad en la sociedad y para crear una generación de consumidores más responsables.

En este sentido, el proyecto de producción de papel ecológico con

cascarilla de cacao no solo tiene un valor económico y ambiental, sino que también juega un papel fundamental en la construcción de una ciudadanía ambientalmente consciente en Huánuco y sus alrededores.

Otro aspecto relevante de esta investigación es el potencial que ofrece para impulsar el desarrollo de tecnología y prácticas innovadoras en la región. La producción de papel a partir de fibras no maderables es una industria en crecimiento, que ha demostrado ser eficaz en otros países y que tiene el potencial de ser replicada en Huánuco con los recursos disponibles.

La investigación en técnicas de procesamiento y tratamiento de la cascarilla de cacao es fundamental para garantizar la calidad del papel producido, así como para optimizar el proceso y reducir costos. Este desarrollo tecnológico, además, podría ser transferido a otras regiones del Perú o incluso a otros países con industrias cacaoteras, contribuyendo a la expansión de prácticas sostenibles a nivel global.

En conclusión, la producción de papel ecológico con cascarilla de cacao en Huánuco, Perú, representa una iniciativa con múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales. Este proyecto no solo se enfoca en ofrecer una alternativa más sostenible al papel tradicional, sino que también busca aportar valor agregado a la industria cacaotera y fomentar la economía circular en la región. A través de esta investigación, se espera demostrar la viabilidad técnica y económica de la producción de papel ecológico en Huánuco y contribuir al desarrollo de una industria sostenible que permita reducir la dependencia de la pulpa de madera y aprovechar los recursos locales de manera responsable.

En un contexto de creciente conciencia ambiental y demanda de productos sostenibles, este proyecto tiene el potencial de posicionarse como una referencia en el ámbito de la sostenibilidad y de inspirar a otras comunidades y regiones a explorar alternativas similares. Así, la producción de papel ecológico con cascarilla de cacao no solo beneficiará a Huánuco, sino que también aportará al desarrollo de un modelo de producción más respetuoso con el medio ambiente y con el bienestar de las futuras generaciones.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema General

¿Cuál es la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?

Problemas Específicos

¿Cuál es la concentración eficaz de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?

¿Cuál es la resistencia mecánica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?

¿Cuál es la resistencia física de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?

¿Cuál es la resistencia ecológica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la resistencia mecánica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Determinar la resistencia física de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Determinar la resistencia ecológica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación Teórica

La cascarilla de cacao, un subproducto agrícola derivado de la industria del cacao es un material orgánico abundante y disponible en las regiones productoras de cacao, como Huánuco, Perú. Teóricamente, su utilización para la fabricación de papel ecológico se alinea con principios de sostenibilidad y economía circular, promoviendo la valorización de residuos agrícolas. La cascarilla de cacao, que generalmente es descartado o utilizado para fines limitados, presenta características estructurales que pueden ser aprovechadas para crear un material alternativo de bajo impacto ambiental. El papel producido a partir de la cascarilla de cacao contribuye al manejo eficiente de recursos naturales y a la reducción de desechos orgánicos, ayudando a mitigar problemas medioambientales relacionados con la deforestación y el uso excesivo de fibras vegetales tradicionales, como la pulpa de madera.

Justificación Práctica

La producción de papel ecológico a partir de la cascarilla de cacao tiene una justificación práctica significativa debido a su bajo costo y la disponibilidad local de este material. En zonas productoras de cacao, como Huánuco, la cascarilla representa un residuo subutilizado. Al aprovechar este subproducto agrícola, se contribuye a reducir los costos asociados con la adquisición de materias primas para la industria del papel y a promover una gestión más sostenible de los recursos locales.

Desde una perspectiva económica y medioambiental, la fabricación de papel a partir de cascarilla de cacao tiene el potencial de crear una alternativa viable a los papeles convencionales, que dependen en gran medida de la celulosa proveniente de bosques.

Además, el proceso de producción de papel con cascarilla de cacao puede ser menos intensivo en recursos y más respetuoso con el medio ambiente, lo que reduce las huellas de carbono y agua asociadas a la producción de papel tradicional. Este enfoque también responde a la creciente

demanda de productos ecológicos y sostenibles por parte de consumidores conscientes del impacto ambiental.

Justificación metodológica

Desde una perspectiva metodológica, el uso de la cascarilla de cacao para la producción de papel ecológico permitió explorar nuevas técnicas de procesamiento y fabricación que se adaptan a las características particulares de este material. La metodología propuesta para evaluar la resiliencia estructural del papel ecológico incluye pruebas específicas que miden la resistencia al rasgado, que son propiedades fundamentales para determinar la funcionalidad y durabilidad del material en condiciones de uso real.

La investigación metodológica se centró en el desarrollo de procesos de fabricación adaptados a las características de la cascarilla de cacao, optimizando la conversión de este material en fibras útiles para la producción de papel. Se evaluaron diferentes tratamientos de pulping (como la cocción o el proceso de descomposición enzimática) para garantizar que las propiedades mecánicas del papel obtenido sean adecuadas para aplicaciones prácticas. Al evaluar la resiliencia estructural del papel a través de estas metodologías, se pudo identificar el grado de adaptabilidad del material a condiciones de estrés físico (como el doblez) y ambiental (cambios de humedad), lo que facilitó la optimización de los procesos y su escalabilidad.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación, identificó algunas limitaciones que influyeron en los resultados y en la aplicabilidad de los hallazgos.

Para el análisis del papel ecológico requiere equipos especializados, como prensas y probadores de resistencia mecánica, cuya disponibilidad en la región es limitada, lo que reduce la precisión de los ensayos. Las condiciones climáticas y ambientales de Huánuco, como la humedad y la temperatura, teóricamente influyen en las propiedades del papel ecológico, afectando su resistencia y durabilidad.

Por último, la adquisición de reactivos, instrumentos de medición y materiales para el proceso experimental representa una limitación financiera,

lo que restringe la cantidad de muestras analizadas o la realización de pruebas adicionales.

No se evaluó los indicadores: Alargamiento, Resistencia a la tensión, permeabilidad, Resistencia a la humedad relativa

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

A pesar de las posibles limitaciones relacionadas con la adquisición de reactivos, instrumentos de medición y materiales experimentales, fue viable debido a los siguientes factores:

La región es un importante productor de cacao, lo que garantizó la disponibilidad de la cascarilla de cacao como materia prima a bajo costo, facilitando el acceso a recursos necesarios para el estudio, es por ello que se priorizó el uso eficiente de los insumos disponibles, maximizando el aprovechamiento de la cascarilla de cacao y minimizando el desperdicio de materiales durante la producción del papel ecológico. Se gestionará el acceso a laboratorios universitarios o centros de investigación que cuenten con los equipos necesarios para la experimentación, lo que reduce costos en la compra de instrumentos. Se aplicó un diseño experimental optimizado, seleccionando un número adecuado de muestras que permita obtener resultados representativos sin incurrir en costos excesivos.

A su vez, presenta una alta viabilidad ambiental, ya que no genera contaminación y contribuye a la reducción de residuos y el aprovechamiento de recursos naturales de manera sostenible. En conjunto, estos factores aseguraron que el estudio sea viable con un impacto positivo potencial en la región.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedentes Internacionales

Satian y Urriago (2024), en su investigación “*Evaluación de la calidad de papel kraft elaborado a partir del exocarpio de (*Theobroma cacao*) con aditivos derivados de bagazo de plátano (*Musa balbisiana*) y jacaranda (*Jacaranda copaia*), mediante la metodología Jayme-Wise*”. El **objetivo** de esta investigación fue analizar la calidad del papel Kraft elaborado a partir del exocarpio de cacao (*Theobroma cacao*), empleando como aditivos el bagazo de plátano rosado (*Musa balbisiana*) y la madera de *Jacaranda copaia*, mediante la aplicación de la metodología Jayme-Wise. La **metodología** de la investigación adoptó un enfoque exploratorio, descriptivo y explicativo, con un diseño experimental bifactorial en el que se evalúan distintas proporciones de exocarpio de cacao (100 %, 75 %, 50 % y 25 %) de las variedades CCN- 51, Nacional y Súper Árbol, combinado con diferentes concentraciones de los aditivos (0 %, 25 %, 50 % y 75 %). En primer lugar, se determinó la composición de lignina y celulosa en cada uno de los materiales utilizados. Posteriormente, se llevó a cabo la elaboración del papel Kraft utilizando la metodología Jayme-Wise, y finalmente, se analizó sus propiedades microbiológicas en relación con su viabilidad como material de empaque para alimentos. Los **resultados** evidenciaron que la variedad de cacao Nacional presentó los niveles más bajos de lignina (40,046) y los valores más altos de celulosa (31,468), mientras que el aditivo de jacarandá mostró valores de 56,33 y 60,1, respectivamente. En **conclusión**, se logró fabricar papel Kraft de manera efectiva en todos los tratamientos evaluados, cumpliendo con los estándares microbiológicos establecidos por la ARCSA. En términos de seguridad para el envasado de alimentos, el papel obtenido presentó niveles de moho, levaduras, coliformes fecales y aerobios dentro de los límites permitidos.

Moreno y Ramos (2024), en su estudio “*Evaluación de la metodología*

Kurschner y Hoffner en la producción de papel kraft a partir de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao) utilizando aditivos derivados del Pseudotallo de plátano (Musa paradisiaca) y Jacarandá (Jacaranda copaia)”. El **objetivo** de esta investigación fue evaluar la aplicación de la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel Kraft a partir de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*), empleando como aditivos materiales provenientes del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) y la madera de jacarandá (*Jacaranda copaia*). Para ello la **metodología** fue, en primer lugar, se analizó la composición de lignina y celulosa presente en la cascarilla de distintas variedades de cacao, así como en los aditivos seleccionados. Posteriormente, se implementó un diseño experimental AxB para la elaboración del papel Kraft, donde los factores de estudio fueron la variedad de cacao (CCN51, Nacional y Super Árbol) y la proporción del aditivo empleado (0 %, 25 %, 50 % y 75 %). Finalmente, se evaluaron las propiedades del papel Kraft obtenido, específicamente su espesor y resistencia a la tensión, en función de los estándares establecidos para uso industrial. Los **resultados** indicaron que las variedades de cacao analizadas presentaron valores estadísticamente equivalentes en cuanto a su contenido de lignina y celulosa. En relación con los aditivos, la madera de jacarandá mostró una mayor concentración de lignina y celulosa en comparación con el pseudotallo de plátano. Además, en los papeles elaborados con pseudotallo de plátano como aditivo, se verificó que todos cumplían con los valores normativos de espesor, aunque ninguno alcanzó la resistencia a la tensión requerida para aplicaciones industriales. En **conclusión**, en los papeles fabricados con la adición de madera de jacarandá, únicamente los tratamientos correspondientes a Super Árbol-0 %, Nacional-0 % y CCN51-0 % cumplieron con los estándares de espesor. Sin embargo, al igual que en el caso del pseudotallo de plátano, ningún papel en estudio logró satisfacer los requisitos mínimos de resistencia a la tensión para su uso a nivel industrial.

Santos (2024), en su estudio *“Propuesta para la elaboración de papel biodegradable a partir de la planta de plátano en PROCOL S.A.S por medio del método a la SOSA”*. El **objetivo** de este estudio fue desarrollar una

propuesta para el aprovechamiento de los residuos de la planta de plátano, incluyendo cáscaras, tallo floral y racimos, en la producción de papel biodegradable mediante el método de procesamiento con hidróxido de sodio. En la **metodología**, el proceso de fabricación del papel se llevó a cabo en varias etapas clave: digestión, filtración, blanqueamiento, laminado y determinación del contenido de alfa celulosa. Durante este procedimiento, se evaluarán variables como la concentración del reactivo, el tiempo de exposición, la temperatura y la proporción de materia prima, las cuales influirán en la eficiencia del proceso. Los **resultados** indicaron que un mayor tiempo de reacción y una mayor concentración de hidróxido de sodio favorecen la eliminación de lignina, optimizando así la calidad del papel obtenido. En particular, el papel derivado de la cáscara de plátano mostró características similares al papel vegetal, con aplicaciones potenciales en la impresión de imágenes, la escritura y la fabricación de bolsas para alimentos, destacándose por sus propiedades mecánicas, físicas y adecuadas. En **conclusión**, la producción de papel a partir de residuos de la planta de plátano representa una alternativa ambientalmente sostenible con beneficios económicos y sociales. Se recomienda a la empresa PROCOL incorporar este proceso adicional como una estrategia complementaria, lo que le permitiría obtener ventajas económicas. Esto se debe a que, dentro de sus costos operativos fijos, la recuperación de la inversión en equipos e insumos sea rápida, respaldada por el bajo costo de los reactivos necesarios para su implementación.

Li et al. (2021) en su estudio: *Optimization of fiber extraction from cacao husk for industrial applications*, tuvieron el **objetivo** de mejorar la eficiencia en la producción de materiales biodegradables, incluidos papeles ecológicos. **Metodología**. La investigación aborda los diferentes métodos de extracción de fibras, como los tratamientos Alcalinos y la modificación enzimática, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia de las fibras obtenidas. **Resultados**. A través de este estudio, los autores encontraron que el tratamiento con hidróxido de sodio mejora la calidad de las fibras al reducir la cantidad de lignina, lo que incrementa la flexibilidad y la resistencia de las fibras de bagazo. **Conclusión**, el estudio sugiere que el bagazo de cacao tiene un gran potencial para ser utilizado como materia prima en la fabricación de productos

ecológicos, ya que es una fuente abundante de celulosa, con propiedades similares a otras fibras vegetales convencionales como el papel reciclado. Los resultados también indican que el bagazo de cacao puede ser procesado con métodos sostenibles para producir materiales con baja huella ecológica, lo que ofrece una alternativa viable frente a los productos derivados de fuentes no renovables.

Sable & Mendoza (2022), Colombia, en su estudio: Characterization of cocoa (*Theobroma cacao* L.) wood branches as a potential resource for paper production tuvo como **objetivo** investigar el potencial de las ramas del árbol de cacao (*Theobroma cacao*) como recurso para la fabricación de papel. **Metodología.** En este estudio, se caracterizó químicamente la madera de cacao, comparándola con la madera de abedul, y se evaluaron las propiedades del papel producido a partir de la pulpa de estas ramas. Los **resultados** mostraron que la pulpa de las ramas de cacao, aunque presenta una composición química similar a otros recursos lignocelulósicos, requiere de un proceso de cocción controlado para mejorar su rendimiento en la producción de papel. **Conclusión.** La investigación subraya el potencial del cacao como materia prima alternativa, especialmente en regiones donde el cultivo de cacao es predominante, como en el caso de Huánuco, Perú. Este estudio refleja la viabilidad de usar bagazo de cacao como material para la fabricación de productos papeleros ecológicos.

Antecedentes Nacionales

Figuroa y Japay (2023), en su investigación *“Elaboración de papel ecológico a base de residuos orgánicos de *passiflora edulis* y *persea americana* provenientes de una agroindustria en Chilca – 2023”*. Esta investigación tuvo como **objetivo** principal desarrollar papel ecológico a partir de residuos orgánicos de maracuyá (*Passiflora edulis*) y palta (*Persea americana*) provenientes de una agroindustria. En la **metodología** se llevó a cabo un estudio de tipo aplicado, con un diseño experimental y un enfoque cuantitativo. Para la recolección de datos, se obtuvieron 25 kg de cáscara de maracuyá y 25 kg de cáscara de palta, los cuales fueron procesados en la elaboración del papel. Los **resultados** indicaron que la composición

compuesta por un 75 % de cáscara de maracuyá y un 25 % de cáscara de palta presentó las mejores propiedades para la fabricación de papel, logrando características óptimas en términos de calidad. Se **concluyó** que este diseño destacó en cuanto a propiedades físicas, como permeabilidad, gramaje y espesor, así como en sus propiedades mecánicas incluyendo alargamiento, tensión y resistencia al rasgado. Por otro lado, los diseños alternativos, conformados por una proporción equitativa de 50 % de cáscara de maracuyá y 50 % de cáscara de palta, así como la combinación inversa de 75 % de cáscara de palta y 25 % de cáscara de maracuyá, presentan características más similares a las del cartón o cartulina, lo que sugiere su potencial uso en aplicaciones diferentes a las del papel convencional.

Pérez & Fernández (2021) en su estudio: Evaluación del papel ecológico a base de residuos orgánicos: Caso de estudio del bagazo de cacao en la región central del Perú, su **objetivo** fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas de un papel ecológico fabricado con bagazo de cacao en la región central de Perú. **Metodología.** Se realizaron pruebas de resistencia a la tracción, resistencia al plegado y estabilidad dimensional del papel obtenido, comparándolo con papel convencional y otros materiales ecológicos. Los **resultados** indicaron que el papel fabricado con bagazo de cacao posee una alta resistencia al plegado y una notable estabilidad dimensional, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren durabilidad. Además, se estudió la huella de carbono del proceso de fabricación, encontrando que el uso de bagazo de cacao como materia prima reduce significativamente las emisiones de CO₂ en comparación con los métodos tradicionales de producción de papel. Este trabajo **concluye** que el bagazo de cacao no solo es una alternativa sostenible en términos de reciclaje de residuos agrícolas, sino que también ofrece un potencial económico para los productores de cacao al permitirles diversificar sus fuentes de ingreso. Se recomendó continuar con el desarrollo de técnicas de producción que optimicen la calidad y costo del proceso.

Herrera & Hoyos (2021) en su estudio: Elaboración de papel ecológico usando bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y bagazo de

beterraga (*Beta vulgaris*), Chiclayo. El **objetivo** fue investigar la viabilidad de utilizar bagazo de caña de azúcar y beterraga para la producción de papel ecológico en la región de Chiclayo. El análisis **concluyó** que la combinación de un 25% de bagazo de caña de azúcar y un 75% de bagazo de beterraga resultó en un papel con excelentes propiedades físicas y ópticas. Además, se detallaron las propiedades químicas y morfológicas del bagazo de caña de azúcar, como un 75.86% de beta celulosa. Este estudio destaca la viabilidad del uso de residuos agrícolas para la producción de papel ecológico, impulsando la economía circular y reduciendo el impacto ambiental asociado con la industria papelera convencional.

Ruiz (2020) en su estudio: Potencial energético de los residuos sólidos de caña de azúcar y cacao en las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo, región Ucayali, Perú tuvo como **objetivo** determinar el potencial energético de los residuos sólidos de bagazo de caña y cáscara de cacao en la región de Ucayali. **Metodología.** Se analizó la cantidad de residuos generados y su capacidad para producir energía, destacando que la región tiene un alto potencial energético, con 2885.13 ha de cacao y 898.49 ha de caña de azúcar en producción. Se **concluyó** que los residuos de cacao y caña podrían generar hasta 135.77 T J de energía al año, lo que cubriría aproximadamente el 19% de la demanda energética de la ciudad de Pucallpa. Este estudio subraya la importancia del bagazo de cacao como recurso renovable para la producción de energía, lo que también puede ser aprovechado en la fabricación de productos como el papel ecológico.

Antecedentes Locales

Ríos & Delgado (2020) en su estudio: *Estudio de la viabilidad del uso del bagazo de cacao en la producción de papel ecológico en la región de Huánuco, Perú* tuvo como **objetivo** investigar la viabilidad de utilizar bagazo de cacao, un subproducto agrícola de la región de Huánuco, Perú, en la fabricación de papel ecológico. **Metodología.** Se analizó la composición química del bagazo, su capacidad para producir fibras adecuadas para la fabricación de papel y las propiedades mecánicas del material obtenido. **Resultado.** El análisis reveló que el bagazo de cacao contiene altos niveles

de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que lo convierte en una materia prima adecuada para la producción de papel, con propiedades similares a las del papel convencional en términos de resistencia y flexibilidad. Además, se evaluó la disponibilidad de bagazo de cacao en la región, **concluyendo** que su uso contribuiría significativamente a la reducción de residuos y al aprovechamiento sostenible de recursos en la zona. Sin embargo, el estudio también destacó la necesidad de implementar tecnologías de extracción de fibras y procesos de fabricación eficientes para mejorar la calidad del papel y su resistencia a la humedad. El estudio subraya la importancia de este enfoque en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la diversificación de productos a partir de residuos locales.

Saravia (2022), en su tesis *“Obtención de plásticos biodegradables a partir de residuos de la mazorca de Cacao (*Theobroma cacao* L.)”*. La presente investigación tuvo como **objetivo** analizar el acondicionamiento de la biomasa de la mazorca de cacao variedad criollo para la producción de plásticos biodegradables. En la metodología se evaluaron sus características biométricas, fenólicas y antioxidantes, así como las propiedades morfológicas y el tiempo de biodegradabilidad de los plásticos obtenidos. En la primera fase del estudio, la mazorca de cacao se procesó en forma de harina fina mediante secado a 65 °C durante 24 horas en un secador de bandejas y posterior molienda en un molino de martillo. Los **resultados** indicaron que tanto la biomasa nativa como la harina obtenida presentaron un alto contenido de fibras y carbohidratos. En los plásticos biodegradables, los niveles de proteína y fibra disminuyeron, mientras que el contenido de carbohidratos mostró un incremento progresivo en los diferentes tratamientos (T1 a T5). En cuanto a los compuestos bioactivos, se observará que la concentración de flavonoides, fenoles totales y la actividad antioxidante, medida mediante DPPH y ABTS, aumentarán conforme se incrementaba la proporción de harina de mazorca de cacao en los plásticos. Particularmente, los tratamientos T3, T4 y T5 destacaron por su notable actividad antioxidante. Desde el punto de vista morfológico, el plástico correspondiente al tratamiento T3 mostró una estructura más homogénea y uniforme en comparación con los plásticos comerciales.

