



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

**Sede Ibarra**

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

**INFORME FINAL DEL PROYECTO**

TEMA:

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL USO DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS (BAGAZO DE CAÑA EN MEZCLA CON CÁSCARA DE YUCA) COMO BIOPOLÍMERO BIODEGRADABLE EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES DESECHABLES.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Nº 4. GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES.

SUBLINEA: ESTUDIO DE MATERIALES Y ENERGÍA.

AUTOR: VÍCTOR ELOY FEBRES ASPRINO

ASESOR: MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

IBARRA, 31 DE JULIO DE 2024

Ibarra, 31 de julio de 2024

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

ASESOR

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721

## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f).....

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f).....

PhD. Edwin Andrés Simbaña Villareal

C.C.: 1001832227



(f).....

PhD Rubén Del Toro Deniz

C.C.: 175754447-1

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo VICTOR ELOY FEBRES ASPRINO, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 31 de julio del 2024



f): .....

Víctor Eloy Febres Asprino

C.C.: 1759286543

## AUTORÍA

Yo, VÍCTOR ELOY FEBRES ASPRINO, portador de la cédula de ciudadanía Nro. 1759286543, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



f): .....

Víctor Eloy Febres Asprino

C.C.: 1759286543

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Víctor Eloy Febres Asprino, con C.C.: 1759286543, autor del trabajo de grado intitulado: EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL USO DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS BAGAZO DE CAÑA EN MEZCLA CON CÁSCARA DE YUCA COMO BIOPOLÍMERO BIODEGRADABLE EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES DESECHABLES, previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 31 de julio del 2024



f): .....

Víctor Eloy Febres Asprino

C.C.: 1759286543

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN,  
DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA PARA EL USO DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS BAGAZO DE CAÑA EN MEZCLA CON CÁSCARA DE YUCA COMO BIOPOLÍMERO BIODEGRADABLE EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES DESECHABLES, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 08 de diciembre de 2023.

Para constancia firma:



f): .....

Víctor Eloy Febres Asprino  
Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación  
C.C/ Pasaporte: 1759286543  
Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, 12 de diciembre de 2023

## **DEDICATORIA**

La elaboración de este trabajo de titulación culmina una parte de mi vida que pasó muy rápido, pero en el camino sentí que el tiempo no avanzaba, un viaje largo, desafiante y agotador pero que me ha ofrecido experiencias interesantes, gratificantes y que me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

En primer lugar, se lo dedico a mi mamá Marilena Asprino por hacer este sueño posible y brindarme todo el apoyo incondicional necesario para afrontar un reto como el que culmino en este momento. Sin duda este esfuerzo es tan tuyo como mío. A mi papá Víctor Febres, por estar presente a pesar de la distancia y brindarme todo el apoyo necesario para mantenerme firme. A mi hermana Cecilia Febres y la familia Sanabria-Hernández-Febres: Enrique Sanabria, Alba Hernández y Gabriel Sanabria, por estar en todo momento y unidos.

A Carlos Carmona por brindarme su apoyo incondicional, cariño, paciencia y constancia durante todo este proceso, y los que vengan en el futuro. A Dora Hilda Valero Pérez, mi segunda mamá, llevo tu cariño y enseñanzas conmigo en todo momento. A mis primos quiteños Gaby y Ronald, por estar presentes y pendientes de mi progreso, comprenderme y auxiliarme en mis momentos críticos de estrés y agotamiento.

Por último, se lo dedico a las personas que ya no están, pero se les recuerda siempre y extraña: Mis abuelos Mario Rafael Asprino Curiel, Gladys Margarita Salas de Asprino, Elia Beatriz Cedillo de Febres y Héctor Febres-Cordero Pineda, y una dedicatoria especial a mi querida tía Adriana Moncada Muñoz.

**Víctor Eloy Febres Asprino**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por todas las bendiciones que me da día a día, y regalarme la oportunidad de cumplir este sueño en el lugar donde menos imaginaba que lo lograría cumplir.

A mi mamá, porque sin su apoyo incondicional y presencia no habría podido lograrlo, a José Manuel por estar presente siempre y constante, a Carlos Carmona por estar ahí en las buenas y en las no tan buenas, y ser un pilar importante en todo este proceso. A mi familia de Venezuela, Suecia, España y Canadá por estar presentes aún en la distancia y brindarme su cariño y apoyo.

Agradezco enormemente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra por brindarme todas las herramientas y el apoyo que he necesitado durante todos estos años y especialmente a la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales por formarme, capacitarme e inculcarme valores ambientales y sociales para formarme como profesional integro. Agradezco a todos los docentes que han dejado su grano de arena en mi formación académica durante todos estos años, especialmente a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental. A mi asesora de tesis, profesora, mentora y referente a seguir, la MSc. Moraima Mera por la gran labor que realiza, los conocimientos compartidos y el apoyo constante desde el día 1. Al MSc. Jorge Israel Peñafiel Alvarado de la carrera de Ingeniería Civil, al MSc. Valdemar Andrade de la carrera de Ingeniería Agropecuaria y a la MSc. Johana Dávila por su disposición para asesorarme y compartir conmigo sus valiosos conocimientos.

Agradezco a mis amigos Kyung Seon Lee y Jessica Loor por su apoyo incondicional en todo momento, amistad sincera y abrirme las puertas al mundo laboral. A Leyda, Leo y Zuli por ser mi segunda familia Ibarreña.

Gracias totales.

**Víctor Eloy Febres Asprino**

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
AUTORÍA.....	iv
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN.....	v
DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO II.....	6
OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo general.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
2.3. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO III.....	7
ESTADO DEL ARTE.....	7
3.1. Problemática del uso de plásticos.....	7

3.1.1. Diseño de material biodegradable.....	8
3.1.1.1 Yuca (Manihot esculenta, C.) .....	8
3.1.1.2 Bagazo de caña.....	9
3.1.1.3 Otros materiales.....	11
3.1.2 Biopolímeros.....	14
CAPÍTULO IV.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
4.1. Materiales.....	16
4.2 Equipos.....	17
4.3. Métodos.....	17
4.3.1. Preparación del material.....	18
4.3.1.1 Deshidratación.....	18
4.3.1.2 Molido y Tamizado.....	19
4.3.2. Mezcla para formar el biopolímero.....	20
4.3.2.1 Material Aglomerante.....	20
4.3.2.2 Proceso de Mezclado.....	21
4.3.2.3 Formado de tableros.....	21
4.3.3 Pruebas semi cuantitativas.....	22
4.3.3.1 Prueba de permeabilidad.....	22
4.3.4 Pruebas Mecánicas.....	23
4.3.4.1 Prueba de dureza.....	23
4.3.4.2 Prueba de Compresión.....	24
4.3.5 Diseño Experimental.....	26
4.3.6 Tratamientos.....	27
4.3.7 Variables.....	28

CAPÍTULO V.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
5.1. Proceso de Producción del biopolímero.....	30
5.2. Prueba de permeabilidad.....	32
5.3 Prueba de dureza.....	38
5.4 Prueba de compresión.....	42
CAPÍTULO VI.....	45
CONCLUSIONES .....	45
CAPÍTULO VII.....	46
RECOMENDACIONES.....	46
CAPÍTULO VIII.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fuentes de variación (FV) con Grados de Libertad (GL)	26
Tabla 2 Composición de los tratamientos	27
Tabla 3 Unidades experimentales	28
Tabla 4 Resultados de la prueba de Permeabilidad	33
Tabla 5 Resultados prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)	33
Tabla 6 Transformación de los datos de la prueba de normalidad	34
Tabla 7 Resultados ANOVA permeabilidad	35
Tabla 8 Resultados de la prueba Tukey 5% permeabilidad	36
Tabla 9 Resultados de la Prueba de dureza	37
Tabla 10 Resultados prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)	38
Tabla 11 Resultados ANOVA dureza	38
Tabla 12 Resultados de la prueba Tukey 5% dureza	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de deshidratación de materia prima	18
Figura 2 Proceso de molido de la materia prima	19
Figura 3 Preparación de la fécula de maíz	20
Figura 4 Mezcla luego del amasado	21
Figura 5 Prensado de la mezcla	22
Figura 6 Prueba de permeabilidad	23
Figura 7 Prueba de dureza	24
Figura 8 Probetas para prueba de compresión previas al proceso de secado en estufa.	25
Figura 9 Flujograma de procesos	30
Figura 10 Gráficos de las medias de permeabilidad	35
Figura 11 Gráfico de las medias de dureza	36
Figura 12 Láminas de biopolímero dentro del rango de no quiebre.	40
Figura 13 Láminas de biopolímero dentro del rango de quiebre.	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Preparación del material para realizar las mezclas .....	53
Anexo 2. Elaboración Probetas de las pruebas mecánicas.....	54

## RESUMEN

La gestión ambiental del empleo de plástico de un solo uso es hoy uno de los desafíos más importantes, debido a la afectación ambiental que su uso conlleva. Su carácter desechable y su baja tasa de reciclaje inciden notablemente en su potencial lesivo, generando diversos efectos adversos, tales como acumulación de residuos, contaminación de fuentes hídricas y del suelo, afectación de la flora y la fauna terrestre y marina e incidencia negativa sobre la salud humana. De allí la necesidad de desarrollar alternativas viables que permitan mitigar el impacto negativo del plástico, como la propuesta en el presente trabajo de investigación. El objetivo general fue evaluar la viabilidad del uso de material lignocelulósico (bagazo de caña en mezcla con cáscara de yuca) como biopolímero degradable, mediante pruebas técnicas de aglomeración, con el propósito de determinar su potencial como materia prima en la creación de envases desechables. En el contexto de la economía circular, se parte de subproductos generados por diferentes industrias, disminuyendo la generación de residuos sólidos. A partir de un enfoque mixto, se desarrolló una investigación explicativa que buscó precisar los efectos de la utilización del bagazo de caña de azúcar y de la corteza de yuca como materia prima para la creación de platos desechables. Para ello, se realizó un análisis comparativo de las características del producto obtenido con el bagazo de caña en mezcla con la cáscara de yuca a diferentes concentraciones (30% y 40%). Los resultados obtenidos fueron positivos, debido a que los tratamientos presentaron alto rendimiento en la prueba de dureza con un promedio de 83,607 Ha, pero con un tiempo de permeabilidad bajo de 5,013 min de promedio, lo que facilita el proceso de descomposición del material; mas no se obtuvieron resultados óptimos en el sometimiento del biopolímero a las pruebas mecánicas de compresión y tracción.

Palabras clave: Biopolímero; bagazo de caña; cáscara de yuca; Biodegradable; envases desechables.

## **ABSTRACT**

The environmental management of the use of single-use plastic is today one of the most important challenges, due to the environmental impact that its use entails. Its disposable nature and low recycling rate significantly affect its harmful potential, generating various adverse effects, such as accumulation of waste, contamination of water sources and soil, impact on terrestrial and marine flora and fauna, and negative impact on the environment. human health. Hence the need to develop viable alternatives that allow mitigating the negative impact of plastic, such as the one proposed in this research work. The general objective was to evaluate the viability of the use of lignocellulosic material (cane bagasse mixed with cassava peel) as degradable biopolymers, through technical agglomeration tests, with the purpose of determining its potential as a raw material in the creation of disposable packaging. Using a mixed approach, explanatory research was developed that sought to specify the effects of using sugarcane bagasse and cassava bark as raw materials for the creation of disposable plates. For this, a comparative analysis of the characteristics of the product obtained with sugarcane bagasse mixed with cassava peel at different concentrations (30% and 40%) was carried out. The results obtained in the research were positive regarding treatments that presented high performance in the hardness test with an average of 83,607 Ha, but with a low permeability time of 5,013 min on average, which facilitates the material decomposition process; However, optimal results were not obtained when subjecting the biopolymer to mechanical compression and traction tests.