Asimismo, en términos de biodegradabilidad, T3 sobresalió por su estabilidad y comportamiento uniforme desde su fabricación hasta su evaluación en el medio ambiente, consolidándose como un bioplástico con propiedades ecológicas y potencial antioxidante. En **conclusión**, el bioplástico T3 no solo presentó características morfológicas similares a las de los plásticos convencionales, sino que también demostró una biodegradabilidad superior y una notable capacidad antioxidante.

Tucto (2022), en su tesis *“Elaboración de platos biodegradables, mediante el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) producido en la hacienda Pacán del distrito de Amarilis - Huánuco - 2021”*. Este estudio tuvo como **objetivo** determinar la viabilidad de fabricar envases ecológicos a partir de los tallos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), cultivados en la Hacienda Pacán, ubicada en el distrito de Amarilis, Huánuco, durante el año 2021. La **metodología** de la investigación se enmarcó dentro del enfoque cuantitativo, ya que se recopilaron y analizaron datos mediante procedimientos numéricos y estadísticos para contrastar la hipótesis planteada. En cuanto al diseño metodológico, se optó por un diseño experimental, en el cual se combinaron diferentes sustancias químicas o componentes con el propósito de evaluar sus reacciones e impacto en el proceso de fabricación. Los **resultados** indicaron que se obtuvo que sí es posible elaborar envases ecológicos a base de pulpa del bagazo de caña, por lo que se utilizó las partículas más pequeñas siendo más manejables y mejora la forma de acabado del envase, se puede deducir que de 100 gramos de bagazo de caña de azúcar se obtiene cinco platos biodegradables, la prueba de inocuidad demostró ausencia de microorganismos en coliformes totales y coliformes fecales, determinando la muestra apta para continuar con el proceso de elaboración de los platos biodegradables, según la prueba de resistencia física realizada en los envases y de acuerdo al número de golpes que fueron expuestos cada uno de ellos, muestra un rango de resistencia entre 5 a 13 golpes; así mismo, las ecuaciones utilizadas para este tipo de prueba nos demostraron que, al aplicar diferentes velocidades, siempre la energía resultante será igual o semejante, significando que si tiene una resistencia física. Se **concluyó** que

esta alternativa es viable, con un nivel de significancia de 0.008 bilateral, lo que respalda su potencial como opción sostenible en la fabricación de envases ecológicos.

2.1.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN (CONCENTRACIÓN DE CASCARILLA DE CACAO)

2.1.1.1. CONCENTRACIONES DE CASCARILLA DE CACAO

La cascarilla de cacao, es el residuo fibroso que queda después de la extracción de la pulpa de los granos de cacao, ha ganado interés como materia prima para diversos productos, incluidos materiales ecológicos como el papel. Este subproducto agrícola se genera en grandes cantidades, especialmente en las zonas productoras de cacao como Huánuco, Perú. La concentración y utilización de la cascarilla de cacao representa una estrategia valiosa para reducir el impacto ambiental de la producción de cacao, además de contribuir a la economía circular mediante el reciclaje de desechos agrícolas (Adebayo et al., 2020)

La cascarilla, un subproducto de la industria del cacao que ha ganado interés como materia prima alternativa para la producción de papel ecológico debido a sus características químicas y mecánicas favorables. Se compone principalmente de fibras celulósicas, que pueden ser procesadas para la fabricación de papel, contribuyendo a la reducción de residuos en las zonas productoras de cacao. La concentración de cascarilla en la mezcla de la pulpa es un factor crítico que influye en las propiedades finales del papel, como la resistencia, la rigidez y la estabilidad dimensional. En general, las concentraciones más altas de cascarilla de cacao pueden mejorar la resistencia al plegado y la durabilidad del papel, aunque también puede haber un impacto negativo en la flexibilidad y la suavidad del producto final debido a la mayor densidad de las fibras.

Figura 1

Propiedades y uso de la cascarilla de cacao



Nota: Propiedades y uso de la cascarilla de cacao, (Yahya et al., 2020)

El proceso de fabricación del papel a partir de la cascarilla de cacao requiere la optimización de la proporción de la cascarilla en la mezcla con otros materiales fibrosos, como bagazo de caña de azúcar o fibra de piña, para obtener un papel con propiedades equilibradas. La concentración de cascarilla influye en características importantes como la densidad del papel, que a su vez afecta su resistencia a la tracción y a la compresión. Investigaciones han mostrado que un porcentaje de cascarilla de cacao entre 40% y 60% en la mezcla de pulpa proporciona una buena combinación entre resistencia y flexibilidad. Además, la adición de otros materiales vegetales puede mejorar las propiedades físicas del papel sin comprometer su carácter ecológico (Oliveira et al., 2019)

La variación en las concentraciones de cascarilla de cacao también está relacionada con la eficiencia del proceso de cocción y la formación de la pulpa. Las concentraciones elevadas de cascarilla requieren tiempos de cocción más largos o tratamientos químicos adicionales, lo que puede aumentar los costos de producción. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que el uso de la cascarilla de cacao en altas concentraciones no solo es viable, sino

que puede resultar en un papel más resistente, adecuado para usos como empaques y cartulinas, siempre que se realicen los ajustes adecuados en el proceso de fabricación (Guedes et al., 2021).

2.1.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN DE LA CASCARILLA DE CACAO

El la cascarilla de cacao tiene una alta concentración de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que lo hace adecuado para su uso en la fabricación de papel ecológico. Las propiedades físicas de la cascarilla, como la rigidez y la tenacidad, dependen de la relación entre estos componentes. La celulosa es el principal responsable de las propiedades de resistencia, mientras que la lignina actúa como un adhesivo natural que mejora la cohesión entre las fibras. Diversos estudios han reportado que la cascarilla de cacao, cuando se procesa adecuadamente, tiene una composición que puede ser optimizada para fabricar productos con características mecánicas similares a las del papel tradicional (González et al., 2021)

La cascarilla de cacao, con su composición de celulosa, hemicelulosa y lignina, presenta propiedades físicas que pueden ser aprovechadas para la producción de papel ecológico. Sin embargo, estas propiedades son susceptibles a modificaciones dependiendo del tratamiento al que se someta la cascarilla. Comprender la composición química y las propiedades físicas de la cascarilla de cacao es esencial para optimizar su uso en aplicaciones industriales, como la fabricación de productos ecológicos y reciclables (González et al., 2021).

2.1.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE CACAO

González et al. (2021) refiere que la cascarilla de cacao se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, los tres principales componentes estructurales de las fibras vegetales. Estos componentes determinan las propiedades mecánicas de la cascarilla, como su rigidez, tenacidad y resistencia. A continuación, se presenta una tabla con la composición aproximada de la cascarilla de cacao:

Tabla 1

Componentes químicos de la cascarilla de cacao

Componente	Porcentaje (%)
Celulosa	45 - 55
Hemicelulosa	25 - 35
Lignina	15 - 20
Minerales	1 - 3
Extractivos	2 - 5

Nota. Corresponde a rangos de porcentajes aproximados. González et al. (2021)

2.1.1.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CASCARILLA DEL CACAO

La cascarilla de cacao, debido a su contenido en fibras de celulosa y lignina, presenta varias propiedades físicas que son clave en su uso para la fabricación de productos como el papel ecológico. Estas propiedades incluyen la resistencia a la tracción, la rigidez, y la capacidad de absorción de agua, que varían según el tratamiento y la concentración de las fibras.

- **Resistencia a la tracción:** Las fibras de celulosa son responsables de la resistencia a la tracción en la cascarilla. Esto es fundamental para que el material tenga la suficiente durabilidad y resistencia en aplicaciones como la fabricación de papel.
- **Rigidez:** La lignina y la hemicelulosa contribuyen a la rigidez de la cascarilla, lo que le otorga una estructura firme. Esto es importante para mantener la integridad estructural del papel ecológico durante su uso.
- **Absorción de agua:** La cascarilla de cacao tiene una alta capacidad de absorción de agua debido a su contenido en hemicelulosa. Este factor influye en la calidad del papel producido, ya que la capacidad de retener agua puede afectar tanto la formación de la hoja de papel como su textura. (Zainuddin et al., 2022).

2.1.1.5. FACTORES QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DE LA CASCARILLA DE CACAO

El procesamiento de la cascarilla de cacao, como la extracción de fibras

y los tratamientos térmicos o químicos, tiene un impacto significativo en sus propiedades físicas. Por ejemplo, los tratamientos alcalinos (como el uso de hidróxido de sodio) pueden mejorar la tenacidad y la flexibilidad de la cascarilla al reducir la cantidad de lignina, lo que aumenta la accesibilidad de las fibras de celulosa. La adición de enzimas también puede ser beneficiosa para modificar la estructura celular de la cascarilla y mejorar la calidad de las fibras extraídas. Además, el tiempo y la temperatura de secado, así como la presión durante la extracción de fibras, influyen en la eficiencia del proceso y en las propiedades finales del material obtenido (Wang et al., 2022).

2.1.1.6. TÉCNICAS DE CONCENTRACIÓN Y PROCESAMIENTO

El proceso de concentración de la cascarilla de cacao involucra técnicas de extracción y tratamiento que mejoran sus características para su uso en la producción de papel. Métodos como la maceración, la hidrólisis alcalina y la steam explosion son utilizados para extraer las fibras de celulosa de alta calidad de la cascarilla. Estas técnicas eliminan impurezas y mejoran la interacción entre las fibras, resultando en materiales con mayor resistencia. Además, se ha investigado el uso de enzimas para aumentar la eficiencia de la extracción de fibras y reducir el uso de productos químicos. La investigación en técnicas de concentración de la cascarilla de cacao es clave para mejorar la calidad de los productos derivados y su competitividad en el mercado (Alavi, 2020).

Figura 2

Creación de envase de cascara de cacao



Nota: Material base: cascara de cacao, (Alavi, 2020). Aplicaciones de la cascarilla de Cacao

El uso de la cascarilla de cacao para producir papel ecológico tiene varias ventajas, principalmente en términos de sostenibilidad y bajo costo. Al aprovechar este residuo agrícola, se reduce la necesidad de materias primas como la madera, lo que contribuye a la conservación de los bosques. Además, el proceso de fabricación de papel a partir de la cascarilla de cacao emite menos CO₂ que el proceso tradicional de fabricación de papel a partir de pulpa de madera. Estudios recientes sugieren que el papel producido con cascarilla de cacao tiene una calidad adecuada para aplicaciones en papelería, envases y productos reciclables (Zainuddin et al., 2022)

2.1.2. VARIABLE EVALUATIVA (RESILIENCIA ESTRUCTURAL DEL PAPEL ECOLÓGICO)

El Papel

El papel es un material fundamental, definido como una hoja delgada obtenida a partir de una suspensión acuosa de fibras de celulosa vegetal u otros materiales fibrosos, las cuales se entrelazan sobre una malla y se secan hasta formar una lámina flexible (Sánchez, 2019). Este material es esencial para escribir, imprimir y empaquetar.

Propiedades del Papel

Las propiedades del papel se clasifican en físicas, mecánicas y ópticas (Industrial Physics, 2024; Gráficas Netor, 2024).

- **Propiedades Físicas:** Incluyen el gramaje (masa por unidad de área), el espesor y la porosidad (Gráficas Netor, 2024). La porosidad influye directamente en la absorción de líquidos (Industrial Physics, 2024).
- **Propiedades Mecánicas:** Estas miden la durabilidad bajo tensión, destacando la resistencia a la tracción (longitud de rotura) y la resistencia al desgarro (Gráficas Netor, 2024).
- **Propiedades Ópticas:** Relacionadas con la luz, como la **opacidad (su cualidad de no ser transparente) y el brillo** (Industrial Physics, 2024).

Proceso de Obtención del Papel

La mayor parte del papel se obtiene a partir de la madera mediante

un proceso que transforma la materia prima fibrosa en láminas (DocuSign, 2024).

- **Obtención de Fibra y Pasta (Pulpeo):** Los troncos se procesan para separar las fibras de celulosa de la lignina y otros componentes. El tratamiento químico permite obtener fibras más puras (Universidad de Palermo, 2024).
- **Blanqueo:** La pasta se trata para eliminar la lignina residual y alcanzar el tono deseado (Universidad de Palermo, 2024).
- **Refinado y Formación:** Las fibras se refinan para potenciar los puentes de hidrógeno que dan cohesión. La pasta diluida se vierte sobre una malla y se prensa para eliminar el agua.
- **Secado y Acabado:** Se elimina el agua restante con rodillos calientes y se aplican acabados finales (DocuSign, 2024).

Variedad y Tipos de Papel

La diversidad de tipos de papel surge de la modificación de la materia prima (maderas, reciclado, fibras no leñosas) y los aditivos utilizados (Comercial Avilés, 2024). Esto permite crear papeles con propiedades específicas, como el Bond (rígido) o el Couché (estucado con recubrimiento) (Comercial Avilés, 2024).

Celulosa y Lignina: Componentes Estructurales

La Celulosa: La Base del Papel

La celulosa es el principal componente estructural de las plantas y la biomolécula más abundante (Pochteca Papel, 2014). Es un homopolisacárido compuesto por unidades de beta-glucosa. Sus fibras, al ser procesadas, desarrollan puentes de hidrógeno al secarse. Es la formación de estos enlaces la que provee la resistencia, rigidez y flexibilidad a la hoja de papel (Pochteca Papel, 2014).

La Lignina: Rigidez y Desafío

La lignina es el segundo componente estructural más abundante, caracterizado por ser un polímero aromático complejo que une y rigidiza

las fibras de celulosa en la planta (Monjaraz Ortigoza & Cano Muñoz, 2024; LibreTexts Español, 2024). Para obtener papel de alta calidad, la lignina debe ser eliminada o reducida (proceso de blanqueo), ya que su presencia resulta en un papel más oscuro y menos duradero debido a la oxidación (Universidad de Palermo, 2024).

Cascarilla de Cacao: Aprovechamiento y Justificación

Descripción y Composición de la Cascarilla de Cacao

La cascarilla de cacao es un subproducto agroindustrial que se obtiene del *Theobroma cacao* L. y su alto contenido de fibra la posiciona como fuente potencial de celulosa para la industria papelera (Sánchez, 2019; Arplast SL, 2025). Además de fibra, contiene compuestos bioactivos y minerales (Sangronis et al., 2020). Su aprovechamiento incluye la fabricación de **cartón y papel ecológico**, transformando un residuo en materia prima (Arplast SL, 2025).

Justificación de Uso en Papel Ecológico

El uso de la cascarilla se fundamenta en la sostenibilidad para crear un papel ecológico (Andrade Salazar et al., 2021). Al ser una fibra no leñosa, su incorporación reduce la necesidad de pulpa de madera virgen, mitigando la tala de bosques (Andrade Salazar et al., 2021). Permite utilizar un residuo, promoviendo la economía circular en la agroindustria cacaotera de Huánuco (Sánchez, 2019).

Resiliencia Estructural del Papel

En ciencia de materiales, la resiliencia es la capacidad de un material para absorber energía elástica durante la deformación y liberarla al cesar la carga, es decir, su resistencia a la rotura por impacto y su capacidad para recuperar su forma original (Becoña, 2006).

- **Resistencia Mecánica:** Incluye la capacidad de resistir **tracción** y **desgarro**, elementos que se verán afectados por la matriz fibrosa (celulosa) y el refuerzo (lignina o cascarilla).

- **Resistencia Física:** Se refiere a la estabilidad ante agentes externos, como la rigidez.

- **Resistencia Ecológica:** En este contexto, se interpreta como la **durabilidad** del material bajo el criterio de **sostenibilidad** (menor impacto ambiental asociado a su origen).

2.1.2.1. PRODUCCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO

La producción de papel ecológico implica el uso de materiales reciclados o de fuentes renovables, como cascarilla de cacao, para crear productos con un menor impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales que dependen de la madera. Este tipo de producción no solo reduce la deforestación, sino que también disminuye el uso de productos químicos tóxicos durante el proceso. En este contexto, el papel ecológico se presenta como una alternativa viable para satisfacer la demanda de productos papeleros sin comprometer la sostenibilidad ambiental (Song & Zhou, 2021)

2.1.2.2. MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL ECOLÓGICO

El uso de materiales alternativos, como los residuos agrícolas, ha demostrado ser una estrategia exitosa en la producción de papel ecológico. La cascarilla de cacao, por ejemplo, es una fuente rica en fibras que, al ser procesada adecuadamente, puede reemplazar parcialmente la madera en la fabricación de papel. Las propiedades físicas de la cascarilla de cacao, como su contenido de celulosa y la capacidad de absorción, lo convierten en una opción ideal para la producción de papel con características similares a las del papel convencional (López & Sánchez, 2021). Los materiales más comunes utilizados en la producción de papel ecológico son residuos vegetales, principalmente bagazo de caña de azúcar, de palma, y de cacao. Estos residuos contienen una mezcla de celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes que dan propiedades mecánicas al papel. La celulosa es crucial para la resistencia, mientras que la hemicelulosa y la lignina son importantes para la rigidez y la cohesión de las fibras. La cascarilla de cacao, en particular, presenta una alta concentración de celulosa (45-55%), lo que lo convierte en un material ideal para la

producción de papel ecológico (Siqueira et al., 2020)

La utilización de residuos vegetales como la cascarilla de cacao para la producción de papel ecológico presenta múltiples ventajas ambientales. En primer lugar, reduce la necesidad de talar árboles, lo que ayuda a conservar los bosques y a mitigar el cambio climático. Además, el reciclaje de residuos agrícolas reduce la cantidad de desechos orgánicos en vertederos, lo que contribuye a la disminución de la contaminación y de las emisiones de gases de efecto invernadero. A través de un enfoque de economía circular, estos residuos se convierten en un recurso valioso para la fabricación de productos sostenibles (Adebayo et al., 2020)

2.1.2.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL ECOLÓGICO

La fabricación del papel ecológico a partir de materiales como la cascarilla de cacao implica un proceso similar al del papel convencional, pero con diferencias clave en la preparación de la pulpa. La cascarilla se somete a un proceso de trituración y tratamiento para separar las fibras de celulosa. En algunos casos, se añaden productos naturales como almidón o resinas vegetales para mejorar la calidad y la durabilidad del papel. A lo largo de este proceso, se buscan reducir al mínimo el uso de productos químicos, sustituyéndolos por alternativas más ecológicas (Mahadevan et al., 2021)

El procesamiento de cascarilla de cacao para la fabricación de papel ecológico involucra varios pasos. Primero, se realiza una extracción de fibras mediante un proceso de pulpeado, en el que la cascarilla se mezcla con agua y, en ocasiones, con productos químicos como hidróxido de sodio para mejorar la calidad de la fibra. Posteriormente, se procede a la formación de la hoja de papel, donde las fibras se dispersan y se prensan para eliminar el exceso de agua. Finalmente, el papel se seca y se estabiliza. En algunos casos, se pueden utilizar técnicas adicionales como el tratamiento enzimático para mejorar la resistencia y la calidad del papel (Wang et al., 2022)

2.1.2.4. BENEFICIOS AMBIENTALES DEL PAPEL ECOLÓGICO

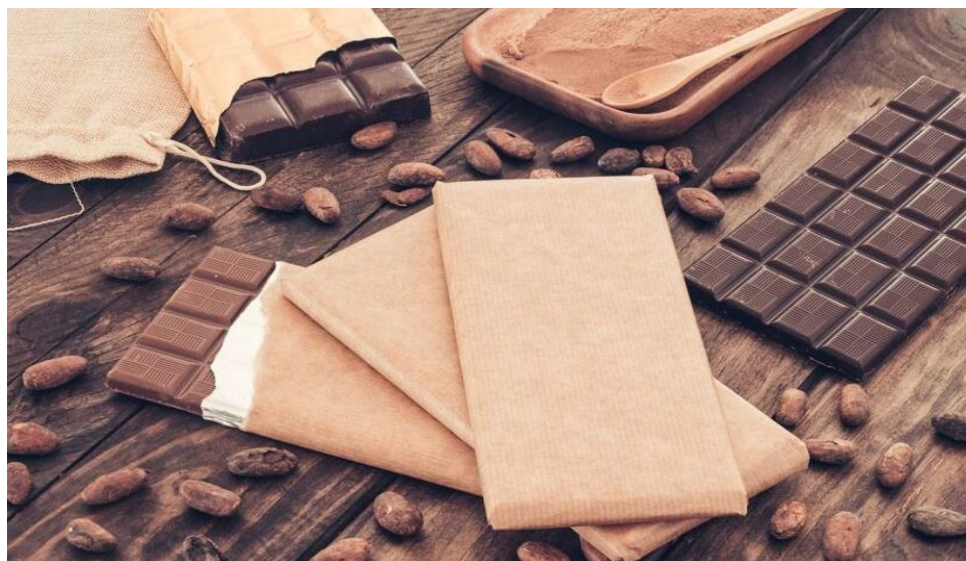
La producción de papel ecológico no solo está orientada hacia la reducción del uso de recursos naturales, sino también en la disminución de los impactos ambientales de la industria papelera. Los papeles ecológicos elaborados con residuos agrícolas o reciclados reducen la cantidad de desechos sólidos que terminan en vertederos. Además, al no depender de la tala de árboles, se minimizan los efectos negativos sobre los ecosistemas forestales, promoviendo la conservación de la biodiversidad (Santos et al., 2020)

A pesar de los beneficios potenciales, la producción de papel ecológico enfrenta varios desafíos. Estos incluyen la variabilidad de las materias primas, la necesidad de mejorar la resistencia y durabilidad del papel y la falta de infraestructura adecuada en algunas regiones para procesar los residuos agrícolas de manera eficiente. Sin embargo, las oportunidades para mejorar la sostenibilidad del proceso son vastas, ya que las tecnologías emergentes permiten optimizar el rendimiento de las fibras y reducir el consumo de energía y agua en la producción (Méndez et al., 2021)

La producción de papel ecológico utilizando materiales como la cascarilla de cacao representa una alternativa sostenible a los métodos convencionales de fabricación de papel. A través de la optimización de procesos y el uso de residuos agrícolas, esta industria puede contribuir significativamente a la sostenibilidad, al mismo tiempo que enfrenta desafíos como la mejora de las propiedades del material y la infraestructura de producción (Santos et al., 2020). El proceso tradicional de fabricación de papel a partir de pulpa de madera conlleva la tala de árboles, lo que contribuye a la deforestación y a la pérdida de biodiversidad. En cambio, el uso de materiales alternativos como la cascarilla de cacao permite disminuir significativamente la necesidad de madera, promoviendo una utilización más sostenible de los recursos naturales. Este enfoque contribuye a la conservación de los bosques y a la protección de los ecosistemas, especialmente en regiones donde los bosques tropicales están bajo amenaza (Siqueira et al., 2020).

Figura 3

Cascara de cacao es utilizada para crear envases biodegradables.



Nota: cascara de cacao utilizada para crear envases biodegradables. (Siqueira et al., 2020).

La producción de papel tradicional es una industria intensiva en energía y emite una gran cantidad de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente dióxido de carbono (CO_2). El proceso de fabricación de papel ecológico, al utilizar residuos agrícolas como la cascarilla de cacao, puede reducir significativamente las emisiones de CO_2 , ya que estos materiales generalmente requieren menos energía para ser procesados en comparación con la pulpa de madera. Además, la producción de papel ecológico a menudo incluye el reciclaje de papeles usados, lo que contribuye a la disminución de la cantidad de residuos sólidos y la reducción de las emisiones asociadas con la producción de papel nuevo (González et al., 2021)

El proceso de fabricación de papel convencional utiliza productos químicos agresivos, como blanqueadores a base de cloro, que contaminan las fuentes de agua y los suelos. En cambio, el papel ecológico, fabricado a partir de la cascarilla de cacao o papeles reciclados, generalmente emplea menos productos químicos tóxicos y utiliza procesos de blanqueo sin cloro, lo que resulta en una menor contaminación de los cuerpos de agua y los ecosistemas acuáticos.

Además, al ser un proceso de producción más limpio, contribuye a la disminución de los residuos industriales y mejora la calidad del suelo (Adebayo et al., 2020).

2.1.2.5. FOMENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

El uso de la cascarilla de cacao en la producción de papel ecológico fomenta la economía circular, un modelo que promueve el reciclaje y la reutilización de materiales para reducir el consumo de recursos naturales y la generación de desechos. La cascarilla de cacao, un residuo agrícola, se transforma en un producto útil, contribuyendo así a la disminución de los desechos orgánicos y fomentando una cultura de aprovechamiento de los subproductos. Esto no solo genera beneficios económicos al valorizar los residuos, sino que también reduce la presión sobre los vertederos y minimiza la necesidad de vertido de desechos agrícolas (Wang et al., 2022)

El uso del papel ecológico elaborado con cascarilla de cacao ofrece una serie de beneficios ambientales significativos, como la reducción de la deforestación, las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación del agua y el suelo, y la promoción de la economía circular. Este enfoque no solo mejora la sostenibilidad de la industria del papel, sino que también contribuye a la gestión eficiente de los recursos y los residuos, lo que beneficia al medio ambiente y a las comunidades locales (González et al., 2021)

El papel ecológico también contribuye a la mejora de la gestión de residuos sólidos. A medida que crece la demanda de productos más sostenibles, el reciclaje de papel se convierte en una de las prácticas más efectivas para reducir la cantidad de residuos que terminan en los vertederos. El papel ecológico fabricado con cascarilla de cacao no solo reutiliza un residuo agrícola, sino que también puede ser reciclado múltiples veces, lo que permite una vida útil más larga para el material y reduce la necesidad de producir nuevas fibras de celulosa. Esto contribuye a una economía de bajo desperdicio y promueve prácticas de reciclaje más eficientes (Zainuddin et al.,

2022).

2.1.2.6. RESILIENCIA ESTRUCTURAL DEL PAPEL ECOLÓGICO

La resiliencia estructural de un material hace referencia a su capacidad para resistir deformaciones y mantener su integridad bajo la acción de fuerzas externas. En el caso del papel ecológico, esta propiedad es fundamental para determinar su durabilidad y funcionalidad, especialmente cuando se utiliza en aplicaciones que requieren resistencia física, como empaques, papelería y materiales de impresión. La resiliencia estructural está influenciada por la composición del material, su proceso de fabricación, y las condiciones a las que está expuesto durante su uso (Zhao et al., 2020)

La resiliencia estructural del papel ecológico depende en gran medida de las características de las fibras vegetales utilizadas en su fabricación. La cascarilla de cacao, por ejemplo, es una fuente rica en celulosa, que aporta rigidez y tenacidad al papel. Sin embargo, la presencia de hemicelulosa y lignina en su composición puede afectar la flexibilidad y la capacidad de recuperación del material después de ser sometido a tensiones o fuerzas externas. La concentración de estos componentes debe ser controlada para optimizar la resiliencia estructural del papel (González et al., 2021)

El tratamiento de la cascarilla de cacao también juega un papel importante en la resiliencia estructural del papel ecológico. Métodos como el blanqueo y la modificación de las fibras mediante tratamientos térmicos o químicos (como el uso de ácidos y bases) pueden mejorar significativamente la resistencia del papel. Además, la adición de aditivos o el uso de técnicas de encolado puede mejorar la cohesión entre las fibras, lo que incrementa la capacidad del papel para resistir la deformación y mantener su estructura bajo condiciones de carga (Jiang et al., 2021)

La resiliencia estructural de los papeles ecológicos puede ser evaluada mediante ensayos mecánicos como la prueba de resistencia a la tracción, la resistencia al plegado, y la estabilidad dimensional.

Estos ensayos permiten determinar cómo el material responde a esfuerzos y deformaciones, y qué tan bien mantiene sus propiedades bajo condiciones de uso prolongado. La medición de la resiliencia estructural también implica estudiar el comportamiento del papel frente a cambios en la humedad y la temperatura, factores que pueden afectar su integridad a largo plazo (Koch et al., 2020)

2.2. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Concentración de cascarilla de cacao

Es el proceso de extracción y tratamiento de las fibras de cacao, para aumentar su proporción en relación con los otros componentes no fibrosos del material. Este proceso involucra la separación de las sustancias como la pulpa y las grasas, mejorando la calidad de las fibras para su posterior uso en la fabricación de materiales como el papel ecológico. La concentración permite aprovechar de manera más eficiente este residuo agrícola, reduciendo su impacto ambiental y contribuyendo a la economía circular (Siqueira et al., 2020).

Cascarilla de cacao

La cascarilla de cacao es el residuo fibroso que queda después de la extracción de los granos de cacao. Este subproducto agrícola se caracteriza por su alta concentración de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que lo convierte en una materia prima potencial para la fabricación de productos ecológicos, como papel reciclado. Además, debido a su disponibilidad en grandes cantidades en zonas productoras de cacao, su aprovechamiento contribuye a la reducción de desechos y promueve la economía circular (Zainuddin et al., 2022).

Resiliencia estructural del papel ecológico

Se refiere a su capacidad para mantener su integridad y funcionalidad cuando se somete a esfuerzos externos, como tracción, compresión o plegado. Esta propiedad está influenciada por la calidad de las fibras utilizadas, el tratamiento del material y las condiciones ambientales a las que se expone. En papeles ecológicos, la resiliencia estructural depende en

gran medida de la composición de las fibras vegetales y de los procesos de fabricación, que deben optimizarse para garantizar la durabilidad del producto (Zhao et al., 2020).

Papel ecológico

El papel ecológico es un tipo de material fabricado a partir de fuentes renovables y reciclables, en lugar de pulpa de madera tradicional. Este tipo de papel busca reducir el impacto ambiental mediante el uso de materiales alternativos, como residuos agrícolas, incluyendo cascarilla de cacao, caña de azúcar o fibras recicladas. Además, su producción minimiza el uso de productos químicos y energía, contribuyendo a la sostenibilidad. El papel ecológico es una opción más amigable con el medio ambiente, destinada a aplicaciones en papelería, embalaje y otros productos reciclables (Zainuddin et al., 2022).

Desarrollo sostenible

Es un modelo de crecimiento económico que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Este enfoque integra la equidad social, la viabilidad económica y la protección ambiental, buscando un equilibrio entre el bienestar humano y la conservación de los recursos naturales. El desarrollo sostenible promueve un uso responsable de los recursos para garantizar una calidad de vida duradera y accesible para todos (Brundtland, 1987).

Resistencia al doblado

Es la capacidad de un material, como el papel, para resistir la formación de grietas o rupturas cuando se dobla bajo una carga específica. Esta propiedad es crucial en aplicaciones donde el material experimenta doblado repetido, como en la fabricación de papelería o empaques. Se mide mediante pruebas de flexión, donde el material se dobla hasta que se rompe o muestra signos de daño. La resistencia al doblado depende de factores como la composición de las fibras, la cohesión entre ellas y el tratamiento al que ha sido sometido el material (Koch et al., 2020).

Estabilidad dimensional

Se refiere a la capacidad de un material para mantener sus dimensiones originales ante cambios de condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura. En el contexto del papel ecológico, esto implica que el material no sufra distorsiones significativas, como encogimiento, expansión o deformación, bajo condiciones de uso. La estabilidad dimensional es fundamental para garantizar la durabilidad y funcionalidad del papel en diversas aplicaciones (Koch et al., 2020).

2.3. HIPOTESIS

Hipótesis general

H1: Existe diferencia en la eficacia con distintas concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H0: No existe diferencia en la eficacia con distintas concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Hipótesis específicas

H1: Existe diferencia en la resistencia mecánica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H0: No existe diferencia en la resistencia mecánica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H2: Existe diferencia en la resistencia física con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H0: No existe diferencia en la resistencia física con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H3: Existe diferencia en la resistencia ecológica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H0: No existe diferencia en la resistencia ecológica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

2.4. VARIABLES

2.4.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Concentración de cascarilla de cacao.

2.4.2. VARIABLE EVALUATIVA

Resiliencia estructural del papel ecológico.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de variables

VARIABLE DE CALIBRACIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
Concentración de cascarilla de Cacao	Concentración 1	• 50	%	Numérica di
	Concentración 2	• 70	%	Numérica
	Concentración 3	• 80	%	continua
VARIABLE EVALUATIVA	Propiedades mecánicas	• Resistencia al rasgado	N* m ² / Kg	Numérica continua
	Propiedades físicas	• Gramaje	g/	Numérica continua
		• Espesor	m ²	Numérica continua
		• Absorción de agua	micrómetros	Numérica continua
Resiliencia estructural del papel ecológico	Propiedades ecológicas	• Biodegradabilidad	s	Numérica continua
			Dí	
			as	

Nota: Variables, dimensiones e indicadores, elaborado por el investigador (2025).

CAPÍTULO III

MÉTODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La clasificación de la presente investigación, según Supo & Zacarías (2020) considera lo siguiente: Es *Analítica*, por cuanto cuenta con dos variables analíticas. Es *prospectiva*, por cuanto los datos son recolectados por el propio investigador, es decir, se trabaja con datos primarios. Es *con intervención*, por cuanto el investigador actúa sobre las unidades de estudio, mediante la variable de calibración. Es *Transversal*, por cuanto la recolección de los datos se lleva a cabo en una ocasión.

3.1.1. ENFOQUE

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se emplean herramientas estadísticas con el propósito de relacionar las variables analíticas participantes (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El estudio se ubica dentro del nivel aplicativo, cuenta con dos variables analíticas (de calibración y evaluativa). (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.3. DISEÑO

El diseño que sigue el presente estudio es una variante del experimento verdadero, se trata de un pre experimento, el que teóricamente implica tener al menos dos grupos participantes uno de ellos el grupo control y el otro un grupo de estudio (Supo & Zacarías, 2020). Sin embargo, en esta investigación, se tiene 3 grupos con intervención. El siguiente esquema ilustra el diseño, mostrando los grupos participantes y las observaciones a tener en cuenta:

GE₁: X₁ O1, O2, O3

GE₂: X₂ O1, O2, O3

GE₃: X₃ O1, O2, O3

Donde:

GE1: Grupos de estudio con 50% de intervención (E_{1r1}, E_{1r2}, E_{1r3})

GE2: Grupos de estudio con 70% de intervención (E_{2r1}, E_{2r2}, E_{2r3})

GE3: Grupos de estudio con 80% de intervención (E_{3r1}, E_{3r2}, E_{3r3})

O1: Observación 1

O2: Observación 2

O3: Observación 3

X1: Intervención con 50 % de concentración **X2:** Intervención con 70 % de concentración **X3:** Intervención con 80 % de concentración

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

La población de esta investigación estuvo conformada por el papel ecológico elaborado con la cascarilla de cacao en sus diferentes concentraciones. La unidad de estudio en la cual se realizaron las mediciones fue el papel ecológico, teóricamente, el conjunto de unidades de estudio conformo la población de estudio. La cantidad de papel ecológico que se elaboró con toda la cascarilla existente fue indeterminada, por lo que se trató de una población de estudio desconocida o infinita.

Muestra

La muestra considerada en el presente estudio estuvo constituida por cada hoja de papel elaborado con las diferentes concentraciones de cascarilla de cacao, en las que se efectuaron las mediciones programadas, a saber, la resiliencia estructural y concentración de cascarilla de cacao.

Tabla 3*Coordenadas UTM WGS-84 de ubicación del lugar a desarrollar*

Coordenadas UTM	
Posición	18 L
Este	46212905
Norte	894386489

Nota: Coordenadas UTM del lugar de ejecución.**Tabla 4***Circunscripción temporal de la investigación*

Circunscripción Temporal	
Fecha inicio	Abril
Fecha final	Agosto
Año	2025

Nota: Circunscripción temporal.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 5*Datos recolectados*

VARIABLE DE CALIBRACIÓN	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO/ RECURSOS
Concentración de cascarilla de Cacao	Porcentaje	Observación	- Fórmula
			- Fórmula
			- Fórmula
VARIABLE EVALUATIVA	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO/ RECURSOS
Resiliencia estructural del papel ecológico	- Resistencia al rasgado	Observación	- Texturometro
	- Gramaje		- Balanza analítica
	- Espesor		- Medidor de espesor digital
	- Absorción de agua		- Cronometro
	- Biodegradabilidad		- Calendario

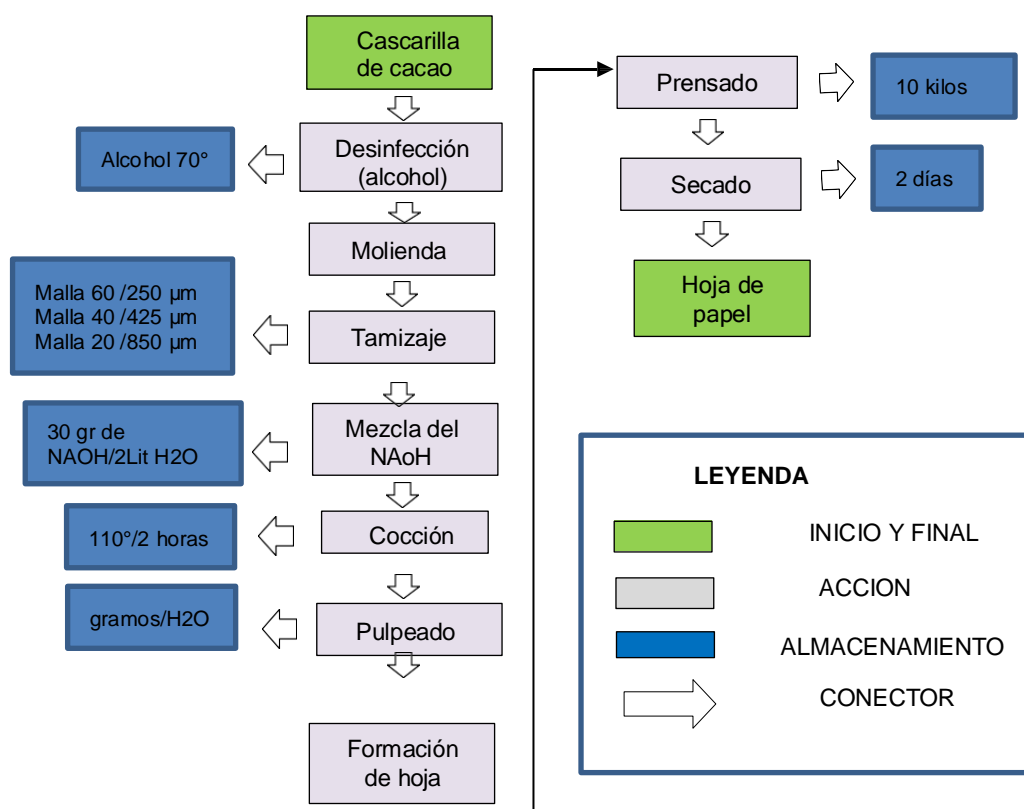
Nota: Instrumentos para la recolección de datos en campo y laboratorio.

3.3.2. PROTOCOLO EN LA EJECUCIÓN

Para elaboración de papel

Para la elaboración del papel, se adoptó y ajustó la metodología propuesta por Andy (2020, pp. 23-25) en su estudio sobre la producción de papel artesanal. Conforme a lo señalado previamente, se establecerá el flujograma que registra esta investigación, el cual describe de manera estructurada las fases esenciales del proceso, a partir desde la preparación de la materia prima hasta la obtención del producto final. Cada una de estas etapas fue ejecutada mediante procedimientos estandarizados y con el uso de equipos y materiales idóneos, con el propósito de asegurar la calidad y uniformidad del papel resultante. El flujograma sirvió como una directriz integral que facilitó la implementación eficaz y precisa de todo. El protocolo detallado se encuentra en el anexo 5.

Diagrama de flujo de procesos



Nota. Pasos que seguirá la elaboración de papel. Fuente, Andy (2020).

3.3.3. ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LA INDUSTRIA PAPELERA

Los estándares de calidad en la industria papelera en Perú están definidos por normativas nacionales e internacionales que establecen parámetros técnicos para garantizar el desempeño, seguridad y sostenibilidad de los productos de papel y cartón. Estos estándares abarcan características físicas, químicas y mecánicas del papel. En el contexto peruano, los estándares de calidad están alineados con normas internacionales como ISO (Organización Internacional de Normalización) y TAPPI (Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel), así como con regulaciones locales. El establecimiento y aplicación de estos estándares permiten regular la fabricación del papel, garantizar su desempeño en diversas aplicaciones y contribuir a prácticas sostenibles en la industria, promoviendo el uso eficiente de los recursos naturales y la reducción del impacto ambiental. Entre estos, la aplicación de los estándares mencionados se consideró como referencia metodológica para la evaluación de los indicadores del papel ecológico en el laboratorio, conforme a lo establecido en el ítem 2.1. El procedimiento del ensayo en laboratorio respecto a la medición de los parámetros se encuentra detallado en el anexo 6.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de los datos implicó la utilización de software especializado para el análisis estadístico, entre ellos IBM SPSS, versión 24, el cual proporcionó herramientas avanzadas para la organización, interpretación y modelado de datos. Además del uso de herramientas estadísticas, se implementó un enfoque de exégesis en el análisis de los datos, lo que permitirá una interpretación profunda y contextualizada de la información obtenida. El análisis de datos se llevó a cabo considerando la formulación de la hipótesis y el problema de investigación, lo que aseguró que los resultados obtenidos sean relevantes y respondan a las interrogantes planteadas en el estudio. Asimismo, se emplearon representaciones gráficas y tablas estadísticas para facilitar la visualización de los hallazgos, lo que permite una mejor comprensión de los resultados y su impacto en el desarrollo.