**Keywords:** Biopolymer, Plastic, Biodegradable, Bagasse, Cassava

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda del uso de envases desechables de plástico o poliestireno expandido ha generado una problemática ambiental importante a nivel global. Esto debido a que su producción y uso no solo generan la acumulación masiva de los mismos en contacto directo con los recursos naturales, sino que también generan un costo ambiental elevado y considerable. Para el año 2019 se produjeron 368 millones de toneladas de plástico, de los cuales el 4% correspondió a Suramérica. En su informe *Plastics in agriculture – an environmental challenge*, los expertos de las Naciones Unidas hacen referencia al impacto negativo que tiene el uso de plásticos en la agricultura por su descomposición directa en el suelo afectando sus condiciones naturales y produciendo micro plásticos que contaminan los alimentos que se consumen a diario, recalcando que se debe trabajar y desarrollar materiales con materia prima natural para reducir el uso del plástico tradicional al máximo, sobre todo, de los plásticos de un solo uso (United Nations Environment Programme [UNEP], 2022, p.16). Respecto a la producción de estos últimos hacen alusión a la extracción de recursos no renovables para su fabricación, la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación de ecosistemas terrestres y acuáticos que su uso conlleva.

En atención a este impacto ecológico, Saltos et al. (2015) han manifestado que:

El aumento en el consumo de los plásticos implica la búsqueda de un tratamiento de reciclaje de sus desechos, que permita convertirlos de una amenaza ambiental a un recurso para la industria, solucionando este problema. Uno de los materiales ampliamente usado como empaque es el poliestireno expandido (EPS). Se trata de un material ligero y bajo costo. De modo que, el consumo global de EPS ya excede los 3 millones de toneladas con un incremento del 6% al año. (p.1).

El uso de plásticos de un solo uso ya forma parte de las costumbres y rutinas diarias de la sociedad humana, lo que impulsa a utilizarlo de manera indiscriminada, ignorando los graves

problemas que se están dando por los residuos plásticos de todo tipo que se producen a nivel mundial. Si bien es cierto que existen países con mayores restricciones en el uso de plásticos y poseen una conciencia colectiva ambiental mayor que otros, los recursos naturales los compartimos de igual manera y la afectación al medio ambiente global es incalculable.

El mayor problema ambiental radica en el tiempo de descomposición de estos materiales, pues se requiere el transcurso de varios siglos para culminar el proceso de degradación de los mismos, lo que resulta en la acumulación de residuos plásticos en vertederos y la dispersión de micro plásticos y sustancias nocivas en el medio ambiente, situación que amenaza la biodiversidad, la calidad del agua, la calidad del suelo y la salud pública.

El hecho de que haya que esperar siglos para que se degrade un recipiente de plástico es algo inconcebible debido a su volumen de producción. Las fuentes hídricas están contaminadas con toneladas de residuos plásticos que son liberados diariamente a los ríos, lago y mares, afectando directamente a los ecosistemas acuáticos, pero también indirectamente a muchísimas especies que utilizan la biota marina como alimento, entre ellos, los seres humanos. Preocupa la presencia de micro plásticos en los tejidos de peces, moluscos, bivalvos, entre otros, pues al consumirlos ingresan a nuestro cuerpo, acumulándose y aportando al organismo una carga enorme de sustancias contaminantes que pueden conllevar graves problemas de salud.

Este riesgo ha sido reseñado en el informe de la Organización de las Naciones Unidas [ONU] denominado “De la contaminación a la solución: una evaluación global de la basura marina y la contaminación por plásticos” (2021) en los términos siguientes:

Una preocupación importante es el destino de los micro plásticos, los aditivos químicos y otros productos fragmentados, muchos de los cuales se sabe que son tóxicos y peligrosos para la salud humana, la vida silvestre y los ecosistemas. La velocidad en la cual la contaminación de los océanos está captando la atención del público es alentadora y es vital que aprovechemos ese impulso para lograr un océano limpio, saludable y resistente. (Párrafo 10)

El elevado impacto ambiental de los procesos de fabricación, distribución, uso y descarte de los productos plásticos, evidencia la necesidad de optar por materiales de rápida degradación que reduzcan significativamente el mismo, evitando acumulaciones indeseadas en los suelos y aguas y mitigando los daños causados por la contaminación plástica en todas las latitudes.

En consecuencia, surge la necesidad de buscar alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente como sustituto de los envases de plástico. El bagazo de caña de azúcar y la cáscara de yuca se presentan como una posible solución a este problema, siendo ambos productos considerados desechos de otro producto principal, en este caso, la caña para la refinación de azúcar y la yuca para el consumo humano.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la viabilidad del uso de material lignocelulósico (bagazo de caña en mezcla con cáscara de yuca) como biopolímero degradable mediante pruebas técnicas de aglomeración, con el propósito de determinar su potencial como materia prima en la creación de envases desechables.

#### **2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el proceso de transformación del bagazo de caña de azúcar y las cáscaras de yuca para la producción de un biopolímero biodegradable.
- Evaluar las propiedades mecánicas del biopolímero mediante pruebas técnicas de laboratorio.

#### **2.3. Hipótesis**

¿Es factible utilizar el bagazo de caña de azúcar en mezcla con cáscara de yuca como biopolímero biodegradable en la fabricación de envases desechables?

##### **Hipótesis Nula**

Ho: El uso de bagazo de caña de azúcar en mezcla con cáscara de yuca como biopolímero biodegradable no es viable para la elaboración de envases desechables

##### **Hipótesis Alternativa**

Ha: El uso de bagazo de caña de azúcar en mezcla con cáscara de yuca como biopolímero biodegradable si es viable para la elaboración de envases desechables

## **CAPÍTULO III**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### 3.1. Problemática del uso de plásticos

La revisión efectuada en bases de datos científicas digitales, repositorios y otros reservorios de información avalados científicamente, arrojaron como resultado la existencia de estudios de investigación recientes en el tema, que constituyen antecedentes de la presente investigación. De esta manera se ha podido verificar que el problema planteado ha despertado el interés de investigadores tanto nacionales como extranjeros por su relevancia y pertinencia. Investigar sobre alternativas viables de impacto ecológico positivo ante el crecimiento expansivo del uso de plásticos en el mundo y en el país es así un tema prioritario. En el contexto nacional ha señalado Jiménez Molina (2023) citando a la revista en línea Líderes, que:

A pesar de los problemas asociados con los plásticos, la industria ha crecido en los últimos años en Ecuador, donde ahora hay alrededor de 600 empresas especializadas en la producción de plásticos. La industria produce alrededor de 500 toneladas de materias primas que proporcionan alimentos, automóviles, comercio, agricultura, saneamiento y más. Esto representa \$1.2 billones en ventas, 1.2% del PIB nacional y la creación de cerca de 140,000 empleos directos e indirectos. Para los procesos productivos se importan en promedio 50,000 toneladas de plástico PET virgen y una pequeña parte de plástico post consumo.

El consumo de plástico en Ecuador es de 20 kilogramos por persona por año, o 30531,461 toneladas por año, la mitad del cual es plástico blando en envases de un solo uso como tapas o poliestireno, que es difícil de reciclar. Cada año se desechan unas 531,461 toneladas de plástico, lo que supone el 11,43% del total de residuos generados en el país. Cada año, la mitad de ese número es plástico blando o de un solo uso. (pp. 29-30)

Las cifras citadas evidencian que, a pesar de haberse desarrollado investigaciones con resultados favorables para la sustitución del uso de plásticos por materiales biodegradables de impacto ambiental positivo, el problema persiste, estando plenamente justificado el seguir desarrollando investigaciones en esta línea, y en ello consiste el aporte de esta investigación.

### 3.1.1. Diseño de material biodegradable

En el ámbito internacional, varios investigadores se han dedicado a explorar el tema de la elaboración de platos desechables a partir de materias orgánicas aptas para servir como biopolímeros que tengan la cualidad de ser biodegradables, en la búsqueda de la mitigación de las afectaciones ambientales del uso de plásticos, si bien éstas no puede revertirse en un 100% dado que todas las actividades antrópicas tienen un impacto ambiental en mayor o menor grado.

#### 3.1.1.1 Yuca (*Manihot esculenta* C.)

La yuca es un tubérculo considerado como un alimento esencial por su alto contenido en carbohidratos, vitaminas y minerales. En su procesamiento se generan diferentes subproductos susceptibles de ser utilizados para diferentes usos. En este sentido, según Bayona, Cepeda y León (2022) tanto las hojas, el bagazo y la cáscara de la yuca son aprovechables por su alto contenido lignocelulósico y de fibra en diferentes procesos de elaboración de bioplásticos, biocombustibles como el biodiesel y el tratamiento de aguas residuales por su capacidad filtrante, al mismo tiempo se disminuye el impacto ambiental producido por la disposición inadecuada de sus residuos.

Por su parte, Briones y Riera (2020) en el artículo científico “Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos” investigaron el proceso de hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina para la obtención de azúcares reductores totales (ART) con el fin de determinar cuál de ambos procesos es más conveniente para realizar los procesos de fermentación de las fibras de cáscara de yuca a través de dos vías principales, húmeda y seca. En las conclusiones de su estudio, los autores comentan:

La extracción del almidón de la cáscara de yuca por el método seco, con un rendimiento del 68%, resultó ser más eficiente en relación al método húmedo, presentando como ventaja adicional un menor consumo de agua y por ende menor impacto ambiental durante su procesamiento. (p.8)

Culminan sugiriendo que el uso de material residual obtenido de la yuca y cera de abeja son viables como materia prima para la elaboración de material termoplástico o para formar sustratos fermentados precursores de los polímeros biodegradables.

### 3.1.1.2 Bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.)

Ya en el tema del uso del bagazo de caña, Vega Ramos (2022) disertó sobre la Obtención de platos biodegradables a partir de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y bagazo de caña (*Saccharum officinarum*), desarrollando mezclas de diferentes proporciones de cascarilla de arroz con fibra de caña, de la manera siguiente:

(T1= 50% Cascarilla de Arroz + 10 % Bagazo de Caña + 40 % Almidón, T2= 40 % Cascarilla de Arroz + 20 % Bagazo de Caña + 40 % Almidón, T3= 30 % Cascarilla de Arroz + 30 % Bagazo de Caña + 40 % Almidón, T4= 20 % Cascarilla de Arroz + 40 % Bagazo de Caña + 40 % Almidón), utilizando como Maizena pregelatinizada y se evaluó la biodegradabilidad en el tiempo. De los diferentes tratamientos, el (T3= 30 % Cascarilla de Arroz + 30 % Bagazo de Caña + 40 % Almidón %) se obtuvo el mejor resultado, obteniendo un palto resistente y con una biodegradabilidad de 80 % en 60 días. Estos resultados ofrecen una alternativa para la disminución en la producción de platos sintéticos y así disminuir en parte la contaminación ambiental. (p. III)

Demostrando así el investigador la viabilidad de la propuesta desarrollada en su trabajo de titulación.