A lo largo del desarrollo del proyecto, se llevó a cabo la recolección sistemática de datos en diferentes etapas, asegurando un seguimiento preciso y detallado de las variables en estudio. La información fue registrada de manera estructurada en fichas de campo, las cuales incluyeron detalles relevantes como fecha, ubicación, condiciones ambientales y observaciones específicas sobre cada medición realizada. Posteriormente, todos los datos recopilados fueron digitalizados e ingresados en una hoja de cálculo en Microsoft Excel, donde se organizaron y categorizaron según los criterios establecidos en la metodología del estudio. Esta base de datos facilitó la ejecución del análisis. Finalmente, los datos procesados fueron representados de manera visual mediante tablas y gráficos estadísticos, los cuales proporcionan una interpretación clara y comprensible de los hallazgos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 6

Resistencia mecánica (resistencia al rasgado) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Concentración	Repeticiones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Unidad de Medición
Pulpa 50%	3	0.55	0.06	0.49	0.61	N
Pulpa 70%	3	0.4	0.046	0.37	0.45	N
Pulpa 80%	3	0.29	0.035	0.25	0.31	N

Nota. Datos recolectados en el estudio

Resultado:

Los resultados de la tabla muestran que la resistencia mecánica al rasgado del papel ecológico disminuye conforme aumenta la concentración de cascarilla de cacao en la pulpa. La mayor resistencia se obtuvo con la pulpa al 50%, que alcanzó una media de 0.55 N ($s = 0.06$), con valores que oscilaron entre 0.49 y 0.61 N en sus tres repeticiones. La pulpa al 70% presentó una resistencia media menor, de 0.40 N ($s = 0.046$), con un rango de 0.37 a 0.45 N. Finalmente, la pulpa al 80% mostró la resistencia más baja, con una media de 0.29 N ($s = 0.035$), registrando un mínimo de 0.25 y un máximo de 0.31 N. En conjunto, los datos evidencian una relación inversa entre el porcentaje de cascarilla de cacao y la resistencia estructural del papel ecológico.

Tabla 7

Resistencia física (gramaje, g/m²) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Concentración	Repeticiones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Unidad de Medición
Pulpa 50%	9	127.48	18.39	91.08	150.56	g/m ²
Pulpa 70%	9	211.1	84.64	135.78	341.31	g/m ²
Pulpa 80%	9	148.68	34.58	108.25	204.72	g/m ²

Nota. Datos recolectados en el estudio

Resultado:

Los resultados de la tabla muestran que el peso del papel ecológico aumenta conforme se incrementa la concentración de la cascarilla cacao, el mayor gramaje se registró con la pulpa al 70%, que alcanzó una media de 211.1 g/m² (s = 84.64), con valores que oscilaron entre 135.78 y 341.31 g/m² en sus nueve repeticiones. La pulpa al 80% presentó un peso medio menor, de 148.68 g/m² (s = 34.58), con un rango de 108.25 a 204.72 g/m². Finalmente, la pulpa al 50% mostró el peso más ligero, con una media de 127.48 g/m² (s = 18.39), registrando un mínimo de 91.08 y un máximo de 150.56 g/m². En conjunto, los datos muestran que, a mayor concentración de cascarilla de cacao, mayor es el peso del papel, pero esto indica que no existe una relación lineal, sino que hay un punto óptimo en 70%, donde se obtiene mayor densidad del material.

Tabla 8

Resistencia física (espesor, mm) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Concentración	Repeticiones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Unidad de Medición
Pulpa 50%	9	0.35	0.056	0.22	0.4	mm
Pulpa 70%	9	0.5	0.066	0.43	0.62	mm
Pulpa 80%	9	0.49	0.069	0.41	0.59	mm

Nota. Datos recolectados en el estudio

Resultado:

Los resultados de la tabla muestran que la resistencia física asociada al espesor del papel ecológico varía en función de la concentración de cascarilla de cacao en la pulpa. El mayor espesor se obtuvo con la pulpa al 70%, que alcanzó una media de 0.50 mm ($s = 0.066$), con valores que oscilaron entre 0.43 y 0.62 mm en sus nueve repeticiones. La pulpa al 80% presentó un espesor medio menor, de 0.49 mm ($s = 0.069$), con un rango de 0.41 a 0.59 mm. Finalmente, la pulpa al 50% mostró la resistencia más baja, con una media de 0.35 mm ($s = 0.035$), registrando un mínimo de 0.35 y un máximo de 0.31 N. En conjunto, los datos muestran que el espesor del papel ecológico al pasar de 50% a 70% de concentración de cascarilla de cacao, alcanzando su valor máximo en 70%, y luego se mantiene relativamente constante en 80%, evidenciando un comportamiento no lineal.”.

Tabla 9

Resistencia física (absorción de agua, S) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Concentración	Repeticiones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Unidad de Medición
Pulpa 50%	9	979.8	523.65	481	1807	S
Pulpa 70%	9	468	52.32	402	547	S
Pulpa 80%	9	630.56	85.92	517	769	S

Nota. Datos recolectados en el estudio

Resultado:

Los resultados de la tabla muestran que la resistencia física asociada a la absorción de agua del papel ecológico depende de la concentración de cascarilla de cacao en la pulpa. La mayor resistencia a la absorción se obtuvo con la pulpa al 50%, que alcanzó una media de 979.8 mm ($s = 523.65$), con valores que oscilaron entre 481 y 1807 s en sus nueve repeticiones. La pulpa al 80% presentó una resistencia a la absorción medio menor, de 630.56 s ($s = 85.92$), con un rango de 517 a 769 s. Finalmente, la pulpa al 70% mostró la resistencia a la absorción más baja, con una media de 468 s ($s = 52.32$), registrando un mínimo de 402 y un máximo de 547 s. En conjunto, los datos muestran que la resistencia del papel ecológico a la absorción de agua disminuye conforme aumenta la concentración de cascarilla de cacao.

Tabla 10

Resistencia ecológica (biodegradabilidad, %) de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Concentración	Porcentaje de Biodegradabilidad	Unidad de Medición
Pulpa 50%	90.15	%
Pulpa 70%	98.46	%
Pulpa 80%	98.93	%

Nota. Datos recolectados en el estudio.

Los resultados mostrados en la tabla indican que las concentraciones de cascarilla de cacao al 70% (98.46%) y del 80% (98.93%), resultaron presentar mayores niveles de eficiencia degradativa dentro del periodo de evaluación experimental comprendido entre 4 y 6 semanas. Estas mezclas alcanzaron valores de degradación próximos al 100%, lo cual evidencia un comportamiento ambiental altamente favorable. Por otro lado, la concentración de cascarilla de cacao con pulpa al 50% registró el porcentaje de biodegradación más bajo (90.15%). Aunque dicho valor sigue siendo elevado, indica que esta mezcla conserva una cantidad de masa residual mucho mayor (alrededor del 10%) al finalizar el periodo de 4 a 6 semanas. Estos resultados sugieren que la mejora en la biodegradabilidad tiende a estabilizarse o alcanzar su máximo potencial a partir de la concentración del 70%. En términos de resistencia ecológica, la Pulpa 80% es marginalmente la más eficaz, y ambas concentraciones altas (70% y 80%) son altamente superiores al 50%.

Tabla 11*Prueba de normalidad de los datos con Shapiro-*

Categoría	Variable Evaluada	Grupo / Muestra	Estadístico (W)	Sig. gl	Sig. (Valor p)
Mecánica	Resistencia al Rasgado	Residuos Estandarizados	948	9	0.672
Física	Gramaje (g/m ²)	Pulpa 50%	953	9	0.721
		Pulpa 70%	812	9	0.280
		Pulpa 80%	931	9	0.493
	Espesor (mm)	Pulpa 50%	962	9	0.819
		Pulpa 70%	941	9	0.596
		Pulpa 80%	958	9	0.778
	Absorción de Agua (s)	Pulpa 50%	865	9	0.108
		Pulpa 70%	915	9	0.354
		Pulpa 80%	968	9	0.876
Ecológica	Biodegradabilidad (%)	Pulpa 50%	923	9	0.418
		Pulpa 70%	724	9	0.061
		Pulpa 80%	658	9	0.056

Nota. Datos procesados en el estudio.

La evaluación de los datos bajo la prueba de Shapiro-Wilk permite concluir que los datos siguen una distribución normal, por haber superado el nivel de significancia convencional de 5%. En virtud de lo anterior, es posible hacer uso de una prueba estadística paramétrica para la contrastación de la hipótesis del estudio.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Hipótesis

H1: Existe diferencia en la eficacia con distintas concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

H0: No existe diferencia en la eficacia con distintas concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.

Tabla 12

Prueba de hipótesis, ANOVA

Categoría de la Propiedad	Propiedad Evaluada	Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de Libertad (gl)	Cuadrado Medio (CM)	F	Valor una p (Sig.)
Resistencia Mecánica	Resistencia al Rasgado	Entre Grupos	90	2	45	16.583	0.003
		Dentro de Grupos	16	6	27		
Resistencia Física	Gramaje (g/m ²)	Entre Grupos	15018.6	2	7509.3	5.866	0.008
		Dentro de Grupos	30686.2	24	1278.6		
	Espesor (mm)	Entre Grupos	150	2	75	14.287	0.000
		Dentro de Grupos	126	24	52		
	Absorción de Agua	Entre Grupos	826388	2	413194	5.906	0.008
		Dentro de Grupos	1679077	24	69961.5		
Resistencia Ecológica	Biodegradabilidad (%)	Entre Grupos	132.0	2	66.0	9.681	0.001
		Dentro de Grupos	163.6	24	6.81		

Nota. Datos recolectados en el estudio

Los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) demuestran que, para la totalidad de las propiedades evaluadas, existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes concentraciones de cascarilla de cacao. Dado que el Valor p (Significancia) fue consistentemente menor que el nivel de $\alpha=0.05$ en todas las pruebas, la Hipótesis Nula (H_0) se rechaza y la Hipótesis Alternativa (H_1) se acepta en cada caso. Esto valida la premisa central del estudio: la concentración de cascarilla es un factor determinante en la calidad y el rendimiento del papel.

Resistencia Mecánica

La Resistencia al Rasgado registró un estadístico F notablemente alto ($F=16.583$) con un valor p de 0.003. Este resultado indica que las concentraciones de cascarilla tienen una influencia altamente significativa en la capacidad del papel para resistir los esfuerzos de desgarro. Este es uno de los efectos más fuertes observados en el estudio.

Propiedades Físicas

En el ámbito de las propiedades físicas, todas las métricas mostraron diferencias significativas:

Espesor: Esta propiedad reveló el efecto más contundente, con un F de 14.287 y un valor p de 0.000. Esto confirma que la proporción de cascarilla es el factor principal y más determinante del grosor del papel.

Gramaje y Absorción de Agua: Ambas propiedades mostraron resultados muy similares y significativos (Gramaje: $F=5.866$, $p=0.008$; Absorción de Agua: $F=5.906$, $p=0.008$). El valor p de 0.008 para ambas propiedades confirma con certeza estadística que las variaciones en la concentración alteran la masa (Gramaje) y la durabilidad frente a la humedad (Absorción de Agua) del papel.

Resistencia Ecológica

La Biodegradabilidad se evaluó como la métrica de resistencia ecológica y también demostró una diferencia altamente significativa ($F=9.681$, $p=0.001$). El bajo valor p de 0.001 confirma que el porcentaje de cascarilla influye de manera crucial en la velocidad y el grado de descomposición del papel.

En síntesis, el análisis estadístico proporciona una base sólida para

afirmar que la manipulación de la concentración de cascarilla de cacao es un mecanismo eficaz para modular y controlar el rendimiento deseado en cada una de las dimensiones de la resiliencia estructural del papel.

Tabla 13

Prueba post hoc de Tukey

Categoría	Propiedad Evaluada	Orden de Eficacia (Mayor a Menor)	Comparación de Pares (I vs. J)	Valor p	Interpretación de la Diferencia
Mecánica	Resistencia al Rasgado	50% > 70% > 80%	50% vs. 70%	0.004	La diferencia es Significativa en todos los pares. La 50% es la más eficaz.
			70% vs. 80%	0.038	
			50% vs. 80%	0.001	
Física	Gramaje (g/m ²)	70% > 80% > 50%	70% vs. 50%	0.008	Solo el 70% es Significativamente superior al 50%. Los demás pares son estadísticamente iguales (p>0.05).
			70% vs. 80%	0.215	
			80% vs. 50%	0.152	
Física	Espesor (mm)	70% = 80% > 50%	70% vs. 50%	0.001	La 70% y 80% son Significativamente superiores al 50%. La 70% y 80% no son diferentes entre sí (p=0.870).
			80% vs. 50%	0.003	
			70% vs. 80%	0.870	
Física	Absorción de Agua	50% > 80% > 70%	50% vs. 70%	0.007	Solo el 50% es Significativamente superior al 70% y 80%. El 70% y 80% no son diferentes entre sí (p=0.112).
			50% vs. 80%	0.015	
			80% vs. 70%	0.112	
Ecológica	Biodegradabilidad (%)	80% = 70% > 50%	80% vs. 50%	0.002	La 80% y 70% son Significativamente superiores al 50%. No hay diferencia significativa entre 70% y 80% (p=0.790).
			70% vs. 50%	0.005	
			80% vs. 70%	0.790	

Nota. Datos recolectados en el estudio

En cuanto a la Resistencia Mecánica (Resistencia al Rasgado), la concentración de Pulpa 50% se establece como la más eficaz. La prueba de Tukey valida que todas las concentraciones son significativamente diferentes entre sí, lo que implica que cualquier aumento de la cascarilla, incluso de 70% a 80%, resulta en una pérdida de resistencia estadísticamente notable.

Respecto a las Propiedades Físicas, el Gramaje y el Espesor exhiben patrones de eficacia similares. Para el Gramaje, solo la concentración de Pulpa 70% es significativamente superior a la de 50%, mientras que la diferencia entre 70% y 80% no es significativa. De manera similar, en el Espesor, las concentraciones de 70% y 80% son significativamente más gruesas que la 50%, pero no son estadísticamente diferentes entre sí. Esto sugiere un punto de saturación: aumentar la cascarilla más allá del 70% no proporciona un beneficio significativo en el grosor o el peso. En la Absorción de Agua, la Pulpa con 50% demuestra ser significativamente superior a las otras concentraciones, mientras que las concentraciones de 70% y 80% no difieren significativamente en su capacidad de absorción.

La Resistencia Ecológica (Biodegradabilidad) muestra un patrón de eficacia opuesto a la resistencia mecánica. Las concentraciones de Pulpa 80% y 70% son significativamente superiores al 50%, confirmando que una mayor proporción de cascarilla (fibra pura) mejora drásticamente la degradación. De forma crucial, la prueba post hoc indica que no existe una diferencia significativa en la biodegradabilidad entre la Pulpa de 80% y la Pulpa de 70%, lo que implica que aumentar la cascarilla al 80% sobre el 70% no genera un beneficio ambiental estadísticamente justificable.

En conclusión, el análisis inferencial revela un compromiso estructural clave: la Pulpa de 50% ofrece la mejor Resistencia Mecánica y la mejor Resistencia a la Absorción de Agua con diferencias significativas, mientras que las concentraciones de 70% y 80% son las más eficaces para la Resistencia Ecológica (Biodegradabilidad) y las Propiedades Físicas (Espesor y Gramaje), siendo el punto de equilibrio más prometedor la concentración de 70%.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Discusión del Objetivo General: Eficacia en la Resiliencia Estructural del Papel Ecológico

Dentro de la investigación detallamos que la cascarilla de cacao influye directamente en la resiliencia estructural del papel ecológico. Asimismo, la técnica estadística ANOVA y la prueba de Tukey corroboraron diferencias relevantes entre las concentraciones de 50%, 70% y 80% en todas las propiedades evaluadas (mecánicas, físicas y ecológicas), confirmando la influencia directa de la cascarilla en el rendimiento del producto final. Podemos determinar que la eficacia no recae en una única concentración, sino que se observa un compromiso inverso entre las propiedades de Resistencia Mecánica y las de Eficacia Ecológica/Masa.

La pulpa al 50 % presentó mayor resistencia mecánica, probablemente por su equilibrio entre papel reciclado y cascarilla de cacao, lo que favorece la densidad y cohesión de las fibras. La prueba de Tukey confirmó que esta diferencia es estadísticamente significativa frente a concentraciones más altas, apoyando la idea de que un menor contenido de cascarilla mejora la durabilidad del papel. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Moreno y Ramos (2024), quienes indicaron que incrementos en la proporción de aditivos en papel Kraft redujeron la resistencia al rasgado, dificultando su uso en aplicaciones industriales. En este contexto, los resultados de la presente investigación sugieren que, si bien el aumento de cascarilla puede aportar beneficios ecológicos y mejorar ciertas propiedades, existe un compromiso entre la resistencia mecánica y otros atributos del papel. Por tanto, la selección de la proporción óptima debe considerar tanto el desempeño físico del producto como los objetivos de sostenibilidad, buscando un equilibrio que permita mantener la funcionalidad sin sacrificar su biodegradabilidad ni su capacidad estructural.

Por otro lado, las pulpas al 70% y 80% demostraron una

biodegradabilidad más rápida, alcanzando prácticamente el 100% de descomposición a las cuatro semanas. Esto confirma que el aumento del contenido de cascarilla proporciona un mayor aporte de material lignocelulósico susceptible a la acción microbiana, acelerando el proceso de degradación. Esta tendencia coincide con estudios previos sobre residuos agrícolas como plátano (Santos, 2024) y caña de azúcar (Herrera & Hoyos, 2021), en los que un mayor contenido de fibra vegetal favorece la biodegradabilidad. Asimismo, investigaciones sobre residuos de cacao en Colombia y Huánuco (Ríos & Delgado, 2020; Sable & Mendoza, 2022) también resaltan el potencial de la fibra de cacao como fuente de celulosa para la producción de papel ecológico.

En cuanto a las propiedades físicas, se observó que el espesor y gramaje aumentan con concentraciones mayores de cascarilla (70 % y 80 %), estabilizándose sin diferencias significativas entre ambas. Esto sugiere que dichas mezclas podrían ser más apropiadas para aplicaciones que requieran un mayor cuerpo, como cartulinas ecológicas, esto hace mención en sus resultados de Figueroa y Japay (2023) sobre mezclas de cáscaras de frutas, donde trabajo con una proporción equitativa de 50 % de cáscara de maracuyá y 50 % de cáscara de palta, así como la combinación inversa de 75 % de cáscara de palta y 25 % de cáscara de maracuyá, presentando características más similares a las del cartón o cartulina.

Finalmente, los resultados confirman que existe un equilibrio entre propiedades mecánicas y ecológicas. La pulpa al 50% ofrece la máxima resistencia, mientras que las pulpas al 70% y 80% priorizan la degradación rápida y completa, lo que evidencia que la proporción de cascarilla debe seleccionarse en función del objetivo del producto final: durabilidad frente a eficiencia ecológica. En este sentido, los hallazgos coinciden con estudios de Saravia (2022), quienes reportan que los residuos de mazorca de cacao favorecen la biodegradación acelerada, y con Li et al. (2021), quienes señalan que la fibra de cacao contiene lignina residual que limita parcialmente la cohesión mecánica pero no afecta su capacidad ecológica.

En conclusión, los resultados demuestran que la cascarilla de cacao es

un recurso valioso para la producción de papel ecológico, pero su proporción debe ajustarse según se priorice resistencia mecánica o biodegradabilidad. Las concentraciones del 70% y 80% se muestran como óptimas para aplicaciones donde la sostenibilidad y degradación rápida son prioritarias, mientras que la pulpa al 50% es más adecuada cuando se requiere mayor durabilidad estructural.

Discusión del objetivo específico resistencia mecánica

El análisis de la resistencia al rasgado mostró que la pulpa al 50 % presentó el mejor desempeño, con un valor promedio significativamente superior al de las pulpas al 70 % y 80 % (Tukey, $p < 0.05$). Esto indica que una menor proporción de cascarilla favorece la cohesión de las fibras y la integridad estructural del papel. La explicación se encuentra en la composición de la cascarilla de cacao: la lignina y hemicelulosa presentes, si no se eliminan completamente durante la cocción con soda cáustica, pueden interferir en la formación de puentes de hidrógeno, disminuyendo la longitud efectiva de las fibras y su interconexión. En contraste, el 50 % de pulpa pura proporciona una estructura fibrosa más continua, lo que se traduce en una mayor resistencia al rasgado.

Discusión del objetivo específico resistencia física

En cuanto a las propiedades físicas, la pulpa al 70 % mostró el mayor gramaje ($M = 211,10 \text{ g/m}^2$), significativamente superior al 50 %, mientras que el espesor también fue mayor en las pulpas al 70 % y 80 %, sin diferencias entre ellas. Esto sugiere que el incremento de cascarilla contribuye a hojas más densas y de mayor cuerpo, con potencial para aplicaciones donde se requiera un mayor grosor.