Por otra parte, Barreiro y Coronel (2021) desde la óptica de la ingeniería agroindustrial (su área de formación) realizaron una investigación intitulada “Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum*

*officinarum* L.) y almidón de yuca (*Manihot esculenta* C.) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables”, llegando a las conclusiones siguientes:

El bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca son una alternativa para el desarrollo de platos biodegradables, con diferentes aplicaciones industriales.

- El tratamiento T6 presentó mejores propiedades de dureza, fracturabilidad y deflexión.
- El tratamiento T5 a base de 25% bagazo de caña y 25% almidón de yuca, presentó un porcentaje de biodegradación de 94.26% en un periodo de 45 días, encontrándose dentro de lo especificado por la norma ISO 14855-2.
- El 25% de bagazo de caña y 25% de almidón de yuca, en la formación del plato biodegradable no presentó toxicidad.
- Todos los tratamientos evaluados con la prueba de preferencia presentaron una calificación aceptable para el atributo color. (p. 48)

Al final de su estudio, recomendaron realizar un estudio de factibilidad que evidencie la rentabilidad de producir un bioplato con 25% de bagazo de caña de azúcar y 25% de almidón de yuca, con el fin de incursionar en el mercado nacional (Barreiro y Coronel, 2021, p. 48), coincidiendo así con el estudio desarrollado en Colombia por Gaytán y Rosero (2021) en cuanto a los costos de producción como elemento fundamental a tomar en cuenta a la hora de optar por la fabricación de este tipo de productos.

En el contexto nacional también se han llevado a cabo investigaciones académicas dentro del tema. En este sentido, Arguello y Torres (2021) desarrollaron como trabajo de investigación una propuesta de “Diseño y construcción de un equipo de moldeo térmico para la elaboración de platos biodegradables a partir del bagazo de la Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)”, en cuyos resultados, exponen que:

Se realizó la caracterización del plato biodegradable siendo este impermeable durante 5 minutos, para el ensayo de biodegradabilidad el plato fue expuesto a la intemperie donde tiende a descomponerse en un mes, a diferencia en un medio acuoso el cual se desintegra

en 3 días. El total de platos que se obtuvo es de 12/ hora. Mediante un sistema automático se puede incrementar la producción de platos y disminuir tiempo. (p. xii)

Por otra parte, se identificó el estudio realizado por Chacha y Chiluisa (2023) intitulado “Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la obtención de envases biodegradables”, las cuales manifestaron dentro de las conclusiones de la investigación que,

Los resultados muestran que los materiales utilizados no presentan ningún nivel de toxicidad, la composición óptima de materia prima se encuentra en el tratamiento 5 con una mejor consistencia y plasticidad, pero no se pudo tener la forma deseada del plato y por último el tratamiento 6 ofreció mejores condiciones para la presencia de microorganismos descomponedores que facilitaron la aceleración del proceso de biodegradabilidad. Se recomienda el tamizado de la materia prima para fomentar la unión de partículas y la utilización de residuos industriales para evitar interferir en la cadena alimenticia y dar una nueva vida al desecho. (p. xi)

### 3.1.1.3 Otros materiales

Explorando los estudios internacionales, se encontró en Chile la investigación de Plaza (2017) quien en su trabajo de titulación “Maceteros biodegradables de residuos de flores” realizó un estudio del proceso de producción y distribución de flores en el mercado de Santiago, determinando una gran cantidad de residuos sólidos como consecuencia de un adecuado manejo de los mismo, en base a esto, realizó una prueba para procesar los residuos, siendo estos la deshidratación de los mismos y la cocción de los mismos en agua, determinando que la manera óptima de obtener la pulpa de los residuos de flores es sometiéndolos a cocción en agua. A partir de este proceso, realizó 7 experimentos utilizando los residuos de flores para producir macetas biodegradables aplicando diferentes tiempos de cocción y adicionando algunos aditivos, los cuales se indican a continuación:

- Experimento 1: materia prima secada durante 3 semanas y sometidas a un tiempo de cocción en 16 litros de agua durante 3 horas.
- Experimento 2: materia prima sometida a cocción en 9 litros de agua por 1:30 horas y secado posterior de 3 días a temperatura ambiente.
- Experimento 3: materia prima sometida a cocción en 15 litros de agua por 2:45 horas con agregado de Soda Cáustica (NaOH) y 4 días de secado en prensa y 2 días a temperatura ambiente.
- Experimento 4: materia prima sometida a cocción en 8 litros de agua por un tiempo de 1:15 horas con agregado de cola fría y maicena, por separado y un tiempo de secado de 4 días a temperatura ambiente.
- Experimento 5: materia prima sometida a cocción en 7 litros de agua por 48 minutos con agregado de media clara de huevo y un secado de 4 días a temperatura ambiente.
- Experimento 6: materia prima sometida a cocción en 7 litros de agua por 50 minutos y secado de 3 días al sol.
- Experimento 7: materia prima sometida a cocción en 1,5 litros de agua en olla a presión durante 34 minutos, con un secado de 2 días al sol en el molde y luego del desmoldado un día extra (pp. 61 – 68).

Obteniendo como conclusión que los experimentos 2, 4 y 5 fueron los que presentaron mejores resultados, basándose en la estructura del envase obtenido, su resistencia y la presencia de hoyos o grietas (Plaza, 2017, pp. 62 – 65).

En Colombia, Gaytán y Roper (2021), en su investigación intitulada “Planteamiento para el desarrollo de platos biodegradables a base de cascarilla de cacao” se fijaron como objetivo plantear “un proceso para el desarrollo de platos biodegradables a base de cascarilla de cacao como contribución para la sostenibilidad del planeta Tierra” (p. 1). En el marco teórico de su trabajo mencionan que las alternativas que ofrecen los bioplásticos pueden representar una solución al problema ambiental del uso excesivo de plásticos en el mundo, pero destacan la acción en contra que ejerce el costo de producción de los mismos que, en el caso investigado, tienen “un precio elevado frente a los otros platos biodegradables y descartables que se encuentran actualmente en el mercado” (p. 64).

Más recientemente, en Perú Huacán y Tintaya (2023) desarrollaron una investigación académica intitulada “Elaboración de platos biodegradables a partir de hojas de *Persea americana*, Arequipa 2023”, en la que identificaron claramente diversas etapas:

Para la primera etapa se realizó la recepción de la materia prima a utilizar que son las hojas de palto y maicena; en la segunda etapa se hizo el acondicionamiento tales como selección, lavado, secado y corte; en la tercera etapa se procedió con la preparación de pegamento natural; en la cuarta etapa se inició con la elaboración de los platos biodegradables usando diferente dosis para dos muestras y en la última etapa todos los análisis tanto de las características fisicoquímicas de las hojas como el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del plato ya fabricado fue analizado en SLAB Laboratorio de ensayo e investigación. En cuanto a los resultados obtenidos se tuvo una dureza para la muestra PT-1 de 37,25 Shore HA mientras que la muestra PT-2 fue de 42,88 Shore HA siendo la más óptima para su elaboración con hojas secas. (p.1)

En las conclusiones las investigadoras señalan que, “en cuanto al proceso de biodegradación de los platos a partir de hojas de *Persea americana* se llegó a degradar en aprox. 4 semanas, el proceso de degradación va a depender mucho de la composición de los platos”, sin ofrecer datos precisos al respecto (p. 43).

### 3.1.3 Biopolímeros

En Perú, Bazán y Carranza (2021) desarrollaron una investigación científica titulada “Producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos usando microorganismos” en la que los autores mediante una revisión bibliográfica, determinaron que existen numerosos microorganismos que poseen la capacidad de sintetizar biopolímeros como los Polihidroxialcanoatos (PHA) a partir de materia orgánica procedente de fuentes renovables. Así mismo, determinaron que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y la yuca (*Manihot esculenta* C. o *Cassava*) son las principales fuentes proveedoras de residuos lignocelulósicos

que favorecen dicha reproducción bacteriana bajo condiciones controladas de pH, temperatura, tiempo y sustrato. (p.7).

Por otra parte, los investigadores colombianos García et al (2015) indican que el uso de residuos lignocelulósicos puede incidir de manera positiva la producción de biopolímeros debido a su bajo costo de producción y su amplio uso como sustrato en el proceso de producción (p. 3).

En el contexto ecuatoriano, Calderón y Castillo (2022) en su trabajo de grado llamado “Elaboración de bolsas de plástico biodegradable a base del almidón de papa (*Solanum tuberosum*, L.) variedad Superchola, ESPAM MFL”, desarrollaron a través de su investigación un bioplástico ecológico para mitigar el problema ambiental derivado del uso de polímeros sintéticos. Para este bioplástico utilizaron el almidón de la papa Superchola como materia prima principal para su desarrollo, utilizando como agente plastificante la glicerina a diferentes concentraciones. Para darle peso a su investigación evaluaron la biodegradabilidad del polímero, así como pruebas de humedad, espesor y permeabilidad para luego producir las fundas biodegradables y someterlas a pruebas de tracción y elongación de rotura. Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Siendo el T4 el que mejores características demostró en cuanto a permeabilidad (1,64 %), humedad (30,25 %), solubilidad (62,67 %) y espesor (0,54 mm), presentando buena estabilidad debido a la relación de almidón utilizada para su formulación.
- El proceso de degradación de las películas correspondientes a los tratamientos presentó mejores resultados en condiciones anaerobias, donde el tratamiento 1 y 3 dieron mejores resultados con una mayor degradabilidad al cabo de 20 días.
- Los tratamientos cumplieron con los requisitos físico-químicos para la elaboración de fundas, pero no cumplieron con los requisitos establecidos en la norma INEN 2290 de tracción y elongación.
- Las materias primas utilizadas para la obtención de bolsas de plástico biodegradables son de bajo costo, el proceso es sencillo y se requiere de poco tiempo; el valor de la realización de una bolsa biodegradable en esta investigación con dimensiones de 20x15 cm fue de \$ 3,06. (p.p. 60-61).

## **CAPÍTULO IV**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología propuesta para la investigación combina los enfoques cuantitativo y cualitativo. Este enfoque mixto permite obtener una comprensión profunda y completa de la viabilidad técnica de esta alternativa dadas las ventajas que posee en comparación con los enfoques de manera independiente, pudiendo indicar, entre otras las siguientes: permite lograr una perspectiva más precisa, pero a la vez más holística del problema; las múltiples observaciones producen datos más ricos y variados y el entendimiento del fenómeno suele ser mayor y más rápido (Hernández y Mendoza, 2018).

El nivel de profundidad de la investigación es explicativo, por cuanto busca identificar las causas y precisar los efectos de la utilización del bagazo de caña de azúcar y de la corteza de yuca como materia prima para la creación de platos desechables. Para ello, se realizó un análisis comparativo de las características del producto obtenido con el bagazo de caña en mezcla con la cáscara de yuca a diferentes concentraciones (30% y 40%).

#### 4.1. Materiales

- Bagazo de caña de azúcar
- Cáscara de yuca
- Almidón de maíz
- Agua
- Glicerina
- Acetato

#### 4.2 Equipos

- Secadora artesanal semi industrial del Herbario PUCE-I con código 25500051
- Prensa Hidráulica reconstruida del laboratorio de Física PUCE-I con código 12101800824

- Molino Retsch Grindomix GM 200
- Estufa Memmert SNB 300
- Balanza Analítica Mettler Toledo ME204
- Tamiz VWR Scientific N° 50
- Cocina eléctrica de 1 hornilla con 3 temperaturas: Baja, Media y Alta.
- Molde de hierro de 17cm x 10cm
- Molde de aluminio cúbico de 50x50mm

#### 4.3. Métodos

Para llevar a cabo la investigación, se utilizaron el método analítico-experimental y el método inductivo. El primero permitió descomponer el problema en sus componentes esenciales con base en la experimentación directa y la lógica empírica. El segundo permitió inferir conclusiones generales a partir de los datos recopilados.

La técnica aplicada fue la revisión y análisis documental, la cual permitió recopilar información previa relevante y conocimientos sobre ensayos experimentales para evaluar las propiedades del bagazo de caña de azúcar y corteza de yuca como materia prima para producir un biopolímero biodegradable. Se aplicó al estudio de material bibliográfico de diversa naturaleza, tales como: textos nacionales y extranjeros; trabajos académicos; artículos publicados en revistas científicas; informes de organismos oficiales; entre otros. El instrumento de investigación utilizado fue la matriz digital de información, que permitió sistematizar y organizar la información obtenida.

Como referencia al momento de realizar las pruebas, se tomaron en cuenta los pasos propuestos por Chacha y Chiluisa (2023) en su investigación sobre el uso de bagazo de caña y almidón de plátano verde para elaborar platos biodegradables, pero realizando modificaciones que se consideraron prudentes y necesarias para obtener el biopolímero con los materiales propuestos en este trabajo de investigación sin recurrir a sustancias no biodegradables.

#### 4.3.1. Preparación del material

La determinación de la manipulación de la materia prima a realizar en el laboratorio para la obtención del biopolímero se concretó después de realizar pruebas previas que permitieron identificar la metodología adecuada a seguir con los parámetros establecidos para desarrollar esta investigación.

##### 4.3.1.1 Deshidratación

Consiste en extraer la mayor cantidad de humedad posible, evitando su descomposición y facilitando el procesado de las muestras seleccionadas. Para este proceso se partió de la metodología propuesta por Chacha y Chiluisa (2023), que consiste en deshidratar por 8 horas a 50°C. Pero en esta investigación también se utilizó cáscara de yuca, lo que alargaba el tiempo de deshidratado, por lo que se utilizó un horno deshidratador semi industrial seteado a una temperatura constante de 60°C por un tiempo de 8 horas y un periodo de enfriamiento controlado en el horno durante 35 minutos hasta llegar a los 23°C.

#### **Figura 1**

*Proceso de deshidratación de materia prima*



*Nota.* Proceso de deshidratación de la materia prima llevado a cabo en el herbario PUCE I.

#### 4.3.1.2 Molido y Tamizado

Las muestras deshidratadas de bagazo de caña y cáscaras de yuca se pesan para calcular el porcentaje de humedad evaporada y se sometieron a molturación para obtener la harina con ayuda de un molino Retsch Grindomix GM 200 para reducir el tamaño de partícula y obtener una harina fina (Villar, 2021), se sometió a molienda en intervalos de 45 segundos a 700 revoluciones por minuto. En total para el bagazo de caña se necesitaron 5 intervalos para obtener una textura fina similar a la harina, mientras que las cáscaras de yuca se procesaron hasta obtener una textura fina en 4 intervalos.

Una vez completado este proceso se pesó el resultado final en una balanza analítica Mettler Toledo ME204 con el fin de determinar el porcentaje de peso que se perdió en el tamizado. Luego se pasó cada uno de los materiales por un tamiz VWR Scientific N° 50, con el objetivo de obtener partículas de 300 $\mu$ m de grosor, ya que las pruebas experimentales que se realizaron previas al establecimiento de pasos y procesos finales para la obtención del biopolímero indicaron que la diferencia de tamaño en las partículas favorece la fragilidad del material y la formación de grietas que debilitan su estructura, así como proporciona un acabado irregular y heterogéneo afectando visualmente el producto final.

Los residuos que se generan durante el tamizado de la harina se separan y se llevan de nuevo a molienda para darle un segundo tratamiento y obtener mayor cantidad de harina y aumentar el rendimiento del proceso.

#### **Figura 2**

*Proceso de molido de la materia prima*



*Nota.* Proceso de molido de la materia prima que se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCEI.

#### 4.3.2. Mezcla para formar el material usado como biopolímero

##### 4.3.2.1 Material Aglomerante

Se utilizaron materiales naturales y sintéticos biodegradables sin recurrir a bioplásticos o resinas no biodegradables para evitar que se genere un mayor impacto ambiental en el proceso. Ante esto, se procedió a utilizar almidón de maíz, que es un polisacárido aislado utilizado como resina natural con el fin de que ayude a mantener la estructura unida y aporte resistencia al material, así como acetato de polivinilo PVAc que se adicionó en el tratamiento T5 que se aplicó en mezcla y en el tratamiento T4 que se aplicó como único agente aglomerante.

Para utilizar de manera óptima el almidón de maíz se diluyó 15g en 150 ml de agua y se aplicó calor directo en la estufa por 40 segundos a fuego alto para que espese y forme una pasta gomosa. En el tratamiento T5 se preparó el aglomerante mixto utilizando 75 ml de agua y 7.5g de almidón de maíz junto con 40ml de acetato de polivinilo. Asimismo, en el tratamiento T4 se utilizaron 80 ml de acetato.

### **Figura 3**

*Preparación de la fécula de maíz*



*Nota.* Proceso de preparación de la fécula de maíz en el laboratorio de bromatología de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCEI.

#### 4.3.2.2 Proceso de Mezclado

En vaso de precipitados se colocó el bagazo de caña junto con la cáscara de yuca ya procesados, junto con el almidón de maíz hidratado en los tratamientos que usan este producto como aglomerante, y el acetato directo en los tratamientos que corresponda.

Se homogenizó la mezcla asegurando la integración total de los componentes del biopolímero mediante un proceso de amasado por un periodo de 5 minutos. Posterior a esto, se dejó reposar la mezcla por 20 minutos y se regule la temperatura luego del amasado. Obteniendo como resultado una esfera de la mezcla de aproximadamente 123g.

Cada uno de los tratamientos realizados siguen el mismo proceso de formación, sólo varían las cantidades de los componentes.

#### **Figura 4**

*Mezcla luego del amasado*



*Nota.* Proceso de mezcla realizado con posterioridad al amasado. Laboratorio de bromatología de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE I.

#### 4.3.2.3 Formado de tableros

Para llevar a cabo las pruebas de dureza y permeabilidad, se fabricaron tableros pequeños con cada uno de los tratamientos propuestos. Estos fueron divididos en fracciones más pequeñas y se usaron como unidades de estudio en ambas pruebas.

La fabricación de dichos tableros se realizó en el laboratorio de física de la PUCE-I utilizando una prensa hidráulica con soporte hidráulico de 50t, rango de temperatura entre 0 y 400°C y un recorrido del émbolo hidráulico de 13cm. Se sometió el material a una presión de 13789,51 kPa a 70°C por 10 minutos para obtener una lámina con un grosor de 3mm usando una lámina metálica como base, además se colocó otra lámina metálica encima de la mezcla para obtener una superficie plana en la parte superior e inferior y obtener un resultado uniforme.

Una vez se prensaron los tableros, se dejaron secar al aire libre por 72 horas hasta completar su proceso de secado gradual.

#### **Figura 5**

*Prensado de la mezcla*



*Nota.* Prensa hidráulica utilizada para el prensado de la mezcla. Laboratorio de Física de la PUCEI.

### 4.3.3 Pruebas semi cuantitativas

#### 4.3.3.1 Prueba de permeabilidad

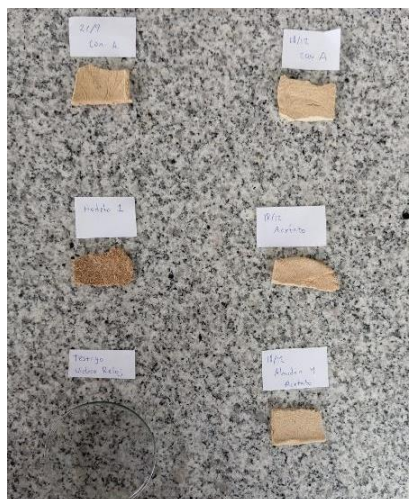
Para esta prueba se aplicó la metodología propuesta por Fuertes (2019) que consiste en el uso de un vidrio reloj como testigo (T6) para comparar la permeabilidad del material biodegradable con un material que no presenta absorción alguna.

Se tomó un trozo de 3cm x 2cm aproximadamente de los tratamientos del biopolímero y se le agregó 1 gota de agua con ayuda de un gotero, al igual que al vidrio reloj.

Una vez colocada la gota, se cronometra los tiempos de absorción de cada uno de los materiales hasta que no se observe la gota de agua. Esta prueba depende de su composición, pues aun teniendo los mismos componentes, la variación de porcentajes y uso de aglomerantes da como resultado un mayor o menor tiempo de permeabilidad.

### Figura 6

#### *Prueba de permeabilidad*



*Nota.* Muestras obtenidas con los diversos tratamientos y el testigo (vidrio reloj) para su análisis y comparación. Laboratorio de Química de la PUCE I.

#### 4.3.4 Pruebas Mecánicas

##### 4.3.4.1 Prueba de dureza

Se utilizó como referencia la guía técnica de implementación y control técnico científico de un equipo de comprobación de laboratorio para durezas superficiales, ya que es un ensayo que no genera un daño al material siendo la hendidura muy pequeña, se considera despreciable (Andino y Cano, 2011). La prueba se realizó sobre un trozo de biopolímero seco similar al utilizado para la prueba de absorción con un durómetro digital Phase II, el cual tiene un sensor con borde puntiagudo el cual mide la presión a medida que se presiona el durómetro contra la muestra, con el fin de determinar su dureza. Dichas mediciones se obtienen mediante el sistema de medición Shore A (Ha)

#### **Figura 7**

*Prueba de dureza*



*Nota.* Durómetro utilizado para medir la dureza en las distintas muestras obtenidas con los tratamientos. Laboratorio de Física de la PUCE I.

#### 4.3.4.2 Prueba de Compresión

Es una técnica utilizada en ingeniería y ciencia de materiales para evaluar la resistencia y el comportamiento de diferentes materiales cuando se someten a fuerzas de compresión en una dirección axial. Durante este ensayo, se aplica una carga gradual a la muestra de material colocada entre dos placas, utilizando un sistema hidráulico que permite controlar con precisión la fuerza aplicada. Esto proporciona datos importantes sobre la capacidad del material para soportar cargas compresivas y determinar la presión en la que cede y se crean deformaciones en la superficie (Lema, 2023).

Para la realización de esta prueba se fabricaron probetas bajo Norma Ecuatoriana INEN 488:2009 para determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50x50mm de arista, se prensaron a 2400 PSI durante 10 minutos a 70°C. Luego se desmoldaron y se llevaron a la estufa por 24 horas a 35°C, pasado este tiempo se elevó la temperatura a 50°C y se dejaron por 48 horas más. También se fabricó una probeta de 6mm para ensayos de tracción bajo la normativa UNE-EN ISO 527-2 con una máquina de corte laser y se realizaron numerosas probetas

#### **Figura 8**

*Probetas para prueba de compresión previas al proceso de secado en estufa.*



*Nota.* Probetas usadas para la prueba de compresión. Laboratorio de Física de la PUCE I.