Respecto a la absorción de agua, la pulpa al 50 % mostró mayor resistencia frente a las concentraciones más altas. Esto se debe a que la cascarilla de cacao posee grupos hidrofílicos que aumentan la capacidad de absorción, y en las mezclas con mayor proporción de cascarilla, la distribución del agente encolante (almidón de yuca) es menos uniforme, dejando más sitios expuestos que facilitan la penetración de agua. Por tanto, existe un

compromiso entre la densidad y el control de absorción en función de la proporción de cascarilla.

Discusión del objetivo específico resistencia ecológica

La biodegradabilidad se vio favorecida en las pulpas al 70 % y 80 %, mientras que la pulpa al 50 % retuvo alrededor del 10 % de su masa original al final del período de evaluación. La mayor cantidad de cascarilla proporciona un sustrato orgánico más abundante y accesible para la actividad microbiana, acelerando el proceso de descomposición. Esto confirma que el incremento de cascarilla mejora la eficiencia ecológica del papel, cumpliendo con el objetivo de mitigar el impacto ambiental y favoreciendo la resiliencia ecológica del material.

En conjunto, los resultados evidencian que no existe una única concentración óptima para todas las propiedades: la pulpa al 50 % maximiza la resistencia mecánica y control de absorción de agua, mientras que las pulpas al 70 % y 80 % optimizan la biodegradabilidad y el espesor. Esto resalta la necesidad de equilibrar los objetivos funcionales y ecológicos al diseñar papel ecológico a base de cascarilla de cacao, priorizando la propiedad más relevante según el uso final del producto.

CONCLUSIONES

El estudio permite afirmar que:

El Análisis de Varianza (ANOVA) confirmó que la concentración de cascarilla de cacao es un factor estadísticamente significativo para determinar la resiliencia estructural del papel ecológico ($p < 0.05$ en todas las propiedades). Sin embargo, la conclusión principal revela un compromiso inverso en la eficacia: la concentración de Pulpa 50% resultó ser la más efectiva para la Resistencia al Rasgado y Absorción de Agua (durabilidad), siendo significativamente superior a las otras concentraciones. Por el contrario, las concentraciones de Pulpa 70% y 80% se destacaron por su eficacia significativamente superior en la Biodegradabilidad (sostenibilidad ecológica) y el Espesor (cuerpo del papel). Por lo tanto, no existe una única concentración óptima; el 50% optimiza la durabilidad, mientras que el 70% y 80% optimizan la sostenibilidad y el cuerpo, confirmando una eficacia diferencial de la cascarilla en función de la prioridad estructural.

Se determinó que la resistencia mecánica al rasgado es significativamente más eficaz en la concentración de Pulpa 50%. La prueba post-hoc de Tukey confirmó que el rendimiento del 50% es estadísticamente superior al 70% y 80% en la capacidad de las fibras para resistir la propagación de un desgarro. Por lo tanto, para aplicaciones que requieren máxima durabilidad y resistencia mecánica, una menor inclusión de cascarilla de cacao es la opción más viable.

Se determinó que la resistencia física presenta un doble comportamiento de eficacia, en el Gramaje y Espesor: Las concentraciones de Pulpa 70% y 80% son las más eficaces, produciendo un papel significativamente más grueso que el 50%. La estabilidad de la media indica que la eficiencia de estas propiedades se maximiza a partir del 70%, sin beneficio estadístico al aumentar al 80%. En cuanto a la Absorción de Agua: La concentración de Pulpa 50% resultó ser significativamente más eficaz (mayor resistencia a la humedad) que la Pulpa 70%, lo que sugiere que la menor proporción de cascarilla hidrofílica, combinada con el agente de encolado, confiere una

durabilidad superior frente a la penetración de agua.

Se determinó que la resistencia ecológica (biodegradabilidad) es significativamente más eficaz en las concentraciones de Pulpa 70% y 80%. Estas concentraciones fueron estadísticamente superiores al 50% en la tasa de descomposición. Esto concluye que el uso de una mayor proporción de cascarilla de cacao es esencial para optimizar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental del papel, cumpliendo el propósito principal de crear un producto ecológico.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones para la Producción y Aplicación Inmediata

- Para la Priorización de la Sostenibilidad y el Cuerpo: Se recomienda la concentración de Pulpa 70%. Esta mezcla ofrece una Biodegradabilidad y un Espesor que son estadísticamente iguales a los del 80%, pero se logra con una menor cantidad de residuo de cascarilla. Además, el 70% produce el mayor Gramaje, siendo el más adecuado para aplicaciones de cartulina ecológica o empaques donde la resistencia estructural ambiental es la prioridad.
- Para la Priorización de la Durabilidad y Estabilidad: Se recomienda la concentración de Pulpa 50%. Aunque es menos ecológica, demostró ser significativamente más eficaz en la Resistencia al Rasgado y la Absorción de Agua, propiedades cruciales para el papel de escritura, impresión o archivo que requiere mayor durabilidad y estabilidad dimensional.

Recomendaciones Metodológicas y de Proceso

- Optimizar la Extracción de Lignina: Dado que la Resistencia Mecánica (Rasgado) es el punto más débil de las concentraciones altas, se recomienda optimizar el proceso de cocción para la Pulpa 70% y 80%. Esto podría involucrar el uso de una mayor concentración de soda cáustica (>0.5%) o tiempos de cocción más prolongados (>60 minutos), siguiendo los principios de estudios previos (Li et al., 2021), con el fin de mejorar la remoción de lignina y, consecuentemente, la formación de puentes de hidrógeno entre las fibras.
- Asegurar la Estabilidad del 50%: Se debe investigar la causa de la alta variabilidad observada en la Absorción de Agua de la Pulpa 50%. Se recomienda realizar un control de calidad más estricto en el proceso de encolado para asegurar una distribución uniforme del almidón de yuca, lo que podría estabilizar su rendimiento frente a la humedad.

Recomendaciones para Futuras Investigaciones

- **Inclusión de Aditivos de Refuerzo:** Futuros estudios deberían enfocarse en la Pulpa 70%, incorporando aditivos naturales de refuerzo (como bagazo de plátano o jacarandá, explorado por Satian y Urriago, 2024) para intentar incrementar la Resistencia al Rasgado del papel, buscando llevar sus valores a rangos industriales sin sacrificar la excelente Biodegradabilidad que ya posee.
- **Evaluación de Costos y Huella Ecológica:** Se sugiere realizar un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y un estudio de viabilidad económica (como sugieren Pérez & Fernández, 2021) para determinar cuál de las concentraciones (50% o 70%) ofrece la menor huella de carbono y el mayor beneficio económico a los productores de Huánuco.

REFERENCIAS

- Adebayo, G., Abiola, O., & Adeyemo, D. (2020). Agricultural waste recycling: The use of cacao husk in biofuel production. *Waste Management*, 102, 123–124.
- Alavi, S. (2020). Life cycle analyses of alternative fibers for paper. *AIChE Journal*, 66(7). <https://doi.org/10.1002/amp2.10023>
- Andy, L. (2020). *Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (Zea mays l) y cáscara de plátano (Musa paradisiaca l) utilizando los métodos químicos de Jayme-Wise, Kurshner y Hoffner*. [Tesis de Título, Universidad Nacional de Chimborazo]. <https://acortar.link/maYhS5>
- Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (2001). *TAPPI T 494 om-01: Propiedades de tracción del papel y el cartón (utilizando un aparato de elongación constante)*. TAPPI.
- Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (2016). *TAPPI T 460 om-16: Resistencia del papel al aire (método Gurley)*. TAPPI.
- Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (2013). *TAPPI T 410 om-13: Gramaje de papel y cartón (peso por unidad de área)*. TAPPI.
- Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (2010). *TAPPI T 411 om-10: Espesor (calibre) de papel, cartón y cartón combinado*. TAPPI.
- Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (2016). *TAPPI T 432 om-16: Absorción de agua de papel y cartón encolados (no absorbentes) (prueba Cobb)*. TAPPI.
- Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (2020). *TAPPI T 441 om-20: Absorción de agua de papel y cartón encolados (no absorbentes) (prueba Cobb)*. TAPPI.
- ASTM International. (2012). *ASTM D5988-12: Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en*

el suelo. ASTM International.

Brundtland. (1987). Our Common Future. *World Commission on Environment and Development*.

Favero, A., Thomas, V. M., & Luetzgen, C. O. (2019). Life cycle analyses of alternative fibers for paper. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing*, 1(3), e10023. <https://doi.org/10.1002/amp2.10023>

Figuroa, Z. y Japay, J. (2023). *Elaboración de papel ecológico a base de residuos orgánicos de passiflora edulis y persea americana provenientes de una agroindustria en Chilca – 2023*. [Tesis de Título, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/132239>

González, J., Torres, A., & Salazar, H. (2021). Caracterización y propiedades del bagazo de cacao para la producción de materiales ecológicos. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología*, 29(4), 89–93.

Guedes, A., Costa, L., & Silva, A. (2021). Effects of cacao husk concentration on pulping and paper properties. *Environmental Sustainability*, 14(2), 125–138.

Herrera, T., & Hoyos, E. (2021). *Elaboración de papel ecológico usando bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y bagazo de beterraga (Beta vulgaris)*, Chiclayo. Universidad César Vallejo.

ISO 14855-1. (2012). *Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje. Método mediante análisis del dióxido de carbono desprendido*. Organización Internacional de Normalización.

Jiang, L., Yang, L., & Zhang, C. (2021). Effect of chemical treatments on the mechanical properties of paper made from agricultural residues. *Industrial Engineering and Chemistry Research*, 60(28). <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c01302>

Koch, A., Morgan, T., & Krömer, M. (2020). Mechanical properties of eco-friendly papers: Analysis and testing for industrial applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(14).

<https://doi.org/10.1002/app.48887>

Li, Y., Zhang, M., & Chen, F. (2021). Utilización del Bagazo de Cacao en la Producción de Materiales Biodegradables. *Industrial Crops and Products*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113284>

López, F., & Sánchez, M. (2021). Valoración del bagazo de cacao como materia prima para la producción de papel ecológico. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(3), 227–234.

Mahadevan, P., Senthil, V., & Srinivasan. (2021). Process optimization in eco-friendly paper manufacturing from agricultural residues. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 4668–4679.

Méndez, L., Romero, J., & Ruiz, P. (2021). *Challenges in the eco-friendly paper industry: Material and process innovations*. 30, 24–31.

Moreno, L. y Ramos, J. (2024). *Evaluación de la metodología Kurschner y Hoffner en la producción de papel kraft a partir de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao) utilizando aditivos derivados del Pseudotallo de plátano (Musa paradisiaca) y Jacarandá (Jacaranda copaia)*. [Tesis de Título, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/22674/1/236T0977.pdf>

Oliveira, J., Lima, L., & Rosa, L. (2019). Evaluation of the impact of cacao husk concentration on paper properties. *Materials Research*, 22(3). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0591>

Organización Internacional de Normalización (2012). *ISO 1974: Papel – Determinación de la resistencia al desgarro – Método de Elmendorf*. ISO.

Organización Internacional de Normalización (2012). *ISO 1974: Papel – Determinación de la resistencia al desgarro – Método de Elmendorf*. ISO.

Organización Internacional de Normalización (1990). *ISO 187: Papel, cartón y pulpas. Atmósfera normalizada para acondicionamiento y pruebas*.

ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2019). *ISO 536: Papel y cartón – Determinación del gramaje*. ISO.

Organización Internacional de Normalización (2011). *ISO 534: Papel y cartón – Determinación del espesor, la densidad y el volumen específico*. ISO.

Organización Internacional de Normalización (2017). *ISO 287: Papel y cartón – Determinación del contenido de humedad de un lote – Método de secado en horno*. ISO.

Organización Internacional de Normalización (2014). *ISO 535: Papel y cartón – Determinación de la capacidad de absorción de agua – Método Cobb*. ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2013). *ISO 5636-5: Papel y cartón – Determinación de la permeabilidad al aire – Parte 5: Método de Gurley*. ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2008). *ISO 1924-2: Papel y cartón – Determinación de las propiedades de tracción – Parte 2: Método de velocidad constante de elongación (20 mm/min)*. ISO.

Pérez, L., & Fernández, M. (2021). Evaluación del papel ecológico a base de residuos orgánicos: Caso de estudio del bagazo de cacao en la región central del Perú. *Revista Peruana de Ingeniería y Desarrollo Sostenible*, 10(3), 78–89.

Ríos, E., & Delgado, A. (2020). Estudio de la viabilidad del uso del bagazo de cacao en la producción de papel ecológico en la región de Huánuco, Perú. *Revista de Tecnología y Ciencias Ambientales*, 16(2), 44–45.

Ruiz, J. (2020). *Potencial energético de los residuos sólidos de caña de azúcar y cacao en las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo, región Ucayali, Perú*. Universidad Nacional de Ucayali.

Sable, R., & Mendoza, J. (2022). Characterization of cocoa (*Theobroma cacao* L.) wood branches as a potential resource for paper production.

Bioresources. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/>

- Santos, D., Oliveira, J., & Silva, S. (2020). *Environmental benefits of using agricultural waste in paper production*. 65, 789–798.
- Santos, G. (2024). *Propuesta para la elaboración de papel biodegradable a partir de la planta de plátano en PROCOL S.A.S por medio del método a la SOSA*. [Tesis de Título, Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/38951c1f-4a15-4714-96bf-456147d436d8/content>
- Satian, N. y Urriago, D. (2024). *Evaluación de la calidad de papel kraft elaborado a partir del exocarpio de (Theobroma cacao) con aditivos derivados de bagazo de plátano (Musa balbisiana) y jacaranda (Jacaranda copaia), mediante la metodología Jayme-Wise*. [Tesis de Título, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22664>
- Saravia, L. (2022). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de residuos de la mazorca de Cacao (Theobroma cacao L.)*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5813b5d8-ab0a-4436-9d98-4c53ebb7a2d4/content>
- Siqueira, A., Lima, A., & Souza, F. (2020). *The use of cacao husk in the production of eco-friendly paper*. 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120420>
- Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (2007). *ASTM D689-07: Método de ensayo estándar para la resistencia al desgarro interno del papel*. ASTM International.
- Song, S., & Zhou, J. (2021). *Advances in eco-friendly paper production technologies*. *Sustainable Materials and Technologies*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00243>
- Tucto, H. (2022). *Elaboración de platos biodegradables, mediante el bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) producido en la hacienda Pacán del distrito de Amarilis - Huánuco – 2021*. [Tesis de Título,

Universidad de Huánuco].

Wang, L., Liu, W., & Xie, J. (2022). Enzyme-assisted extraction of cellulose from agricultural residues for biodegradable material production.

Biomass and Bioenergy, 154.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106255>

Yahya, S., Saleh, A., & Mursy, S. (2020). Utilization of cacao husk as a renewable resource for paper production. *Journal of Renewable Materials*, 8(4), 332–340.

Zainuddin, Z., Mohd, M., & Shamsudin, M. (2022). A sustainable approach to biomass utilization from agricultural residues: Bagasse in composite materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109800>

Zhao, X., Liu, H., & Zhang, Y. (2020). Structural resilience of eco-friendly papers under different environmental conditions. *Materials Science and Engineering*, 803. <https://doi.org/10.1016/j.mse.2020.140482>

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ureta, A. (2026). Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2026. [Tesis. Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.

ANEXOS

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variable/ indicadores	Metodología
¿Cuál es la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?	Determinar la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.	<p>HIPOTESIS GENERAL:</p> <p>H1: Existe diferencia en la eficacia con distintas concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p> <p>H0: No existe diferencia en la eficacia con distintas concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p>	<p>VARIABLE DE CALIBRACIÓN: Concentración de cascarilla de cacao</p> <p>Dimensiones - Concentración 1, 2 y 3</p> <p>Indicadores - 50%, 70% y 80%</p> <p>VARIABLE EVALUATIVA:</p>	<p>Tipo Según el número de variables analíticas: Analítico Según la planificación de las mediciones: Prospectivo Según la intervención del investigador: Con intervención Según el número de mediciones de la variable de estudio: Transversal Enfoque: Cuantitativo Nivel: Aplicativo Diseño: Experimento verdadero Población: La población de esta</p>
Problema Específico	Objetivo Específico			

<p>¿Cuál es la resistencia mecánica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?</p>	<p>Determinar la resistencia mecánica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p>	<p>HIPOTESIS ESPECÍFICO:</p> <p>H1: Existe diferencia en la resistencia mecánica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p> <p>H0: No Existe diferencia en la resistencia mecánica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p>	<p>Resiliencia estructural del papel</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades mecánicas <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia al rasgado <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades físicas <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gramaje - Espesor - Absorción de agua 	<p>investigación está conformada por el papel ecológico a elaborarse con la cascarilla de cacao en sus diferentes concentraciones. La unidad de estudio en la cual se va a realizar las mediciones es el papel ecológico, teóricamente, el conjunto de unidades de estudio conforma la población de estudio. La cantidad de papel ecológico a elaborarse con toda la cascarilla existente es indeterminada, por lo que se trata de una población de estudio desconocida o infinita.</p>
<p>¿Cuál es la resistencia física de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025?</p>	<p>Determinar la resistencia física de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p>	<p>H1: Existe diferencia en la resistencia física con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p> <p>H0: No existe diferencia en la resistencia física con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p>	<p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades ecológicas <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biodegradabilidad 	<p>Muestra: La muestra para considerar en el presente estudio está constituida por cada hoja de papel elaborada con las diferentes concentraciones de cascarilla de cacao, en las que se efectuarán as mediciones programadas, a saber, la resiliencia estructural y concentración de cascarilla de cacao.</p> <p>Diseño:</p> <p>G.E1: X1- - O1, O2, O3</p> <p>G. E2: X2- - O1, O2, O3</p> <p>G. E3: X3- - O1, O2, O3</p>
<p>¿Cuál es la resistencia ecológica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del</p>	<p>Determinar la resistencia ecológica de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del</p>	<p>H1: Existe diferencia en la resistencia ecológica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025.</p> <p>H0: No existe diferencia en la resistencia ecológica con diferentes concentraciones de cascarilla de cacao</p>		<p>G. E1: Grupo CON 50% (E1r1, E1r2, E1r3)</p> <p>G. E2: Grupo CON 70% (E1r1, E1r2, E1r3)</p> <p>G. E3: Grupo CON 80% (E1r1, E1r2, E1r3)</p> <p>O1: Pre observación</p> <p>1 O2: Post observación</p> <p>2 O3: Post observación</p>

papel ecológico,
Huánuco,
2025?

papel ecológico,
Huánuco, 2025.

en la resiliencia estructural del papel
ecológico, Huánuco, 2025.