#### 4.3.5 Diseño Experimental

**Diseño Experimental:**

Diseño completamente al azar (DCA)

**Prueba de significancia:**

Tukey 5%

**Prueba de Normalidad:**

Shapiro

**Software Estadístico:**

XLSTAT BASIC+, versión 2023.2.0.1411,

licencia: b1672737-bf0f-472b-a655-46d8039fd975 (Lumivero, 2023).

**Esquema del ADEVA:**

**Tabla 1**

*Fuentes de variación (FV) con Grados de Libertad (GL)*

<i>FV</i>	<i>GL</i>
<i>Total</i>	14
<i>Error</i>	10
<i>Tratamiento</i>	4

*Nota.* Esquema del ADEVA que se realizó luego de obtener los resultados de las pruebas propuestas.

El diseño experimental completamente al azar (DCA) es una estructura experimental fundamental en la investigación científica donde los sujetos o unidades experimentales se asignan aleatoriamente a diferentes tratamientos o grupos de tratamiento. Este diseño asegura que cada unidad tenga la misma probabilidad de ser asignada a cualquier tratamiento, minimizando así el sesgo y permitiendo la evaluación imparcial de los efectos de los tratamientos sobre la variable de interés.

El DCA es particularmente útil cuando se desea investigar el efecto directo de variables independientes sin la influencia de factores de confusión no controlados, facilitando la inferencia sobre la relación causal entre los tratamientos y la respuesta medida.

### Tratamientos

Los tratamientos desarrollados fueron cinco, seleccionados luego de realizar pruebas experimentales en el laboratorio y tomando como base la metodología presentada por (Chacha y Chiluisa, 2023), de acuerdo a los resultados obtenidos:

**Tabla 2**

*Composición de los tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Bagazo de caña</b>	<b>Cáscara de yuca</b>	<b>Almidón</b>	<b>Acetato</b>	<b>Tamizado</b>
<b>T1</b>	70%	30%	Si	–	Si
<b>T2</b>	60%	40%	Si	–	Si
<b>T3</b>	70%	30%	Si	–	No
<b>T4</b>	60%	40%	–	Si	Si
<b>T5</b>	60%	40%	Si	Si	Si

*Nota.* En el aporte científico de Chacha y Chiluisa (2023) citado en esta investigación, se ilustra la composición de bagazo de caña, cáscara de yuca, almidón y acetato de cada uno los tratamientos; indicando además cuáles fueron tamizados y cuáles no.

#### 4.3.6 Repeticiones y Unidades Experimentales:

La unidad experimental es la unidad física que es sometida a los parámetros que indica el tratamiento, y que una vez se aplica este tratamiento sobre ella, se convierte en una repetición. (Mandeville, 2012).

Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento propuesto, dando un total de quince unidades experimentales que se sometieron a las pruebas seleccionadas, de forma aleatoria.

En esta investigación la unidad experimental consiste en una muestra de biopolímero de 123g con las concentraciones de bagazo de caña y cáscara de yuca, así como el uso de aglomerante indicados en la Tabla 1. Estas muestras se sometieron a las pruebas de dureza, permeabilidad y compresión.

**Tabla 3**

*Unidades experimentales*

Unidades experimentales		
T1A	T1B	T1C
T2A	T2B	T2C
T3A	T3B	T3C
T4A	T4B	T4C
T5A	T5B	T5C

*Nota.* Las unidades experimentales corresponden a los tratamientos multiplicados por el número de repeticiones realizadas.

#### 4.3.7 Variables

##### **Variable/s Independiente/s**

- Bagazo de caña
- Cáscara de yuca

## **Variable/s dependiente/s**

### **- Compresión:**

Se fabricaron probetas bajo Norma Ecuatoriana INEN 488:2009 para determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50x50mm de arista, se prensaron a 2400 PSI durante 10 minutos a 70°C. Durante este ensayo, se aplica una carga gradual a la muestra de material colocada entre dos placas, utilizando un sistema hidráulico que permite controlar con precisión la fuerza aplicada. (Lema, 2023).

### **- Dureza:**

La prueba se realizó sobre un trozo de biopolímero seco similar al utilizado para la prueba de absorción con un durómetro digital Phase II, el cual tiene un sensor con borde puntiagudo el cual mide la presión a medida que se presiona el durómetro contra la muestra, con el fin de determinar su dureza. Dichas mediciones se obtienen mediante el sistema de medición Shore A (Ha). (Andino y Cano, 2011).

### **- Permeabilidad:**

Se tomó un trozo de 3cm x 2cm aproximadamente de los tratamientos del biopolímero y se le agregó 1 gota de agua con ayuda de un gotero. Una vez colocada la gota, se cronometra los tiempos de absorción de cada uno de los materiales hasta que no se observe la gota de agua. Para esta prueba se aplicó la metodología propuesta por Fuertes (2019) que consiste en el uso de un vidrio reloj como testigo (T6) para comparar la permeabilidad del material biodegradable con un material que no presenta absorción alguna.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Proceso de Producción del biopolímero

Finalizadas las pruebas de laboratorio, se verificó que la metodología aplicada y descrita previamente, arrojó resultados positivos, ya que los procedimientos implementados fueron positivos y condujeron a conclusiones favorables sobre la formación de un biopolímero orgánico biodegradable. Obtuvo un material homogéneo, resistente y maleable que cumple con las características necesarias para ser utilizado en la producción de envases desechables.

El procedimiento se basó en el trabajo realizado por Chacha y Chiluisa (2023), estudio en el cual crearon un biopolímero con bagazo de caña y almidón de plátano en tres porcentajes (15, 25 y 35), junto a otros componentes como resina resiflex y cal dolomita, a través de una metodología que incluye el deshidratado de materia prima a 50° para luego ser molida en un molino manual. (p.26)

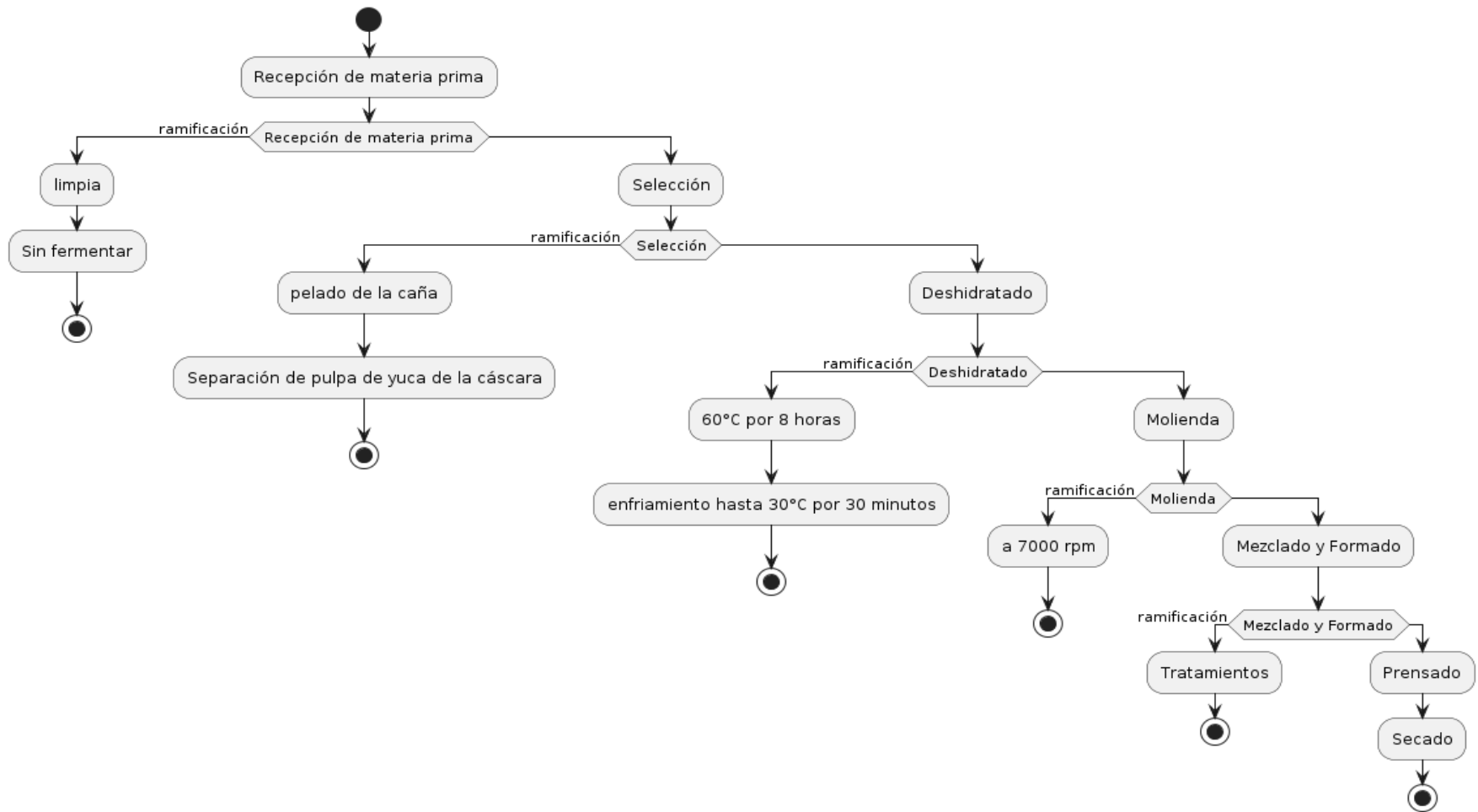
En base a esto, se observó que se puede realizar un biopolímero con componentes similares sin la adición de resinas de poliuretano que no suelen ser biodegradables por su capacidad de durabilidad y resistencia a la descomposición por acción microbiana, aumentando la biodegradabilidad del producto final y la disminución de su impacto ambiental con el uso del aglomerante orgánico como alternativa sostenible. Aparte, a pesar de la diferencia de 10°C en la temperatura de la secadora que se aplicó en ambas investigaciones, el tiempo de deshidratado resultó ser el mismo, esto puede deberse a que las muestras de bagazo de caña no fueron tomadas de la misma zona, por lo que puede variar la humedad del producto, afectando a otras características físicas que influyan en el tiempo de deshidratado.

Por último, las concentraciones de bagazo de caña y cáscara de yuca utilizadas dieron un resultado positivo y similar visualmente a los obtenidos en la investigación de Chacha y Chiluisa (2023), material maleable y resistente una vez culminado el proceso de secado.

Conviene destacar que no pueden compararse las pruebas realizadas en ambos trabajos por poseer características biológicas y mecánicas diferentes.

**Figura 9**

*Flujograma de procesos*



*Nota.* La figura ilustra el proceso de elaboración del biopolímero, paso por paso.

## 5.2. Prueba de permeabilidad

**Tabla 4**

*Resultados de la prueba de Permeabilidad*

<b>Tratamiento</b>	<b>Tiempo de absorción (min)</b>
T3	13,6
T1	5,2
T2	2,2
T4	2,2
T5	1,8

*Nota.* Resultados de permeabilidad en unidades de tiempo (minutos).

Este resultado indicó que el tamaño de partículas influye considerablemente el tiempo de absorción del biopolímero, ya que el tratamiento tres obtuvo una diferencia positiva grande con respecto al resto de tratamientos, siendo este tratamiento el único que no fue tamizado previo a la preparación de la mezcla.

Los demás tratamientos se mantienen en un rango de valores entre 1,8 y 5,2 minutos de tiempo de absorción, confirmando con esto, que el factor con mayor incidencia en esta prueba fue el tamaño de partícula.

**Tabla 5**

*Resultados prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)*

W	0,849	
valor-p (bilateral)	0,017	*
Alfa	0,05	

*Signification codes:* 0 < "\*\*\*\*" < 0.001 < "\*\*\*" < 0.01 < "\*\*" < 0.05 < "." < 0.1 < " " < 1

*Nota.* Sirve para mostrar si existe normalidad o no en las muestras.

Interpretación de la prueba:

H0: Los residuos siguen una distribución Normal.

Ha: Los residuos no siguen una distribución Normal.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$ , se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

En vista de que la prueba arrojó no normalidad en los datos, se realizó una transformación de datos para verificar si de esta manera se obtenía normalidad.

**Tabla 6**

*Transformación de los datos de la prueba de normalidad*

<i>Variable</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Media</i>	<i>Desv estándar</i>	<i>Shapiro test</i>	<i>p-valor</i>	<i>Transformación</i>		
						<i>Raíz (<math>\sqrt{\quad}</math>)</i>	<i>Log<sub>10</sub></i>	<i>Arc_s eno</i>
<i>Permeabilidad (tiempo de absorción)</i>	15	5,013	4,670	0,849	0,017	0,430	0,610	0,551

*Nota.* Se aplicó la transformación por medio del cálculo de la raíz cuadrada, logaritmo de base 10 y el arcoseno.

Este resultado indicó que existe una diferencia significativa en los resultados obtenidos en el tratamiento 3, que tuvo mayor tiempo de absorción, en comparación con los demás tratamientos.

Dentro de la investigación no se busca demostrar que el material tiene el mismo tiempo de retención de agua antes de absorberse que un vidrio reloj, solamente identificar la permeabilidad del material utilizado, por lo que se interpretó el resultado del análisis como apoyo para indicar que el material tamizado tiene mayor capacidad de permeabilidad en corto tiempo, a diferencia del material no tamizado que por el mismo tamaño de partículas y la naturaleza insoluble, aportan mayor resistencia a la permeabilidad.

Teniendo en cuenta que la prueba se realizó tomando referencia del tiempo de evaporación de un material impermeable, como lo es el vidrio reloj.

**Tabla 7**

*Resultados ANOVA permeabilidad*

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Total</i>	14	305,36				
<i>Error</i>	10	3,75	0,37			
<i>Tratamiento</i>	4	301,61	75,4	201,25	<b>&lt;0,0001</b>	<b>***</b>

*Signification codes: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1*

<i>Promedio (min)</i>	5,013
<i>CV(%)</i>	12,209

*Nota.* Se muestra el análisis de varianza ANOVA realizado; el cual indicó que existen diferencias significativas entre las muestras.

La prueba del análisis de varianza (tabla 7), establece que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos. El tiempo promedio en la variable de permeabilidad al agua de los tableros de los diferentes tratamientos es de 5,013 min. El coeficiente de variación de esta variable se encuentra en el orden del 12,209 %, lo que demuestra una variación respecto del promedio debido a la diferente composición de los materiales utilizados en la fabricación de los tableros.

El valor F en esta prueba es muy elevado, lo que indica que existe una diferencia significativa entre al menos dos de los tratamientos que se sometieron a la prueba de permeabilidad. Aparte, el valor  $\alpha$  asociado es muy bajo, lo que indicó que la probabilidad de tener un valor F tan grande es extremadamente baja, por lo que se rechaza la hipótesis nula del ANOVA, y se acepta la hipótesis alternativa.

Los resultados arrojaron que el tratamiento número uno que corresponde a 70% de bagazo de caña y 30% de cáscara de yuca en mezcla con fécula de maíz tuvo el promedio más alto con 5,23 minutos de tiempo de absorción entre los tratamientos tamizados. Lo que nos indica que es la composición en mezcla con mayor homogeneidad y capacidad de compactación, disminuyendo así, la porosidad del biopolímero. Por otra parte, el tratamiento número 5 tuvo el promedio más bajo, siendo este de 1,76 minutos de promedio para la absorción de la gota de agua. Debido a que la variación con respecto al tratamiento 2 es el aglomerante que se utilizó, se dedujo que la mezcla de fécula y acetato aumenta la permeabilidad del biopolímero, que podría ser un factor positivo o negativo dependiendo del uso que se le dé al biopolímero.

Se observó que el tiempo de absorción del biopolímero en general tiene una diferencia significativa con respecto al vidrio reloj que se usó como testigo, que obtuvo un promedio de 43 minutos para la evaporación de la gota de agua. Conviene señalar que en su investigación Fuertes (2019) obtuvo resultados positivos en la prueba de permeabilidad que realizó con valores mínimos de 64 minutos y valores máximos de 87 minutos frente a los 90 min que duró el vidrio reloj, lo que indica una excelente capacidad impermeable del biopolímero obtenido en su investigación.

Esta diferencia significativa que puede observarse entre los resultados de la investigación de Fuertes y los de esta investigación, deriva del uso de polietileno (PE) de baja y alta intensidad como componente del biopolímero.

Los compuestos sintéticos que suelen agregarse a los biopolímeros le proporcionan estabilidad y firmeza al producto final, pero no en contraparte, tienen un mayor impacto en el medio ambiente y demora más tiempo en lograr degradarse el material, ya que el polietileno no se biodegrada por acción bacteriana, sino por acción de la radiación solar.

Por otra parte, Plaza (2017) en su investigación determinó que el tratamiento térmico que se le aplicó a sus maceteros se mantuvieron sin romperse pero débiles luego de 140 horas sumergidos en agua, esta gran cantidad de tiempo se debe a la naturaleza insoluble de los tallos de rosas que utilizó para dichos ensayos sin triturarlos, manteniendo las fibras enteras, a diferencia del

material realizado en esta investigación, pues se utilizó material molido y tamizado, disminuyendo la capacidad de retener agua.

Así mismo, el biopolímero desarrollado en esta investigación se compone de productos orgánicos y biodegradables, y el bagazo de caña tiene un gran potencial para materiales biodegradables ya que, al entrar en contacto con agua, sus azúcares simples se disuelven poco a poco y fomentan la reproducción bacteriana, acelerando el proceso de descomposición, Como indica Espinoza (2020) en su investigación luego de realizar la prueba de permeabilidad, identificó un aumento significativo en el peso del biopolímero realizado, aumentando la permeabilidad con el aumento de almidón utilizado en la mezcla y disminuyendo la permeabilidad con el aumento de materiales plastificantes como la glicerina.

Dada la naturaleza del material y su uso propuesto, el tratamiento óptimo para la elaboración de envases desechables sería el tratamiento uno, con el mayor promedio entre los tratamientos tamizados, pero manteniendo una rápida absorción de agua. Lo que permitiría que el envase pueda exponerse al agua y no se deshaga de inmediato.

### **Tabla 8**

*Resultados de la prueba Tukey 5% permeabilidad*

Tratamientos	Medias	Grupos
3	13,6	A
1	5,2	B
2	2,2	BC
4	2,2	BC
5	1,8	C

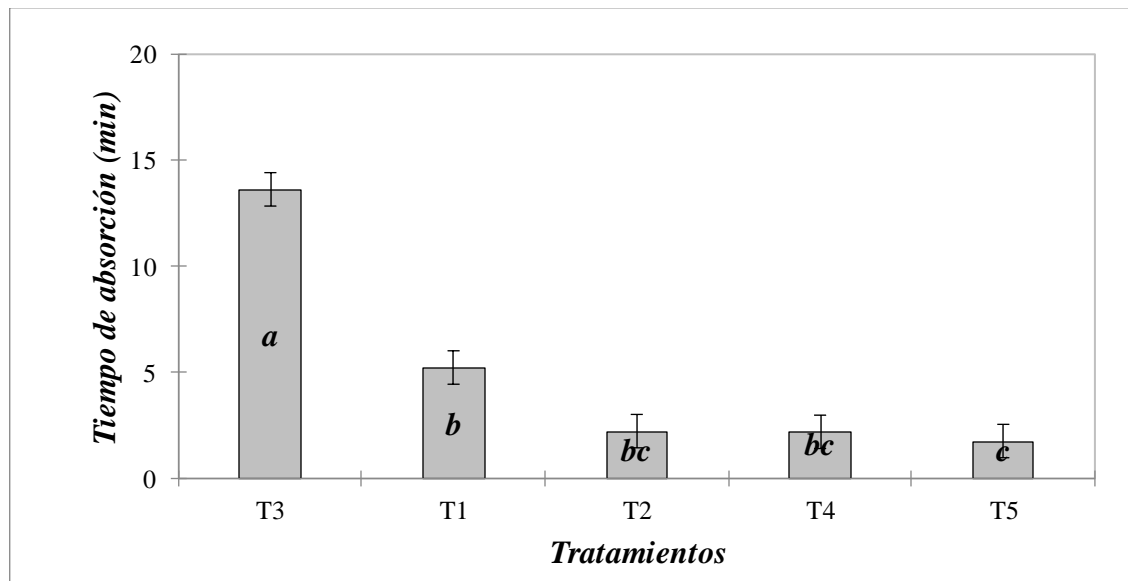
*Nota.* Grupos de los tratamientos sometidos a la prueba de permeabilidad.

Con la prueba Tukey 5% se verificó que el tratamiento 3 obtuvo el mejor resultado en la prueba de permeabilidad, resistiendo mayor tiempo antes de la absorción de la gota de agua.

El tratamiento tres que constaba de la misma composición del tratamiento uno, pero sin tamizar, tuvo una diferencia significativa.

**Figura 10**

*Gráficos de las medias de permeabilidad*



*Nota.* Medias de permeabilidad obtenidas en los tratamientos y clasificación Tukey 5%.

De acuerdo a los resultados de la prueba de Tukey al 5% (figura 10), se puede establecer que existen cuatro rangos de significancia. El mejor resultado en la variable de permeabilidad se presentó con el tratamiento 3 (70% de bagazo de caña + 30% de cáscara de yuca y fécula de maíz, sin proceso de tamizaje) rango A, pues requiere para la absorción de 13,3 min en promedio. Seguidamente tenemos al tratamiento 1 (70% de bagazo de caña + 30% de cáscara de yuca y fécula de maíz, con proceso de tamizaje) rango B, en esta mezcla la absorción de agua se presenta en 5,2 min. En un tercer rango tenemos a los tratamientos 2 (60% de caña + 40% yuca + fécula de maíz) y 4 (60% de caña + 40% yuca + acetato) rango BC con un tiempo de absorción 2,2 min. Finalmente el tratamiento con más rápida absorción de agua es el tratamiento 5 (60% de caña+40% yuca + fécula de maíz + acetato) rango C que necesita solo 1,8 min para la absorción de agua.

### 5.3 Prueba de dureza

**Tabla 9**

*Resultados de la Prueba de dureza en Shore A (Ha)*

<b>Tratamiento</b>	<b>Medias</b>
T1	85,9
T5	84
T2	83
T3	83
T4	82,2

*Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba de dureza aplicada a las muestras.*

En este resultado se observó que los tratamientos se mantuvieron en un rango de dureza adecuado para medirse en Shore A, pues tienen valores menores a 90. Siendo el tratamiento 1 el que obtuvo mayor promedio de dureza, lo que nos indica que la proporción de 70% bagazo de caña y 30% de cáscara de yuca con fécula de maíz como aglomerante es la mejor para realizar el biopolímero con respecto de la dureza medida en Shore A.