3

X1: Intervención con 50%

X2: Intervención con 70%

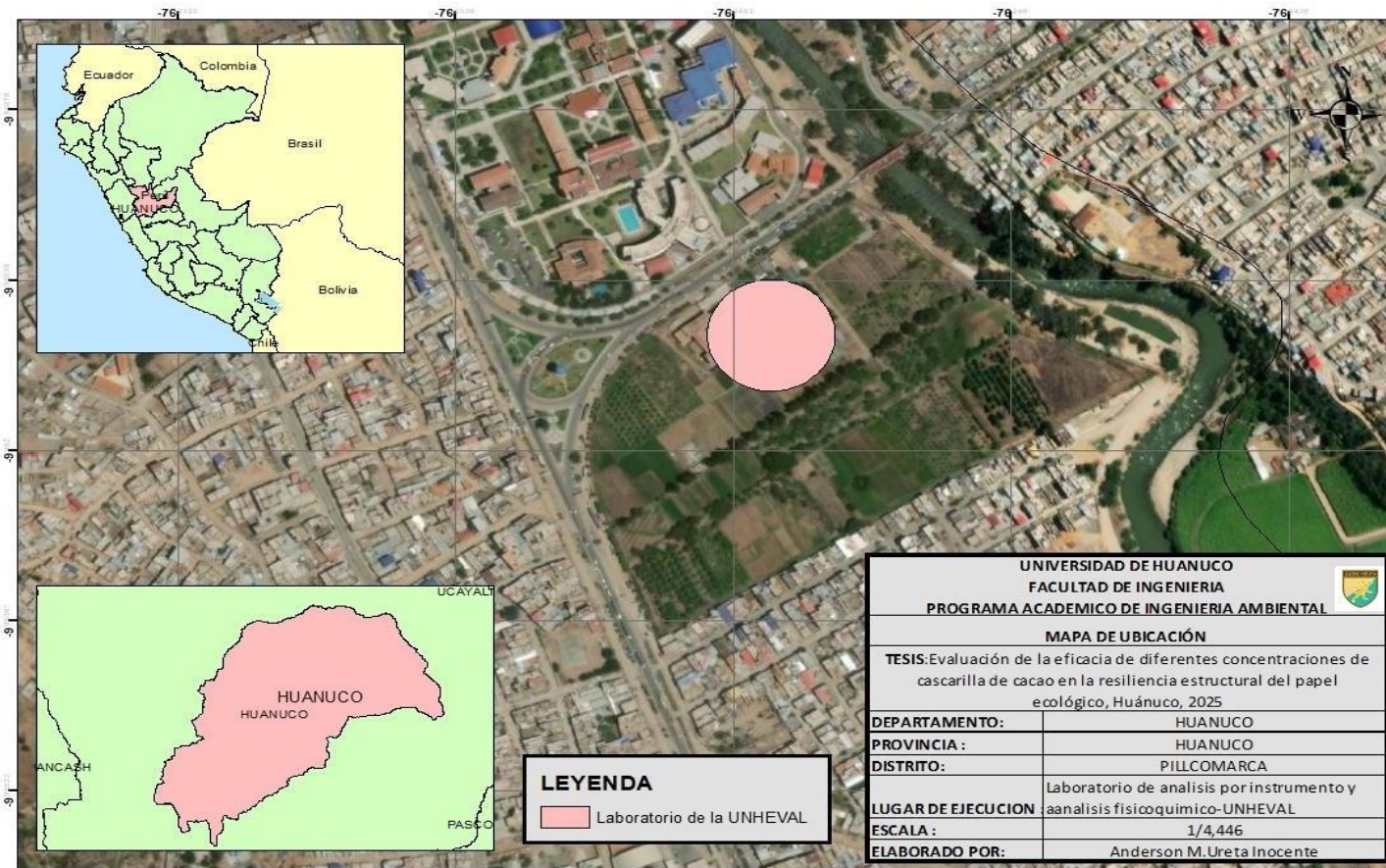
X3: Intervención con 80%

“Evaluación de la eficacia de diferentes concentraciones de cascarilla de cacao en la resiliencia estructural del papel ecológico, Huánuco, 2025”

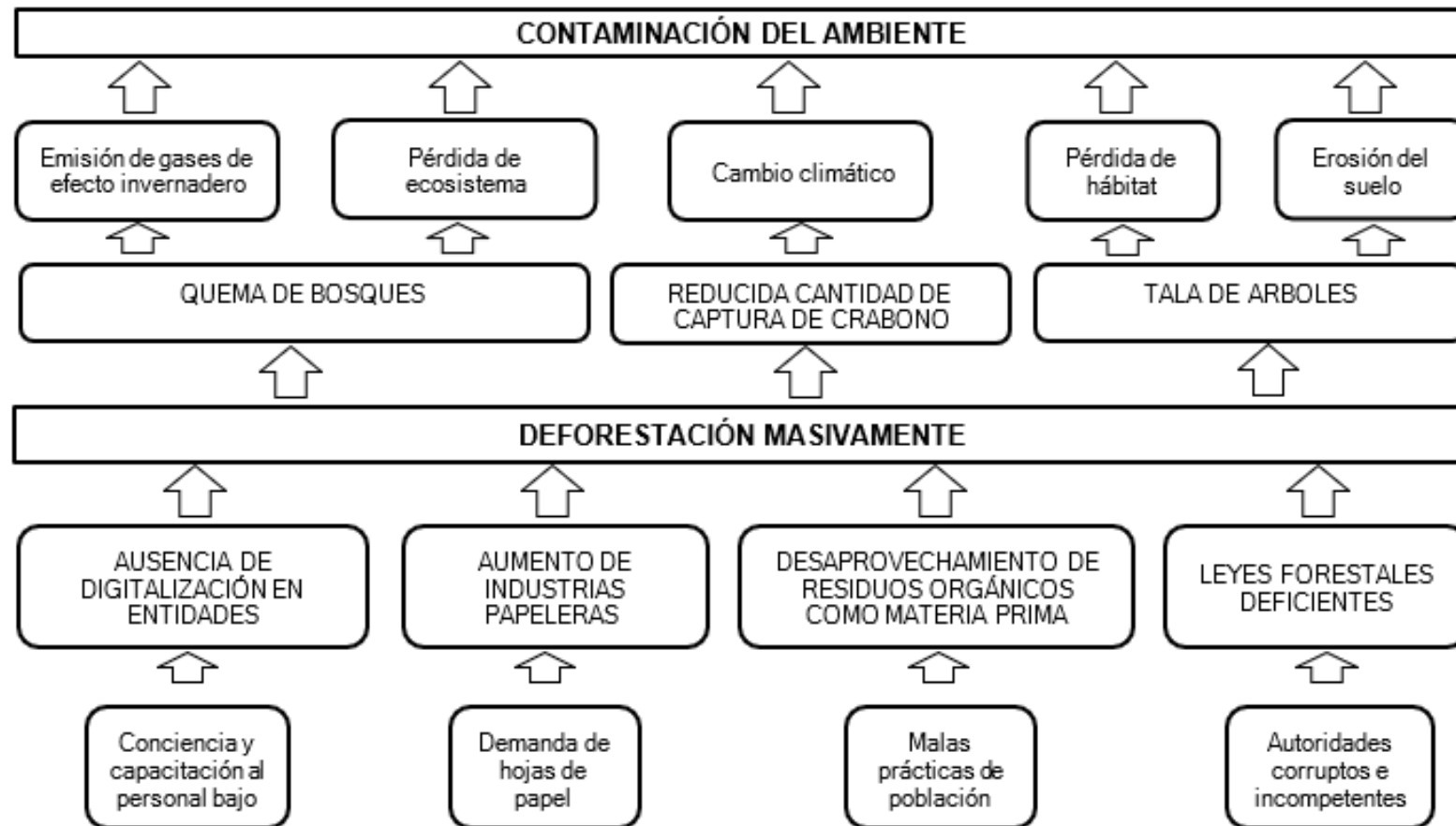
I

ANEXO 02

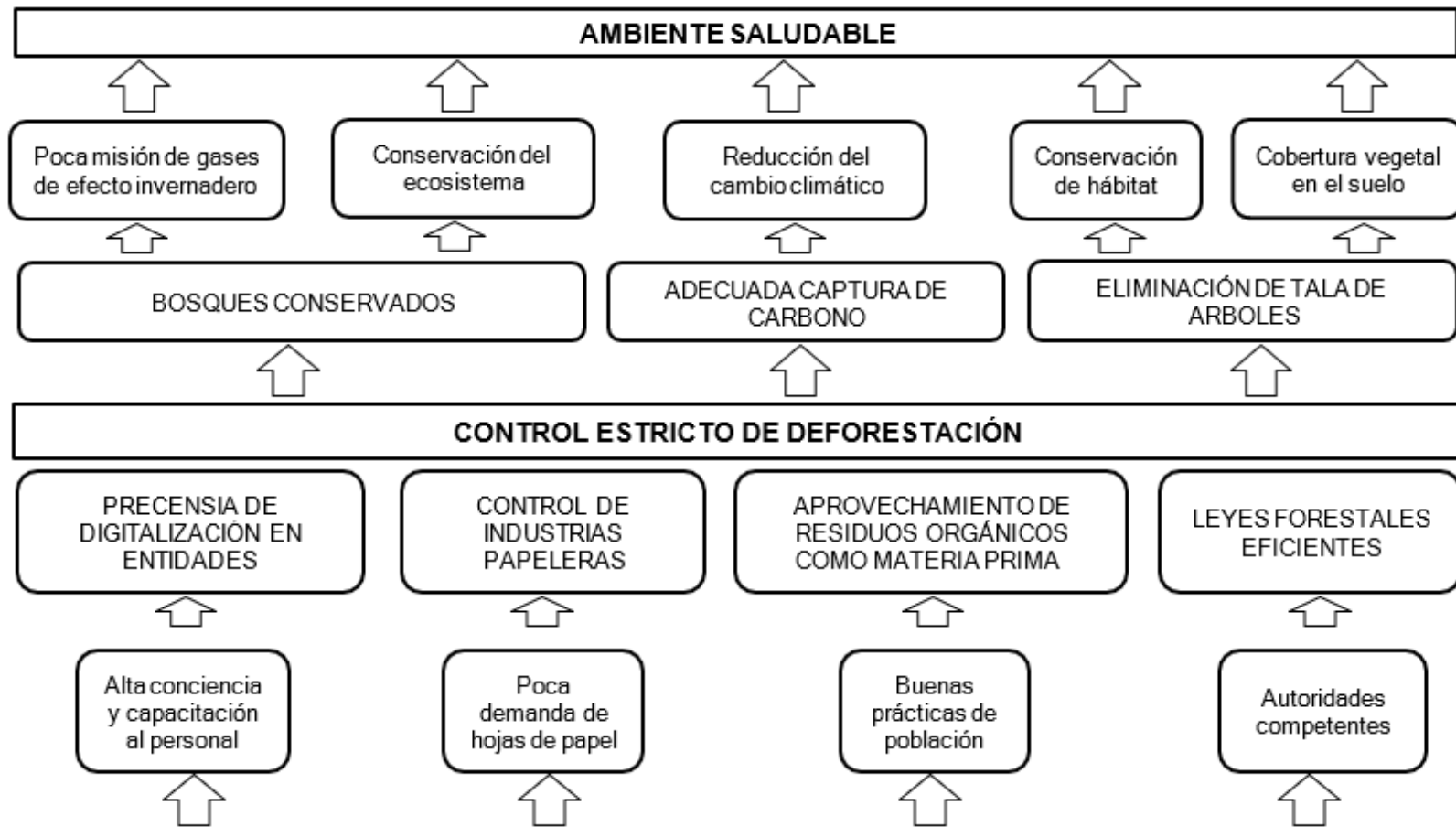
MAPA DE UBICACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS POR INSTRUMENTO Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICO - UNHEVAL



ANEXO 03
DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 04
DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 05

PROTOCOLO DE TRABAJO

ELABORACION DEL PAPEL ECOLOGICO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CASCARILLA DE CACAO

1. MATERIA PRIMA

- Se compro 10 kilos de cascarilla de cacao a un productor de



Tingo María.

2. DESINFECCION

- Se paso a desinfectar la cascarilla de cacao con alcohol de 70° para quitar el polvo y suciedad.
- Se dejó secar a temperatura ambiente.

3. MOLIENDA

- Se molió la cascarilla con una máquina de moler, para poder después llevar a tamizar, se sacó lo más fino para poder tamizarlo.



4. TAMIZAJE

- Se llevo a tamizar en 3 tipos de malla

Registro de tamizaje

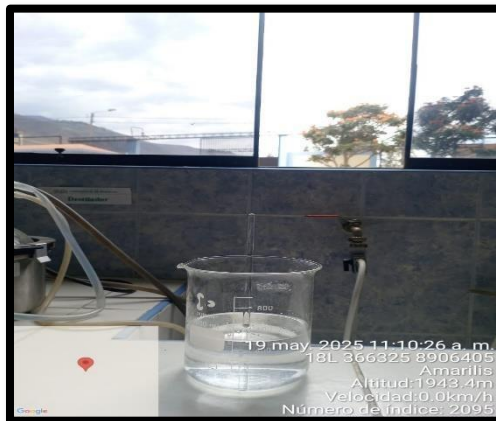
N°	Numero de malla	Abertura	Tiempo de exposición	Características	cantidad
1	60	250 μ m	38 min	Partícula fina	1 kilo 100 gr
2	40	425 μ m	31 min	Partícula moderadamente fina	1 kilos 70 gr
3	20	850 μ m	25 min	Partícula moderadamente fina	2 kilos



5. PREPARACION DEL HIDROXIDO DE SODIO Y CANTIDAD DE CASCARILLA DE CACAO

- Se llevo a preparar las siguientes sustancias.
- Se utilizo tres cantidades diferentes de cascarilla de cacao para elaborar el papel y pasar a la cocción.
- Preparación de la soda cáustica 30gr de NaOH en agua destilada de 2 litros.
- Se llevo a medir todo el peso en una balanza de laboratorio.

CANTIDAD NAOH Y CASCARILLA DE CACAO				
ENSAYO	PESO DE LA CASCARILLA	NAOH	AGUA DESTILADA	TIEMPO DE DISOLUCION
PRUEBA 1	200 gr	30 gr	2 litros	10 min
PRUEBA 2	200 gr	30 gr	2 litros	13 min
PRUEBA 3	350 gr	30 gr	2 litros	15 min



6. PREPARACION DE LAS MEZCLAS

6.1. Preparación de la prueba 1

- Se preparo 2 litros de NAOH regulando la medida en un vaso precipitado y se mezcló con 200 gr de cascarilla de cacao, moviendo con una varilla por 10 min.
- El tamiz de malla que se utilizó para la primera prueba fue de 20, que tiene una abertura de 850 μm .

6.2. Preparación de la prueba 2

- Se preparo 2 litros de NAOH regulando la medida en un vaso precipitado y se mezcló con 200 gr de cascarilla de cacao moviendo con una varilla por 13 min.
- El tamiz de malla que se utilizó para la segunda prueba fue de 40, que tiene una abertura de 425 μm .

6.3. Preparación de la prueba 3

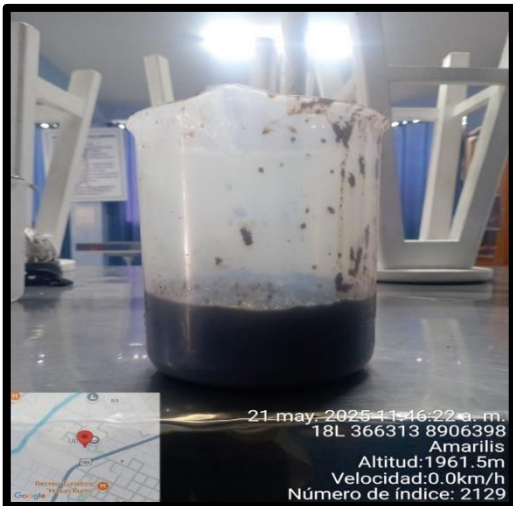
- Se preparo 2 litros de NAOH regulando la medida en un vaso precipitado y se mezcló con 350 gr de cascarilla de cacao moviendo con una varilla por 15 min.
- El tamiz de malla que se utilizó para la tercera prueba fue de 60, que tiene una abertura de 250 μm .



7. COCCION

- Las tres mezclas que se describen en el ítem 6, se llevo a un proceso de cocción de 110° Celsius por dos horas en un AUTOCLAVE (instrumento de laboratorio).
- Las cocciones se llevaron en diferentes días y tuvo un tiempo de duración de 2 a 3 horas.
- Al terminar la cocción se identificó los siguientes datos y se llevó a lavar la pulpa con 2 litros de agua destilada.

MEZCLA	LIGNINA	PULPA
PRUEBA 1	600 ml	480 gr
PRUEBA 2	630 ml	420 gr
PRUEBA 3	700 ml	522 gr



8. BLANQUIADO Y LAVADO

- Se realizo el blanqueado de la pulpa, en un balde desinfectado se vertió 2 litros de agua y 250 ml de lejía, lo mismo se realizó para las 2 pulpas restantes como se describe en el ítem 7.
- Se realizo el lavado de nuevo con 2 litros de agua y se llevó a secar a temperatura ambiente



9. PESAJE DE LA PULPA (CASCARILLA DE CACAO)

- Se llevo a pesar la pulpa y se apuntó los siguientes pesos después del lavado y secado:

PULPA	PESO
PULPA 1	460 gr
PULPA 2	410 gr
PULPA 3	510 gr



10. PULPEADO

10.1. MEZCLA DE LA CASCARILLA DE CACAO

- Se realizo la mezcla de la pulpa (cascarilla de cacao), con los siguientes componentes.
- La cascarilla de cacao se mezcló con agua hervida fría donde se vertió 150 a 200 ml, se llevó a la licuadora, al combinarse se paso a un vaso precipitado.

PULPA	VASO PRECIPITADO (PULPA LIQUIDA)
PULPA 1 460 gr + 150 ml de agua	620 ml
PULPA 2 410 gr + 150 ml de agua	800 ml
PULPA 3 510 gr + 200 ml de agua	1 litro



10.2. MEZCLA DE LA PULPA (HOJA RECICLADA)

- Se utilizo papel reciclado para acompañar a la pulpa (cascarilla de cacao).
- El papel reciclado un día antes se puso en agua, para que el papel pueda absorber el componente líquido y se más flexible, se llevó a licuar y se vertió en vaso precipitado.

PAPEL RECICLADO (VASO PRECIPITADO)	600 ml
	300 ml
	200 ml



11. MEZCLADO DE PULPA.

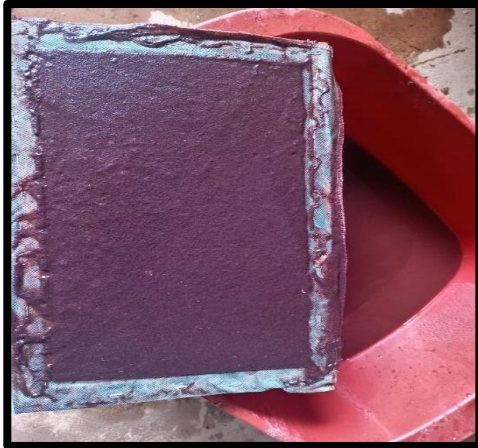
- Se combinó los siguientes componentes
- Antes de llevar los componentes se licua para que quede más fino las pulpas y se pueda combinar más fácil.
- En un balde de 50 x 43 cm desinfectado se puso entre 8 a 10 litros de agua y luego se vertió, pulpa de cascarilla de cacao + pulpa de papel reciclable y goma de mesa.

PULPA DE CASCARILLA DE CACAO	PULPA DE PAPEL RECICLABLE	GOMA DE MESA
PULPA 1 620 ml	600 ml	40 gr
PULPA 2 800 ml	300 ml	40 gr
PULPA 3 1 litro	200 ml	70 gr



12. FORMADO DE LA HOJA

- Con un marco de 35 de largo y 25 de ancho, cubierto por una malla fina se sumerge en el agua que se encuentra en el balde y se saca la pulpa, teniéndolo quieto por 1 minuto, hasta que escurra toda el agua.
- Se traslado en un lugar firme y plano cubierto por tela, donde se terminó de escurrir la pulpa con unas esponjas y se quitó el cuadro.



13. PRENSADO

- Se llevo a prensar la pulpa sobre un peso de 10 kilos y se dejó 2 días
- Luego se quita el peso del prensado.



14. SECADO

- Se llevo a secar a temperatura ambientes por 3 días hasta que seque.

15. ACABADO

- Se desprende suavemente de la tela adherida.
- El acabado del papel tiene dos colores por el porcentaje de papel reciclado que se usó.
- Es más flexible
- Por cada prueba que se realizó se puede sacar hasta más

de 5 hojas aproximado, pero solo se tomó 3 para realizar las pruebas en laboratorio.



16. RESULTADOS Y OBSERVACIONES DE LOS PAPELES OBTENIDOS

Pulpa de 100%

- Durante las pruebas iniciales de la elaboración del papel ecológico utilizando una formulación con 100% de cascarilla de cacao, se observaron deficiencias estructurales, evidenciadas por el cuarteamiento del material obtenido. Esto indicó que la ausencia de fibra de celulosa comprometía la cohesión y estabilidad del papel.
- La cuarteación del papel ecológico puede atribuirse a diversos factores del proceso, como el tiempo de cocción de la cascarilla de cacao, la concentración de hidróxido de sodio y la ausencia de un aglutinante adecuado. Los resultados evidenciaron que una formulación compuesta únicamente por cascarilla de cacao (100%) no proporciona la cohesión ni la resistencia necesarias para obtener un papel estructuralmente estable.



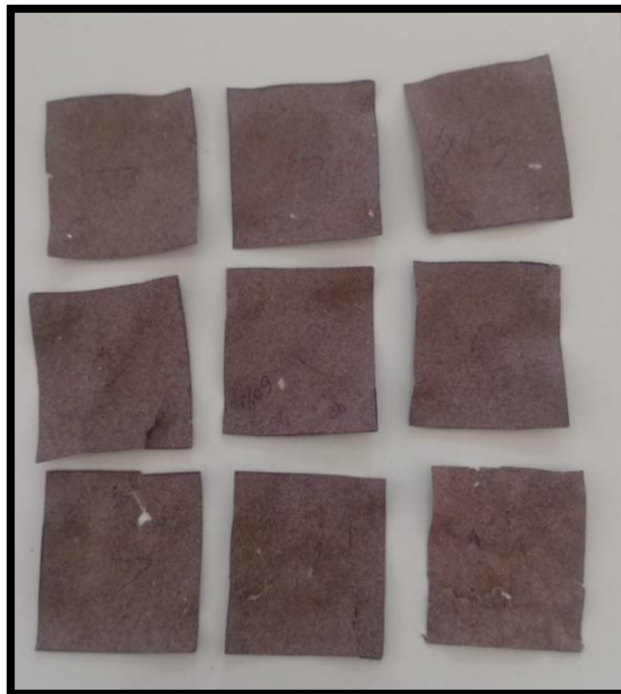
Pulpa de 80%

- En la formulación con una pulpa al 80% de cascarilla de cacao se observaron mejoras notables en comparación con la pulpa al 100%. El proceso de elaboración se mantuvo bajo los mismos parámetros operativos, pero se incorporó un 20% de componentes complementarios, principalmente fibra proveniente de papel reciclado y un aglutinante.
- La inclusión de estos materiales facilitó la cohesión interna de la mezcla y permitió que la cascarilla adquiriera una estructura laminar estable, logrando conformarse adecuadamente en forma de papel, como se evidencia en la imagen. El papel reciclado aportó refuerzo fibroso, mientras que el aglutinante mejoró la adhesión entre partículas, redujo la formación de fracturas y estabilizó el espesor.
- Este resultado confirma que la cascarilla de cacao, aunque viable como materia prima principal, requiere de componentes auxiliares para garantizar la integridad mecánica, la flexibilidad y la continuidad superficial necesarias en la elaboración de papel ecológico.