**Tabla 10**

*Resultados prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)*

W	0,945
Valor-p (bilateral)	0,45
Alfa	0,05

*Signification codes: 0 < "\*\*\*\*" < 0.001 < "\*\*\*" < 0.01 < "\*\*" < 0.05 < "." < 0.1 < " " <*

*Nota.* La tabla indica si los resultados tienen normalidad o carecen de ella.

Interpretación de la prueba:

H0: Los residuos siguen una distribución Normal.

Ha: Los residuos no siguen una distribución Normal.

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula  $H_0$ . Esto quiere decir que existe normalidad en los resultados y no existen valores con diferencias grandes en los valores.

**Tabla 11**

*Resultados ANOVA dureza*

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>F</i>	<i>Pr &gt; F</i>	<i>p-values signification codes</i>
<i>Total corregido</i>	14	27,909				
<i>Error</i>	10	2,927	0,293			
<i>Tratamiento</i>	4	24,983	6,246	21,341	<b>&lt;0,0001</b>	<b>***</b>
<i>Promedio (Ha)</i>	83,607					
<i>CV(%)</i>	0,647					

*Códigos de significancia: 0 < \*\*\* < 0.001 < \*\* < 0.01 < \* < 0.05 < . < 0.1 < ° < 1*

*Nota.* El análisis ANOVA indica si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

La prueba del análisis de varianza (tabla 11), establece que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos. El tiempo promedio en la variable de dureza de los tableros de los diferentes tratamientos es de 83,607 Ha. El coeficiente de variación de esta variable se encuentra en el orden del 0,647 %, lo que demuestra una baja variación respecto del promedio debido a la naturaleza de los materiales utilizados en la fabricación de los tableros.

El valor F indica que hay una diferencia significativa entre al menos dos de los tratamientos evaluados. El valor p asociado es un bajo, lo que indica que la probabilidad de obtener un valor F tan grande es extremadamente baja. Por ende, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

Los resultados arrojaron una diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el tratamiento uno, con un promedio de 86,1 Ha (Shore A) el tratamiento con mayor resistencia a la presión aplicada con el durómetro.

Esto puede deberse a la composición del tratamiento número uno que contiene mayor concentración de fibra del bagazo de caña, dando mayor firmeza a la mezcla homogénea. En la investigación de Barreiro y Coronel (2021), se identificó a los tratamientos T4 (25% bagazo de caña y 15% de almidón de yuca), T5 (25% de bagazo de caña y 25% de almidón de yuca) y T6 (25% de bagazo de caña y 35% de almidón de yuca) como los que tuvieron mayor dureza, siendo el T6 el que obtuvo mejores resultados con una dureza de 5,09g de dureza, obtuvo resultados por debajo de los 10g mínimos para biopolímeros a partir de almidón y fibra vegetal, mientras que los resultados obtenidos en esta investigación están por encima de la mínima de 70 Ha de dureza para biopolímeros de fibras vegetales.

Aparte, el tratamiento T5 dio como promedio un total de 83,9 Ha, siendo el segundo tratamiento con mayor resistencia a la prueba de dureza y mostrando que a pesar de tener menor concentración de bagazo de caña en su composición, la mezcla de fécula y acetato le aporta dureza al biopolímero, en comparación con el tratamiento T2, T3 y T4 que arrojaron resultados con promedios inferiores a 84 Ha que vendrían siendo los resultados más bajos de los cinco tratamientos.

Así mismo, Reyna (2018) en su investigación comparativa de dos biopolímeros a base de almidón de papa, determinó que el tratamiento que contenía sólo almidón de papa tuvo un promedio de 9,8 Shore A. Mientras que el tratamiento en mezcla de almidón de papa y goma Xanthán tuvo un promedio de 12 Shore A. Lo que nos indica una diferencia muy significativa entre sus resultados de dureza y los expuestos en esta investigación, esto debido a la falta de material lignocelulósico en la composición de sus tratamientos que le aportan dureza y firmeza al biopolímero.

**Tabla 12**

*Resultados de la prueba Tukey 5% dureza en Shore A*

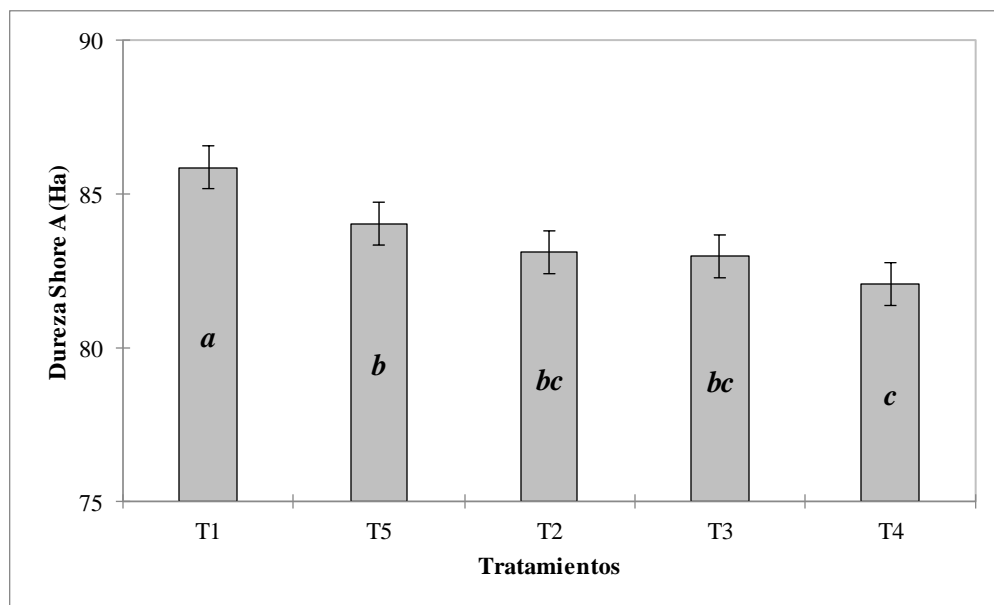
Tratamientos	Medias	Grupos
T1	85,9	A
T5	84,0	B
T2	83,0	BC
T3	83,0	BC
T4	82,2	C

*Nota.* Resultados de la prueba Tukey con la clasificación obtenida en base a las medias.

Con la prueba Tukey 5% se verificó que el tratamiento uno obtuvo el mejor resultado en la prueba de dureza, resistiendo mayor presión del durómetro en el punto de aplicación.

**Figura 11**

*Gráfico de las medias de dureza*



*Nota.* Medias de permeabilidad obtenidas en los tratamientos y clasificación Tukey 5%.

Con la prueba Tukey 5% se verificó que el tratamiento 1 obtuvo el mejor resultado en la prueba de dureza. Con respecto a la investigación de Fuertes (2019), existe una diferencia significativa, aunque mucho menor que en la prueba de permeabilidad. Obteniendo en esta investigación una resistencia máxima de 86,1 Ha con respecto a los 99 Ha que tiene el mejor tratamiento de su investigación, se confirmó que la adición de materiales sintéticos como el Polietileno mejora las características físicas relacionadas con las pruebas mecánicas, pero no cuenta con una biodegradabilidad tan alta como los biopolímeros de material orgánico y biodegradable en su totalidad.

Por último, en base a la normativa ISO 868, que indica la prueba estándar para medir dureza en plásticos, se determinó que el biopolímero tiene una dureza considerable ya que el máximo valor para esta prueba es 100 Ha lo que indica que el material es impenetrable. Siendo el mejor resultado obtenido 86,1 Ha, se evidenció que, en base a este parámetro, el material podría ser utilizado para tableros, macetas para trasplante directo, y con un debido tratamiento de desinfección y asegurando la inocuidad de los alimentos, podría utilizarse como platos para alimentos secos, fácilmente desechables.

#### **5.4 Prueba de compresión**

No se obtuvieron resultados en esta prueba mecánica. Se determinó que el biopolímero desarrollado presenta limitaciones significativas con respecto a su capacidad para someterse a algunas pruebas mecánicas como la de compresión, que se deben realizar bajo una normativa con probetas de dimensiones específicas. Luego de realizar extensas pruebas y análisis, se observó que el material tiene una tendencia a agrietarse al superar los 5mm de grosor.

Este fenómeno debilita significativamente la resistencia y estabilidad del biopolímero bajo carga. Por lo que no sólo imposibilita la realización de este tipo de pruebas de manera efectiva, sino que también genera alteraciones en las condiciones del ensayo y como consecuencia, en los resultados. Esta característica del material nos indica la necesidad de revisar y ajustar los

parámetros de diseño y fabricación, así como considerar alternativas para mejorar considerablemente la cohesión del biopolímero y lograr unas condiciones óptimas para someterse a pruebas de compresión.

De la prueba de tracción tampoco se obtuvo resultados. Se realizaron numerosas pruebas de las probetas, pero ninguna obtuvo un resultado positivo debido a que en el cuerpo de la misma se agrietaba y quebraba. Se aplicó diferentes tratamientos térmicos en estufa, pero no se obtuvo un resultado óptimo para la realización de dicho ensayo.

Por este motivo, se buscó evidenciar que el grosor de la muestra era un factor determinante para obtener un producto final con características positivas, a través de un pequeño ensayo que consistía en realizar láminas para tableros de 6 grosores distintos y ver cómo se comportaba el material bajo esos parámetros de grosor. Ya que los tableros, que tenían un grosor de 3mm no se agrietaban, pero las probetas para tracción y para compresión, sí.

## Figura 12

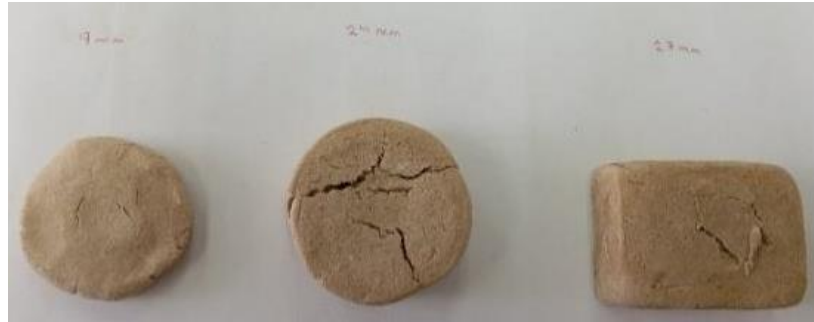
*Láminas de biopolímero dentro del rango de no quiebre.*



*Nota.* La figura sirve para ilustrar los grosores de las láminas de biopolímero sin presentar grietas.

### Figura 13

*Muestras de biopolímero dentro del rango de quiebre*



*Nota.* La figura sirve para ilustrar los grosores de las láminas de biopolímero con grietas.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

- La investigación demostró que la mezcla del bagazo de caña con la cáscara de yuca es una materia prima apta para utilizarse en la elaboración de biopolímeros, ya que se obtuvieron valores de dureza con un máximo de 86,7 Ha de 100 Ha totales, y una permeabilidad máxima de 15,1 minutos, lo que indica que es un material que presenta firmeza y resistencia al contacto; sin embargo, debe indicarse que es de rápida descomposición en contacto con líquidos.
- El biopolímero puede ser procesado sin problema alguno para crear tableros de máximo 6mm de grosor y darle la forma requerida, pudiendo utilizarse para bandejas, cajas o para platos siempre que se aplique un proceso de desinfección, asegurando la inocuidad y seguridad de su uso. Con base en los resultados se estima que un grosor superior va a producir grietas en el material, debilitándolo y afectando su estabilidad y su aspecto.
- Los resultados sugieren que el biopolímero propuesto en la investigación podría utilizarse como alternativa sostenible a los envases de plástico de un solo uso tradicionales, en algunas aplicaciones como, por ejemplo, contenedores para siembra o trasplante directo al suelo. Esto evitaría el uso de fundas y macetas plásticas que se desechan con cada trasplante, aparte de que los nutrientes que contiene el material y las bacterias que degradan el biopolímero pueden mejorar las condiciones del suelo. Tiene dureza suficiente para crear un envase capaz de contener una plántula en crecimiento, y posee un bajo tiempo de degradabilidad, por lo que no afectaría al crecimiento radicular de la planta.
- En base a los resultados obtenidos se determinó que la hipótesis presentada en esta investigación sí se cumple. El material lignocelulósico del bagazo de caña y la cáscara de yuca en mezcla es viable para la elaboración de un biopolímero apto para emplearse en la creación de envases desechables.

## CAPÍTULO VII

### RECOMENDACIONES

- Realizar en futuras investigaciones la prueba de permeabilidad bajo condiciones diferentes de humedad y temperatura para identificar su comportamiento y evaluar si es viable el desarrollo del biopolímero en diferentes condiciones, sobre todo la humedad, ya que puede afectar directamente en la dureza del material si resulta ser un material higroscópico.
- Incorporar algún biopolímero como el Ácido Poliláctico (PLA) que se obtiene de la fermentación con ácido láctico de los azúcares de productos orgánicos como la remolacha y evaluar si mejora la dureza y la estabilidad de la mezcla, siempre y cuando se utilicen productos que se asegure la biodegradabilidad de los mismos.
- Se sugiere promover la investigación en biopolímeros con material orgánico con el fin de aumentar el conocimiento de la línea de investigación, así como buscar la mejora continua de su producción e innovación y generar propuestas concretas para mitigar los impactos ambientales producidos en la industria productora de plásticos.
- Se evidenció la necesidad de continuar las investigaciones sobre los componentes de la mezcla para lograr la optimización de su procesamiento y evaluar si se puede llevar a gran escala y desarrollarlo en una industria.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaya, A. y Bautista, C. (2020). *Alternativas de materiales de envases biodegradables para la disminución del plástico en una cadena de café premium*. [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Gerencia de Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/25115>

Andino, G. y Cano, M. (2011). *Implementación y control técnico científico de un equipo de comprobación de laboratorio para durezas superficiales*. [Tesis de Grado para la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/753/1/T-UIDE-0688.pdf>

Arguello, A. y Torres, K. (2021). *Diseño y construcción de un equipo de moldeo térmico para la elaboración de platos biodegradables a partir del bagazo de la Caña de azúcar (Saccharum officinarum)*. [Trabajo de titulación para optar al grado académico de Ingeniero Químico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14994/1/96T00645.pdf>

Asociación Española de Normalización [UNE] (2012). *UNE -EN ISO 527-2:2012 Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 2: Condiciones de ensayo de plásticos para moldeo y extrusión*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0050308>

Barreiro, F. y Coronel, A. (2021). *Bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y almidón de yuca (Mianihot esculenta) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables*. [Informe de trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero

Agroindustrial, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1402/1/TTAI10D.pdf>

Bayona Buitrago, C. A., Cepeda, M. F y León Castrillo, L. C. (2023). Aprovechamiento de los subproductos agroindustriales de la cadena productiva de la yuca (*Manihot esculenta*): Una revisión. *I Revistas Científicas Indexadas Acta @Limentech, Ciencia, Tecnología y Alimentación*. Vol. 20, Nro. 1. <https://doi.org/10.24054/limentech.v20i1.1658>

Bazá, O y Carranza, R. (2021). Producción de biopolímeros de residuos lignocelulósicos usando microorganismos. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69424>

Briones, S. y Riera, M. (2020). Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos. *Avances en Química*. Vol. 15(1), 3-11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7452718>

Calderón, A. y Castillo, G. (2022). *Elaboración de bolsas de plástico biodegradable a base del almidón de papa (Solanum tuberosum L.) Variedad Superchola, ESPAM MFL*. [Informe de trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. [https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1905/1/TIC\\_IA26D.pdf](https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1905/1/TIC_IA26D.pdf)

Chacha, A. y Chiluisa, P. (2023). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la obtención de envases biodegradables*. [Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros Ambientales, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10564/1/PC-002657.pdf>

Espinoza, G. (2020). Elaboración de un Biopolímero para uso agroindustrial a partir de suero de leche. [Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero

Agroindustrial y de Alimentos, Universidad De Las Américas (UDLA)].  
<https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12183/1/UDLA-EC-TIAG-2020-10.pdf>

Fuertes, V. (2019). *Elaboración de tableros lignocelulósicos a base de bagazo de caña de azúcar y plásticos reciclados (PET y LDPE)*. [Tesis para obtener el título de Ingeniería en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, Pontificia Universidad Católica de Ecuador sede Ibarra].

Gaitán, E. y Roper, J. (2021). *Planteamiento para el desarrollo de platos biodegradables a base de cascarilla de cacao*. [Trabajo de grado, Universidad EAEN, Bogotá].  
<https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10903/GaitanEva2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, L., Novoa, J., Franco, A e Higueta, L. (2015). Estudio de la síntesis de biopolímeros de origen microbiano. *QUID: Investigación, Ciencia y Tecnología*, Nro. 25.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5278488>

Hernández Sampieri, R. y Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Editorial Mc Graw Hill Education.

Huacán, I. y Tintaya, N. (2023). *Elaboración de platos biodegradables a partir de hojas de Persea americana, Arequipa 2023*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental, Universidad César Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112197>

IND Industrias (25 de febrero de 2022). La industria plástica ecuatoriana y su impacto en los encadenamientos productivos. *Revista Industrias*. <https://revistaindustrias.com/la-industria-plastica-ecuadoriana-y-su-impacto-en-los-encadenamientos-productivos/>

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2009). *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 488:2009. Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista*. <https://www.docsity.com/es/norma-ecuatoriana-inen-1/10091899/>

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2013). *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 074:2013 Metodología para la exposición de plásticos que se degradan en el ambiente mediante procesos térmicos, de Foto-Oxidación y/o Biodegradación*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-074.pdf>

International Organization for Standardization [ISO] (2003). ISO 868:2003 Plastics and ebonite — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness). <https://www.iso.org/standard/34804.html>

Jiménez Molina, M. (2023). *Desarrollo de un modelo de economía circular para la industria de plásticos reciclables en el cantón Latacunga*. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Gestión Ambiente con Mención en Desarrollo Sostenible, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10659/1/MUTC-001602.pdf>

Lema, D. (2023). Estudio de mezclas de mortero de cal, con adición de Chamota. [Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniera Civil, Universidad Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24943/1/CD%2013646.pdf>

Lumivero-Software Solutions for Data Analysis & Management (2024). XLSTAT Software Estadístico Excel. <https://www.xlstat.com/es>

Mandeville, P. (2012). Tema 28: Diseños experimentales. *Revista Ciencia UANL*, vol. 15, núm. 57, enero-marzo, pp. 151-155. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40223164022.pdf>

Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2021). *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos#:~:text=El%20informe%20destaca%20que%20el,y%2037%20millones%20de%20toneladas>.

Plaza, A. (2017). *Maceteros biodegradables de residuos de flores*. [Tesis presentada para optar al título profesional de Diseñador, Pontificia Universidad Católica de Chile]. [https://diseno.uc.cl/memorias/pdf/memoria\\_dno\\_uc\\_2017\\_2\\_PLAZA\\_BUSTAMANTE\\_A.pdf](https://diseno.uc.cl/memorias/pdf/memoria_dno_uc_2017_2_PLAZA_BUSTAMANTE_A.pdf)

Poggio, F., Ciannamea, E., Castillo, L. y Barbosa, S. (2016). Desarrollo de recipientes activos y biodegradables para cultivos agrícolas. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 7(2), 17-25. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=323646310003>

Rojas, K., Paredes, Y. y Gómez, B. (2021). *Green Eye: Productos Descartables hechos a base de bagazo de caña de azúcar*. [Trabajo de investigación para optar el grado académico de: Bachiller en Marketing y Administración, Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1774>

Quiroz, F., Saltos, P., Aldás, M. y Chango, J. (2015). Reciclaje de Poliestireno Expandido por el Método de Disolución Precipitación. *Revista Politécnica*, Vol. 36 (2), 80.

Reyna, H. (2018). Comparación De Dos Biopolímeros, Uno A Base De Almidón De Papa Y Otro A Base De Almidón De Papa Y Goma Xantán. [Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Química Farmacéutica, Universidad De San Carlos Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/QF1498.pdf>

Rivadeneira, E. Rodríguez, J. Monserrat, L. (2017). *Toxicidad de la yuca (Manihot esculenta Crantz: Estudio con linamarina)*. Editorial Académica Española. [https://www.uv.mx/qfb/files/2020/10/2017-L-Toxicidad-de-la-yuca\\_Eduardo-Rivadeneira-Dominguez.pdf](https://www.uv.mx/qfb/files/2020/10/2017-L-Toxicidad-de-la-yuca_Eduardo-Rivadeneira-Dominguez.pdf)

IND Industrias (25 de febrero de 2022). La industria plástica ecuatoriana y su impacto en los encadenamientos productivos. *Revista Industrias*. <https://revistaindustrias.com/la-industria-plastica-ecuatoriana-y-su-impacto-en-los-encadenamientos-productivos/>

United Nations Environment Programme [UNEP] (2022). *Plastics in agriculture – an environmental challenge*. Plastics Europe: Enabling a sustainable future. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>

Vega Ramos, J. (2022). *Obtención de platos biodegradables a partir de cascarilla de arroz (Oryza sativa) y bagazo de caña (Saccharum officinarum)*. [Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8375/TAI00211V39.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Villar, N. (2021). Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinua. [Trabajo Fin de Máster Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/175400/Villar%20-%20Propiedades%20fisicas%20funcionales%20y%20quimicas%20de%20harina%20obtenida%20a%20partir%20de%20semillas%20de%20qu...pdf?sequence=1>

## ANEXOS

### Anexo 1. Preparación del material para realizar las mezclas

<p><b>Figura 1.</b> Tamizado de materia prima (1 de mayo de 2024)</p>	<p><b>Figura 2.</b> Pesado del almidón (1 de mayo de 2024)</p>
	
<p><b>Figura 3.</b> Pesado del Bagazo (1 de mayo de 2024)</p>	<p><b>Figura 4.</b> Primeras pruebas de las mezclas</p>
	

## Anexo 2. Elaboración Probetas de las pruebas mecánicas

<p><b>Figura 1.</b> Probetas de prueba de compresión</p>	<p><b>Figura 2.</b> Probetas de prueba de compresión agrietadas</p>
	
<p><b>Figura 3.</b> Probeta para prueba de tracción fresca</p>	<p><b>Figura 4.</b> Probetas de prueba de tracción rotas</p>