Pulpa de 70%

- En la formulación del papel ecológico con una pulpa al 70% de cascarilla de cacao no se observaron diferencias estructurales marcadas respecto a la pulpa al 80%; sin embargo, la incorporación de un 30% de componentes complementarios principalmente fibras de papel reciclado y un aglutinante generó un material con mejor desempeño global.
- El incremento de fibras de refuerzo mejoró la distribución y la interconexión de la matriz fibrosa, optimizando la resistencia mecánica, la estabilidad dimensional y la cohesión superficial del papel. Asimismo, el mayor porcentaje de aglutinante favoreció una unión más eficiente entre las partículas de cascarilla, reduciendo la aparición de microfracturas y aumentando la uniformidad del espesor.

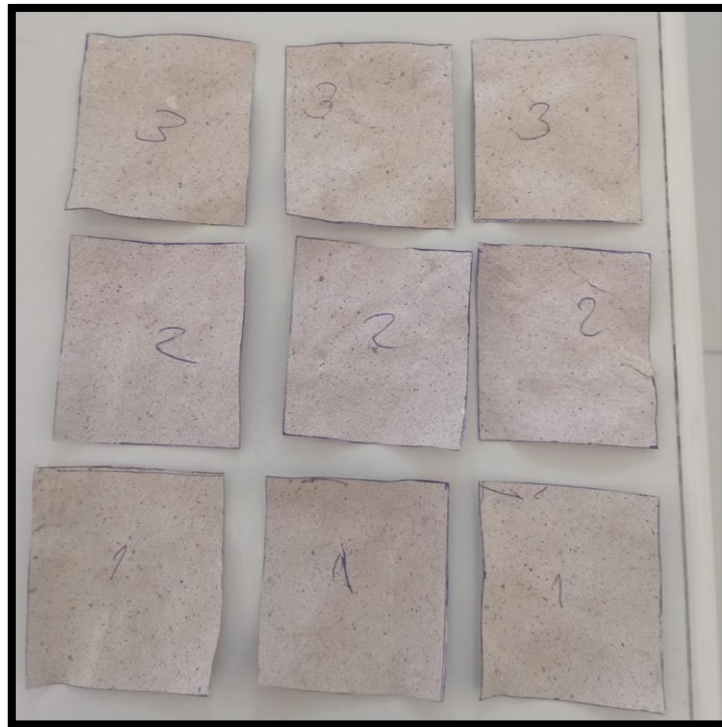


Pulpa de 50%

- En la formulación del papel ecológico con una pulpa al 50% de cascarilla de cacao se obtuvo el material más consistente y estable de todas las concentraciones evaluadas. La combinación con un 50% de componentes complementarios, fibras de papel reciclado, aglutinantes y aditivos estabilizantes generó una matriz fibrosa significativamente más densa y cohesiva.
- Este equilibrio entre cascarilla y fibras de refuerzo permitió alcanzar propiedades que se aproximan más a las de un papel tipo Kraft, destacando en resistencia al rasgado, estabilidad dimensional, uniformidad superficial y menor absorción de agua. En comparación con las formulaciones al 70% y 80%, el papel obtenido al 50% mostró

una estructura más compacta, mayor integridad mecánica y una calidad final superior.

- Estos resultados confirman que la reducción de cascarilla y el incremento proporcional de componentes complementarios optimizan la arquitectura interna del papel ecológico, proporcionando un producto final más robusto y funcional.



ANEXO 06

ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LA INDUSTRIA PAPELERA

Estándares de calidad

Indicador	Normativa Aplicable	Normativa	Unidad de medida
Resistencia al rasgado	TAPPI T414	Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel (EE. UU)	N* m ² / Kg
Gramaje	TAPPI T 410	Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel (EE. UU)	g/m ²
Espesor	TAPPI T 411	Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel	µm (micrómetros)
Absorción de agua	TAPPI 441	Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel (EE. UU)	S (segundo)
Biodegradabilidad	ISO 14855	Organización Internacional de Normalización	%

Análisis de la variable evaluativa

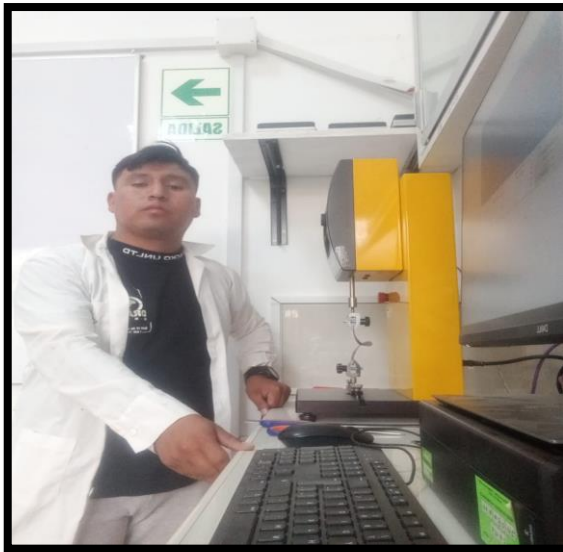
Propiedades mecánicas

Resistencia al rasgado: Este parámetro es crucial en la industria del embalaje, impresión y producción de papel. Para su medición, se emplean normativas internacionales reconocidas, como la **TAPPI T414**, es una norma de ensayo internacional que mide la fuerza necesaria para desgarrar varias hojas de papel a través de una distancia especificada utilizando un desgarrador tipo Elmendorf y se usó como referencia para realizar resistencia al rasgado.

PROCEDIMIENTO:

- Las muestras se acondicionaron a 43° de humedad relativa, luego el papel se cortó en dimensiones estándar de 73 mm x 86 mm previamente a ello se realizó un corte previo de 10 mm para iniciar el rasgado, dentro de los cuales tuvimos 9 muestras.
- La muestra se colocó en las mordazas del texturometro, asegurando la alineación precisa. Se calibro el equipo antes de la medición.

- Antes de que las dos pinzas o mordazas empezaron a realizar el rasgado se colocó bien el papel y de esa manera las pinzas se deslizaron hasta romper el papel. El equipo midió la energía absorbida durante el rasgado, expresada en Newton – trabajo (N.mJ).
- Se repitió la prueba varias veces para obtener todos los datos estadísticamente representativos en el textuómetro, y de esa manera salió los resultados.



Propiedades físicas

Gramaje: Para verificar la precisión y reproducibilidad del procedimiento, se usó como referente la normativa TAPPI T 410, para garantizar la coherencia en la fabricación del papel y cartón, nos ayuda a medir los niveles de materia prima que se necesitan incluir a lo largo del proceso de fabricación.

PROCEDIMIENTO

- Las muestras se acondicionaron a 43°de humedad relativa, los papeles se cortaron en dimensiones estandarizadas en un área 36 cm² (6 cm × 6 cm) Se verifico la uniformidad y ausencia de defectos en las muestras antes de la medición.
- Cada muestra se colocó en la balanza analítica previamente calibrada. Se registró el peso de la muestra en gramos (g) con una precisión de cuatro decimales. Se repitió las mediciones en 27 muestras de diferente tipo para asegurar la confiabilidad de los datos.

- Para que salga el resultado del peso del papel se dividió, el peso sobre el área convertidos en metros cuadrados.
- El gramaje del papel se calculó mediante la siguiente fórmula:
$$\text{Gramaje} = G/M^2$$



Espesor: La medición del espesor del papel se llevó a cabo con el objetivo de evaluar su uniformidad y resistencia, factores clave en la industria papelera en Perú. Para ello se usó como referente las normativas TAPPI T 411, para realizarlo en laboratorio.

PROCEDIMIENTO:

- Las muestras se acondicionaron a 43° de humedad relativa, Se seleccionó 27 muestras de papel representativas del lote a evaluar. Se verifico que las muestras estén libres de dobleces, arrugas o defectos que puedan alterar la medición.
- Se calibro el micrómetro de precisión antes de iniciar la sesión de medición. La muestra se colocó entre las superficies de medición del micrómetro, aplicando una presión constante. Se registró el espesor en micrómetros (μm), Se realizó la medición en cinco puntos diferentes de la muestra y se calculó el valor promedio.
- Se calculó la media aritmética de los valores obtenidos para determinar el espesor promedio del papel. Se analizó la uniformidad del espesor

comparando la variabilidad de las mediciones en distintos puntos de la muestra.



Absorción de agua: La capacidad de absorción de agua del papel, es un parámetro esencial para determinar su comportamiento de diversas aplicaciones, como impresión, embalaje y otros usos industriales. La metodología se desarrolló usando como referente la norma TAPPI 441.

PROCEDIMIENTO:

- Seleccionamos 27 muestras de papel, con dimensiones de 6 cm x 6 cm. Las muestras se acondicionaron en un ambiente con 43° de humedad relativa durante al menos 24 horas antes del ensayo.
- Se uso un gotero y cronometro para realizar la medición del parámetro, donde se introdujo el gotero en un vaso con agua destilada, para luego dejar caer una gota y medir la absorción del agua con un cronometro, se desarrolló el proceso en 5 partes de la hoja en 27 muestras, se tomó apunte los datos de tiempo de asimilación del líquido para sacar el resultado.



Propiedades ecológicas

Biodegradabilidad: Para evaluar la biodegradabilidad del papel artesanal, es fundamental emplear metodologías científicas que midan la velocidad y el grado de separación del material en distintos entornos. Estos análisis permiten conocer su impacto ambiental y su viabilidad como una alternativa ecológica a los papeles convencionales. Se trabajó con un cuadro de ficha de campo propuesto y diseñado específicamente por el tesista para medir la biodegradabilidad del papel ecológico utilizando como referente la Normativa ISO 14855.

Procedimiento:

- Las 27 muestras de papel ecológico seleccionadas se llevaron a pesar en una balanza analítica donde se tomó apunte del peso inicial del papel.
- Luego en tres baldes diferentes se pusieron compost y material en descomposición, donde los papeles separados por el porcentaje de pulpa, se pusieron en baldes diferentes.
- Mediante un afiche de apuntes se procedió a realizar la observación por 6 semanas, donde se tomó apuntes sobre el proceso de descomposición del papel.
- Llegado a la sexta semana se desenterró los papeles, donde se llegó a observar que algunos papeles habían sufrido una degradación casi total mientras que otras presentaban áreas reducidas al mínimo de material intacto.
- Los papeles que quedaron y no se degradaron por total se llevaron de nuevo a laboratorio, donde se midió con una balanza analítica el peso final, se tomó apunte para sacar los resultados.



ANEXO 07

RESULTADO DE LABORATORIO

solicitud para uso de laboratorio de análisis por instrumento y análisis físico químico

UNIVERSIDAD NACIONAL "HERMILIO VALDIZÁN"
HUÁNUCO - PERÚ

1. SOLICITO: *Uso del laboratorio de análisis por instrumentación y análisis físico químico*

FORMULARIO ÚNICO DE TRÁMITE VIRTUAL

2. AUTORIDAD A QUIEN SE DIRIGE
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

3. DATOS DEL USUARIO (NOMBRES Y APELLIDOS)
Anderson Michael Urte Inocente

4. DOCENTE, ADMINISTRATIVO, ALUMNO, EX ALUMNO, OTROS (ESPECIFICAR)
Alumno

DNI
70615511

6. TELEF/CELULAR
917967507

DOMICILIO DEL USUARIO (JR, AV, CALLE, PSJE, URB, DIST)
Jr. Los Tumbos Mé'6' Ct 02'

CORREO ELECTRÓNICO (EMAIL)
anderson22.inocente@gmail.com

FUNDAMENTO DEL PEDIDO
Me dirijo a Ud. para saludarle cordialmente y con el debido respeto solicitarle apoyo para poder usar el laboratorio de análisis por instrumentación y análisis físico químico, para poder desarrollar mi proyecto de tesis muchas gracias

10. DOCUMENTOS QUE SE ADJUNTAN
** Resolución N° 0546-2025-D-FI-UOH
* Proyecto de investigación*

11. LUGAR Y FECHA
Lunes, 14 de abril 2025

12. FIRMA DEL USUARIO
[Firma manuscrita]

RECIBIDO
14 ABR 2025 4:20 PM
SECRETARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Solicitud aprobada para usar los laboratorios de análisis por instrumento y análisis físico químico



Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"
UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILO VALDIZÁN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



PROVEÍDO N° 0011 - 2025-UNHEVAL/FCA/DEPIAIND/O

AL: DR. JUAN VILLANUEVA TIBURCIO
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE ANÁLISIS POR INSTRUMENTACIÓN
 MSC. LICETH ROCÍO HAMAN LEANDRO
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICO

ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

REF.: Solicitud (07.05.2025)

FOLIOS: 005 (02)

FECHA: Cayhuayna, 08 de mayo de 2025

- | | |
|--|-------------------|
| <input type="checkbox"/> Su conocimiento | Su atención |
| <input type="checkbox"/> Su autorización | Su control previo |
| <input type="checkbox"/> Tramitar | Revisar |
| <input type="checkbox"/> Comunicar | Informe |
| <input type="checkbox"/> Fines pertinentes | Archivar |

Para que brinde las facilidades, de ser posible, al alumno **ANDERSON MICHEL URETA INOCENTE** de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco, en el uso de laboratorio para desarrollo de tesis.

Mantamente,



[Signature]
 Roger Estacio Laguna
 DIRECTOR

Av. Esteban Pavlovich N°172, Pílico Marca - Huánuco
 Teléfono 062 - 591073

para poder desarrollar mi proyecto de tesis muchos gracias

10. DOCUMENTOS QUE SE ADJUNTAN

Resolución N° 0546-2025-D-FI-U
Proyecto de investigación

11. LUGAR Y FECHA

Lima, 14 de abril 2025

12. FIRMA DEL USUARIO

[Signature]

HERMILO VALDIZÁN

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILO VALDIZÁN
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

*Laboratorio de
 instrumentación y análisis*

VIRTUAL

5

[Signature]

INDUSTRIAL

[Signature]

*ante y con el
 el laboratorio*

[Signature]

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro resistencia al rasgado de pulpa al 50%, 70% y 80% en el laboratorio de la UNHEVAL.

TexturePro CT V1.6 Build

Brookfield Engineering Labs. Inc.

INFORME ESTADISTICO

#	Descripción	Resultado	Pico Carga	Trabajo	
	Nombre Producto	Nombre de lote	Muestra		
			N	mJ	
1	URETA INOCENTE	PRUEBA 1 50% DE PULP	1	0.61	18.3
2	URETA INOCENTE	PRUEBA 1 50% DE PULP	2	0.49	25.3
3	URETA INOCENTE	PRUEBA 1 50% DE PULP	3	0.55	32.2
4	URETA INOCENTE	PRUEBA 2 70% DE PULP	1	0.37	11.9
5	URETA INOCENTE	PRUEBA 2 70% DE PULP	2	0.45	20.5
6	URETA INOCENTE	PRUEBA 2 70% DE PULP	3	0.37	10.9
7	URETA INOCENTE	PRUEBA 3 80% DE PULP	1	0.31	12.6
8	URETA INOCENTE	PRUEBA 3 80% DE PULP	2	0.31	11.6
9	URETA INOCENTE	PRUEBA 3 80% DE PULP	3	0.25	10.3
10	URETA INOCENTE	PRUEBA PAPEL KRAF	1	0.53	19.0
		Mínimo		0.25	10.3
		Máximo		0.61	32.2
		Promedio		0.42	17.3
		Desviación Estandar		0.12	7.3

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro espesor de pulpa al 50 % en el laboratorio de la UNHEVAL.

ESPESOR											
PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 50%	PAPEL 1			1 MEDIDA (µm)	2 MEDIDA (µm)	3 MEDIDA (µm)	4 MEDIDA (µm)	5 MEDIDA (µm) PUNTO MEDIO	SUMA TOTAL (µm)	DIVISION ENTRE 5	ESPESOR (µm)
		PRUEBA 1	PRUEBA 1	0.385	0.401	0.31	0.319	0.347	1.762	5	0.3524
			PRUEBA 2	0.379	0.381	0.335	0.227	0.388	1.71	5	0.342
			PRUEBA 3	0.18	0.183	0.254	0.259	0.219	1.095	5	0.219
		PRUEBA 2	PRUEBA 1	0.365	0.411	0.375	0.416	0.452	2.019	5	0.4038
			PRUEBA 2	0.378	0.43	0.375	0.313	0.397	1.893	5	0.3786
			PRUEBA 3	0.417	0.383	0.363	0.435	0.34	1.938	5	0.3876
		PRUEBA 3	PRUEBA 1	0.304	0.405	0.385	0.333	0.456	1.883	5	0.3766
			PRUEBA 2	0.425	0.349	0.306	0.296	0.293	1.669	5	0.3338
			PRUEBA 3	0.443	0.325	0.401	0.317	0.47	1.956	5	0.3912

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro espesor de pulpa al 70 % en el laboratorio de la UNHEVAL.

ESPESOR											
PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 70%	PAPEL 1	PRUEBA 1	1 MEDIDA (µm)	2 MEDIDA (µm)	3 MEDIDA (µm)	4 MEDIDA (µm)	5 MEDIDA (µm) PUNTO MEDIO	SUMA TOTAL (µm)	DIVISION ENTRE 5	ESPESOR (µm)	
			0.474	0.473	0.627	0.414	0.428	2.416	5	0.4832	
		PRUEBA 2	PRUEBA 2	0.451	0.337	0.344	0.351	0.673	2.156	5	0.4312
			PRUEBA 3	0.415	0.373	0.547	0.425	0.381	2.141	5	0.4282
			PRUEBA 1	0.528	0.493	0.476	0.475	0.508	2.48	5	0.496
		PRUEBA 3	PRUEBA 2	0.408	0.495	0.46	0.45	0.429	2.242	5	0.4484
			PRUEBA 3	0.595	0.518	0.507	0.775	0.718	3.113	5	0.6226
			PRUEBA 1	0.556	0.598	0.556	0.54	0.554	2.804	5	0.5608
		PRUEBA 2	0.46	0.47	0.413	0.45	0.484	2.277	5	0.4554	
		PRUEBA 3	0.512	0.512	0.524	0.548	0.579	2.675	5	0.535	

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro espesor de pulpa al 80 % en el laboratorio de la UNHEVAL.

ESPESOR												
PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 80%	PAPEL 1			1	2	3	4	5	SUMA TOTAL (µm)	DIVISION ENTRE 5	ESPESOR (µm)	
				MEDIDA (µm)	MEDIDA (µm)	MEDIDA (µm)	MEDIDA (µm)	MEDIDA (µm) PUNTO MEDIO				
			PRUEBA 1	PRUEBA 1	0.503	0.58	0.586	0.521	0.574	2.764	5	0.5528
			PRUEBA 1	PRUEBA 2	0.59	0.615	0.616	0.589	0.518	2.928	5	0.5856
		PRUEBA 3		0.593	0.515	0.603	0.5	0.729	2.94	5	0.588	
			PRUEBA 2	PRUEBA 1	0.398	0.471	0.506	0.458	0.443	2.276	5	0.4552
		PRUEBA 2		0.515	0.466	0.463	0.443	0.53	2.417	5	0.4834	
		PRUEBA 3		0.411	0.416	0.347	0.521	0.371	2.066	5	0.4132	
			PRUEBA 3	PRUEBA 1	0.29	0.324	0.314	0.676	0.475	2.079	5	0.4158
		PRUEBA 2		0.456	0.502	0.484	0.438	0.427	2.307	5	0.4614	
		PRUEBA 3		0.41	0.462	0.439	0.466	0.48	2.257	5	0.4514	

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro gramaje de pulpa al 50 % en el laboratorio de la UNHEVAL

GRAMAJE						
PAPEL 1 50%			PESO (g)	CONVERSION A METROS CUADRADOS	PESO DEL PAPEL g/m2	PESO TOTAL DEL PAPEL P1+P2+P3/3
	PRUEBA 1	PRUEBA 1	0.5308	0.0036	147.4444444	146.2906
		PRUEBA 2	0.5075	0.0036	140.9722222	
		PRUEBA 3	0.542	0.0036	150.5555556	
	PRUEBA 2	PRUEBA 1	0.4239	0.0036	117.75	119.2
		PRUEBA 2	0.436	0.0036	121.1111111	
		PRUEBA 3	0.4275	0.0036	118.75	
	PRUEBA 3	PRUEBA 1	0.3279	0.0036	91.08333333	116.907
		PRUEBA 2	0.4505	0.0036	125.1388889	
		PRUEBA 3	0.4844	0.0036	134.5555556	

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro gramaje de pulpa al 70 % en el laboratorio de la UNHEVAL

GRAMAJE						
PAPEL 2 70%	PRUEBA 1		PESO (g)	CONVERSION A METROS CUADRADOS	PESO DEL PAPEL g/m2	PESO TOTAL DEL PAPEL P1+P2+P3/3
		PRUEBA 1	0.4888	0.0036	135.7777778	
		PRUEBA 2	0.4919	0.0036	136.6388889	
	PRUEBA 3	0.5408	0.0036	150.2222222	140.846	
	PRUEBA 2	PRUEBA 1	0.6282	0.0036	174.5	170.5923
		PRUEBA 2	0.6061	0.0036	168.3611111	
		PRUEBA 3	0.6081	0.0036	168.9166667	
	PRUEBA 3	PRUEBA 1	1.2287	0.0036	341.3055556	341.842
		PRUEBA 2	1.1467	0.0036	318.5277778	
		PRUEBA 3	1.1005	0.0036	305.6944444	

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro gramaje de pulpa al 80 % en el laboratorio de la UNHEVAL

GRAMAJE						
PAPEL 3 80%			PESO (g)	CONVERSION A METROS CUADRADOS	PESO DEL PAPEL g/m2	PESO TOTAL DEL PAPEL P1+P2+P3/3
			PRUEBA 1	PRUEBA 1	0.3897	0.0036
PRUEBA 2	0.4814	0.0036		133.7222222		
PRUEBA 3	0.4735	0.0036		131.5277778		
PRUEBA 2	PRUEBA 1	0.462	0.0036	128.3333333	130.7476	
	PRUEBA 2	0.5423	0.0036	150.6388889		
	PRUEBA 3	0.4079	0.0036	113.3055556		
PRUEBA 3	PRUEBA 1	0.632	0.0036	175.5555556	190.756	
	PRUEBA 2	0.6914	0.0036	192.0555556		
	PRUEBA 3	0.737	0.0036	204.7222222		

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro absorción de pulpa al 50 % en el laboratorio de la UNHEVAL

ABSORCION											
PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 50%	PAPEL 1			1 GOTA	2 GOTA	3 GOTA	4 GOTA	5 GOTA	SUMA TOTAL	DIVISION ENTRE 5	ABSORCION %
		PRUEBA 1	PRUEBA 1	00:19.9	00:16.0	00:16.0	00:10.6	00:08.6	01:11.1	5	00:14.2
			PRUEBA 2	00:14.1	00:09.1	00:18.0	00:09.9	00:11.8	01:02.9	5	00:12.6
			PRUEBA 3	00:25.6	00:10.6	00:09.5	00:21.1	00:11.2	01:18.1	5	00:15.6
		PRUEBA 2	PRUEBA 1	00:06.2	00:05.8	00:07.6	00:05.5	00:05.6	00:30.7	5	00:06.1
			PRUEBA 2	00:05.9	00:05.2	00:05.2	00:04.1	00:05.0	00:25.5	5	00:05.1
			PRUEBA 3	00:05.2	00:04.5	00:03.9	00:05.0	00:04.4	00:22.9	5	00:04.6
		PRUEBA 3	PRUEBA 1	00:06.0	00:04.7	00:03.8	00:04.5	00:05.0	00:24.0	5	00:04.8
			PRUEBA 2	00:04.0	00:05.9	00:06.2	00:06.9	00:05.2	00:28.2	5	00:05.6
			PRUEBA 3	00:10.0	00:09.1	00:11.7	00:14.7	00:13.4	00:59.0	5	00:11.8

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro absorción de pulpa al 70 % en el laboratorio de la UNHEVAL

ABSORCION											
PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 70%	PAPEL 1			1 GOTA	2 GOTA	3 GOTA	4 GOTA	5 GOTA	SUMA TOTAL	DIVISION ENTRE 5	ABSORCION %
		PRUEBA 1	PRUEBA 1	00:03.5	00:03.7	00:04.7	00:02.9	00:02.7	00:17.3	5	00:03.5
			PRUEBA 2	00:05.5	00:04.7	00:05.4	00:04.1	00:04.0	00:23.6	5	00:04.7
			PRUEBA 3	00:04.4	00:03.8	00:03.8	00:03.1	00:04.0	00:19.1	5	00:03.8
		PRUEBA 2	PRUEBA 1	00:03.4	00:03.2	00:05.3	00:05.0	00:03.3	00:20.2	5	00:04.0
			PRUEBA 2	00:05.7	00:05.7	00:04.5	00:03.0	00:04.7	00:23.6	5	00:04.7
			PRUEBA 3	00:04.4	00:04.0	00:03.9	00:03.8	00:02.3	00:18.5	5	00:03.7
		PRUEBA 3	PRUEBA 1	00:03.2	00:03.6	00:04.1	00:04.6	00:04.1	00:19.6	5	00:03.9
			PRUEBA 2	00:03.5	00:04.6	00:03.9	00:04.0	00:03.9	00:19.8	5	00:04.0
			PRUEBA 3	00:04.6	00:04.8	00:03.7	00:04.4	00:03.3	00:20.8	5	00:04.2

Formato de registro de resultados experimentales del parámetro absorción de pulpa al 80 % en el laboratorio de la UNHEVAL

ABSORCION											
PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 80%	PAPEL 1			1 GOTA	2 GOTA	3 GOTA	4 GOTA	5 GOTA	SUMA TOTAL	DIVISION ENTRE 5	ABSORCION %
		PRUEBA 1	PRUEBA 1	00:07.8	00:05.0	00:05.4	00:06.0	00:04.6	00:28.8	5	00:05.8
			PRUEBA 2	00:05.9	00:05.7	00:05.9	00:03.8	00:06.4	00:27.7	5	00:05.5
			PRUEBA 3	00:08.6	00:06.3	00:06.7	00:03.7	00:05.6	00:30.9	5	00:06.2
		PRUEBA 2	PRUEBA 1	00:07.3	00:06.9	00:05.9	00:06.8	00:06.3	00:33.2	5	00:06.6
			PRUEBA 2	00:04.9	00:05.5	00:05.6	00:06.1	00:04.1	00:26.2	5	00:05.2
			PRUEBA 3	00:07.3	00:05.8	00:05.8	00:04.4	00:06.0	00:29.3	5	00:05.9
		PRUEBA 3	PRUEBA 1	00:04.7	00:04.9	00:05.0	00:04.6	00:04.1	00:23.2	5	00:04.6
			PRUEBA 2	00:04.9	00:04.0	00:05.1	00:04.6	00:03.7	00:22.4	5	00:04.5
			PRUEBA 3	00:04.5	00:04.8	00:05.4	00:04.6	00:04.4	00:23.7	5	00:04.7

Resultado en laboratorio de la UNHEVAL sobre el parámetro biodegradabilidad pulpa al 50%

BIODEGRADABILIDAD												
			PES O INICI AL	ARE A	DIAS (REVISION)					PESO FINAL	% DE BIODEG RADABI LIDAD	
					23/06/2025	30/06/2025	7/07/2025	14/07/2025	21/07/2025			28/07/2025
PRU EBA 1	1	PRU EBA	0.530 8 g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMEN TE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACI ÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTAB A CRECIMIENT O DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACI ÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESA DO CONSIDERA BLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARO N MEDICIONE S DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACI ÓN	0.091	82.85%
		EBA	0.507 5g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARO	0.0634	87.50%

PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 50%	PAPEL EL 1	2			CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	N MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN		
		PRUEBA 3	0.54236	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0	100%

					EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0427	86.83%
	PRUEBA 2	PRUEBA 1	0.4239g	36cm ²								
					EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0875	79.93%
		PRUEBA 2	0.4360g	36cm ²								

				MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL		MATERIAL INTACTO			
		PRU0.42736 EBA5g cm 2 3		EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.01	97.66%
		PRU0.32736 EBA9g cm 2 1		EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST,	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL	0.0393	88.01%

					CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	PROCESO DE DEGRADACIÓN		
	PRUEBA 3	PRUEBA 2	0.4505g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.028	93.78%
		PRUEBA 4	0.484g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON	0.0253	94.77%

			3		<p>CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.</p>	<p>QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN</p>	<p>DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL</p>	<p>PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE</p>	<p>HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO</p>	<p>N MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN</p>		
--	--	--	---	--	--	--	--	--	---	--	--	--

Resultado en laboratorio de la UNHEVAL sobre el parámetro biodegradabilidad pulpa al 70%

BIODEGRADABILIDAD												
			PESO INICIAL	AREA	DIAS (REVISION)						PESO FINAL	% DE BIODEGRADABILIDAD
					23/06/2025	30/06/2025	7/07/2025	14/07/2025	21/07/2025	28/07/2025		
PRUEBA 1	PRUEBA 1	0.4888 g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.017	96.52%	
	PRUEBA 2	0.4919 g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES	0	100%	

PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 70%	PAPEL EL 1			MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO			
		PRUEBA 3	0.5408g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	0	100%
		PRUEBA 3	0.628g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0103

					ORIGINAL						
	PRU EBA 3	0.608 1g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0169	97.22%
PRU EBA 3	PRU EBA 1	1.228 7g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE	0.0171	98.60%

			TE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y	MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	CONSIDERA BLEMENTE	RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DEGRADACIÓN		
PRU EBA 2	1.146 7g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0104	99.09%
PRU EBA 3	1.100 5g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL,	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL	0.0254	97.64%

				DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN		
--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

Resultado en laboratorio de la UNHEVAL sobre el parámetro biodegradabilidad pulpa al 80%

BIODEGRADABILIDAD												
			PESO INICIAL	AREA	DIAS (REVISION)						PESO FINAL	% DE BIODEGRADABILIDAD
					23/06/2025	30/06/2025	7/07/2025	14/07/2025	21/07/2025	28/07/2025		
	PRUEBA 1		0.3897 g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0147	96.22%
	PRUEBA 2		0.4814 g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON	0	100%

PULPA DE CASCARILLA DE CACAO 80%	PAP EL 1				CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	N DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO		
		PRUEBA 3	0.4735g	36 cm ²	EL DÍA UNO SE INTRODUCIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	0	100%

				EL DÍA UNO SE INTRODUIJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.007	98.48%
PRUEBA 1	0.4620g	36cm ²		EL DÍA UNO SE INTRODUIJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.007	98.48%
PRUEBA 2	0.5423g	36cm ²		EL DÍA UNO SE INTRODUIJO EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0.0096	98.22%

			MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	SUPERFICIE ORIGINAL	BLEMENTE	MATERIAL INTACTO			
PRUEBA 3	0.4079g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO O CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0	100%
PRUEBA 1	0.6320g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST,	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA,	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO	0.0159	97.48%

PRUEBA 3			CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	PROGRESAD O CONSIDERABLEMENTE	PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DE DEGRADACIÓN			
	PRUEBA 2	0.6914g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL, EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESAD O CONSIDERABLEMENTE	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN	0	100%
	PRUEBA 3	0.7370g	36 cm 2	EL DÍA UNO SE INTRODUIÓ EL PAPEL DE CASCARILLA DE CACAO EN UN BALDE QUE CONTENÍA	EN LA REVISIÓN DE LA SEMANA SIGUIENTE, SE ENCONTRÓ QUE LA	DURANTE LA TERCERA SEMANA, SE EVIDENCIÓ LA DEGRADACIÓN DEL PAPEL,	DURANTE LA CUARTA SEMANA, SE OBSERVÓ QUE EL PROCESO	EN LA QUINTA SEMANA, SE CONSTATÓ QUE CIERTOS PAPELES HABÍAN SUFRIDO UNA	DURANTE LA SEXTA SEMANA, SE REALIZARON	0	100%

					MATERIA ORGÁNICA EN DESCOMPOSICIÓN Y COMPOST, CUBRIÉNDOSE POSTERIORMENTE CON UNA BOLSA PARA MANTENER LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.	CASCARILLA ESTABA CUBIERTA DE MATERIA ORGÁNICA, PRESENTABA HUMEDAD Y MOSTRABA SIGNOS INICIALES DE DESCOMPOSICIÓN	EL CUAL PRESENTABA CRECIMIENTO DE MOHO Y UNA REDUCCIÓN NOTABLE EN SU SUPERFICIE ORIGINAL	DE DEGRADACIÓN DEL PAPEL HABÍA PROGRESADO CONSIDERABLEMENTE	DEGRADACIÓN CASI TOTAL, MIENTRAS QUE OTROS PRESENTABAN ÁREAS RESIDUALES MÍNIMAS DE MATERIAL INTACTO	MEDICIONES DEL PAPEL REMANENTE TRAS EL PROCESO DE DEGRADACIÓN		
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	--	--

ANEXO 08 PANEL FOTOGRÁFICO



Presentación de materiales que se usó en la parte ejecutiva del proyecto de tesis



Se procedió a desinfectar y moler la cascarilla de cacao los 10 kg.



Se realizó el tamizado de la cascarilla de cacao molida utilizando tres diferentes tamaños de malla, con el objetivo de clasificar las partículas según su granulometría



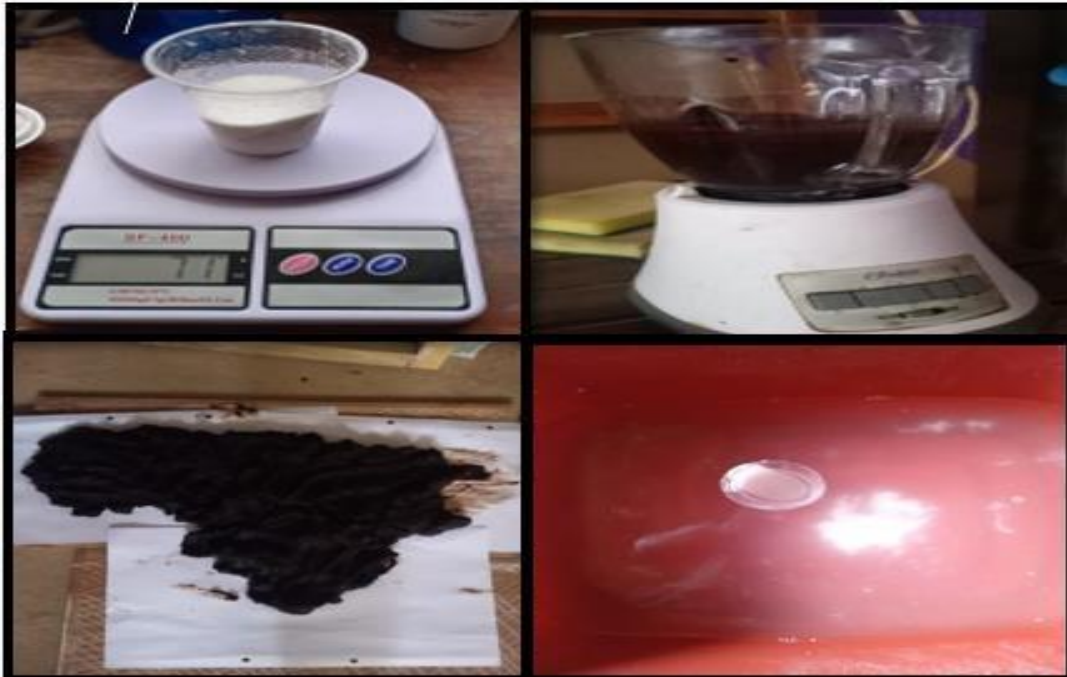
Se realizó la preparación de 3 mezclas con hidróxido de sodio y cantidades de cascarilla de cacao.



Se llevo las tres mezclas a un proceso de cocción de 110° Celsius por dos horas en un AUTOCLAVE (instrumento de laboratorio).



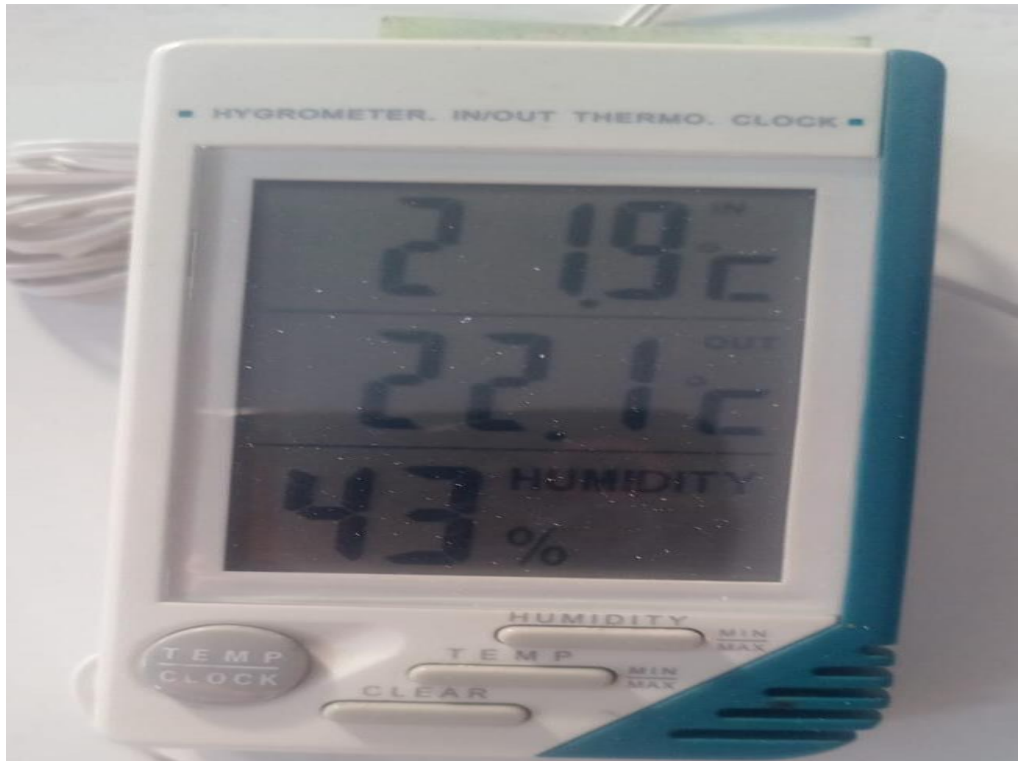
Después de la cocción se llevó a escurrir la pulpa hasta dejarlo seco



Después de la cocción se realizó las mezclas de la pulpa de papel, la goma y la cascarilla de cacao, en un balde de 50x43, todo con un porcentaje medido.



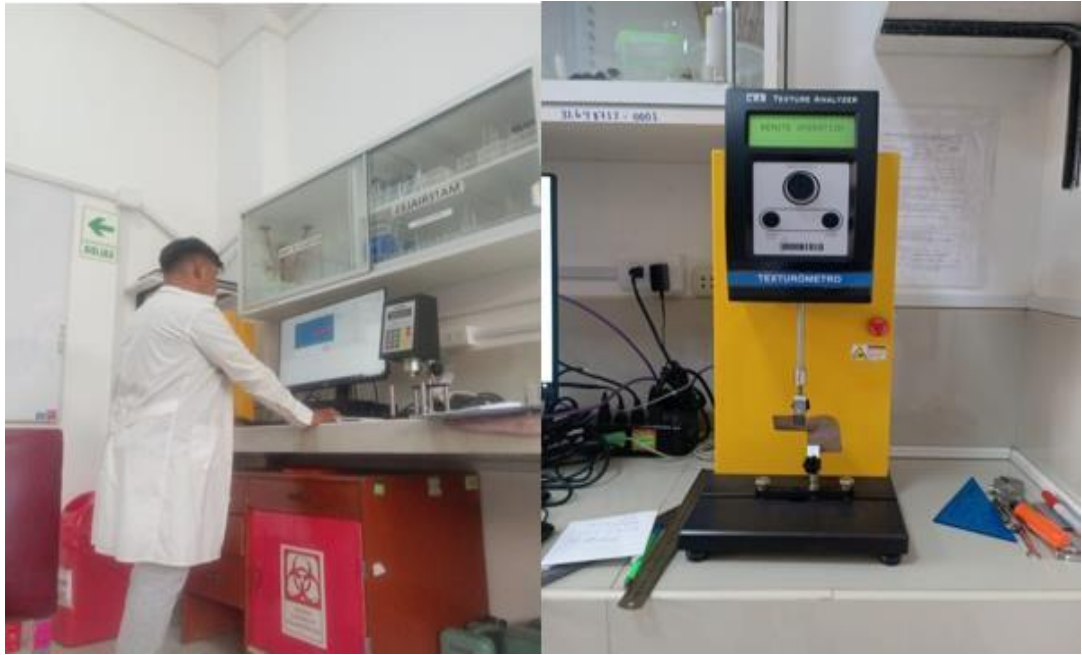
Se realizó la formación de la hoja conjuntamente con el prensado para que el papel escurra toda el agua que contiene y se dejó por tres días a temperatura ambiente.



Se midió la humedad del ambiente con un HIGROMETRO, para controlar el secado del papel.



Después de 3 días la hoja de cascarilla de cacao estuvo seco y terminado como se aprecia en la imagen.



Se llevo a laboratorio a medir las muestras de papel, lo cual el primer indicador que medimos fue **resistencia al rasgado** con un **texturometro**.



El segundo indicador que medimos fue el espesor con un **medidor de espesor**



Tercer indicador que medimos fue el gramaje en una **balanza analítica**.



El cuarto indicador que medimos fue la absorción con un gotero y cronometro



El quinto indicador que medimos fue biodegradabilidad, mediante el proceso de la descomposición.



*Al cabo de 5 semanas, se evidencia una notable reducción del tamaño y grosor del papel. Esto indica un proceso activo de descomposición, producto de la actividad microbiana y las condiciones ambientales, lo que demuestra la **biodegradabilidad del material**.*