ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

OBTENCIÓN DE MATERIAL COMPUESTO BIODEGRADABLE CON FIBRAS NATURALES EMPLEANDO ALMIDÓN DE ACHIRA PARA PRODUCTOS DE UN SOLO USO

MATERIAL COMPUESTO BIODEGRADABLE A BASE DE ALMIDÓN DE ACHIRA POLIMERIZADO CON ACIDO CÍTRICO Y PROTEINA DE LACTOSUERO REFORZADO CON FIBRA DE COCO

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

SASIG ANDRADE ANDREA ELIZABETH

andrea.sasig@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. SOTOMAYOR GRIJALVA MARÍA VERÓNICA, MSc.

veronica.sotomayor@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, ANDREA ELIZABETH SASIG ANDRADE declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

ANDREA ELIZABETH SASIG ANDRADE

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ANDREA ELIZABETH SASIG ANDRADE, bajo mi supervisión.

ING. MARÍA VERÓNICA SOTOMAYOR GRIJALVA, MSC.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ANDREA SASIG
ING. VERÓNICA SOTOMAYOR
ING. SANTIAGO CAMACHO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis hermanos Ana y Gabriel por su cariño y apoyo durante mi corta vida, a mi padre por realizar su mayor esfuerzo para sacarnos adelante.

A mis todos amigos por su apoyo y comprensión, a mi amigo Josué por enseñarme que el aprendizaje constante nunca agota la mente.

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a mi tutora M.Sc. Verónica Sotomayor, por su paciencia, predisposición, apoyo y guía durante el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento al Ing. Santiago Camacho, técnico del Laboratorio de Ensayos No Destructivos por compartir su conocimiento y experiencia que fue un aporte fundamental para cumplir con el presente trabajo.

Además, agradecer al personal de la Facultad de Ingeniería Mecánica del laboratorio de Ensayos No Destructivos y del laboratorio de Nuevos Materiales y al personal de la Facultad de Ingeniería Química del Laboratorio de Operaciones Unitarias, por su contribución con la realización de las pruebas respectivas del material desarrollado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA II
DEDICATORIA III
AGRADECIMIENTO IV
ÍNDICE DE CONTENIDO V
RESUMEN VII
ABSTRACT VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO 1
1.1. Objetivo general 2
1.2. Objetivos específicos 2
1.3. Alcance 2
1.4. Marco teórico 3
Producción de Achira en Ecuador 3
Características de la Achira 3
Almidón de Achira 4
Obtención del almidón 5
Materiales compuestos biodegradables 7
Tipos de materiales 8
Tiempo de degradación 10
Aplicaciones 10
Fibras Naturales 10
Tipos de fibras y sus características 10
Fibra de coco 12
2. METODOLOGÍA 13
2.1. Obtención del almidón de achira 13
2.2. Procesamiento y análisis de las fibras naturales 13
2.3. Obtención de la matriz polimérica 14
2.4. Obtención del material compuesto 16
2.5. Obtención del prototipo del material compuesto 18
2.6. Probetas 20
2.7. Pruebas mecánicas basadas en parámetros estandarizados 21
2.8. Pruebas de biodegradabilidad basadas en documentos estandarizados 23
2.9. Pruebas varias 25
2.10. Factibilidad de industrialización 28

Estudio de mercado 28
Estudio técnico 29
Análisis Económico 31
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34
3.1. Resultados 34
Pruebas mecánicas basadas en parámetros estandarizados 34
Pruebas de biodegradabilidad basadas en parámetros estandarizados 34
Pruebas varias 35
Comparación entre componentes prácticos 38
3.2. Conclusiones 39
3.3. Recomendaciones 41
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42
5. ANEXOS 45
ANEXO I. Diseño de Experimentos (DoE) de matriz polimérica 46
ANEXO II. Resultados de la prueba de tracción – Probeta 1 47
ANEXO III. Resultados de la prueba de tracción – Probeta 2 48
ANEXO IV. Resultados de la prueba de tracción – Probeta 3 49

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la obtención de un material biodegradable. La composición para la matriz polimérica a base de almidón de achira, es realizada de manera experimental, por medio de un análisis DOE en el que se obtuvo 32 resultados de posibles combinaciones, se realizaron los 32 experimentos y se seleccionaron 4 muestras que presentaban mejor comportamiento.

La fibra de coco fue obtenida de productores artesanos en presentación de hilos largos, por lo que fue necesario procesarla en un molino de cuchillas que emplea corte y cizallamiento para fragmentar la fibra, después la fibra fue separada y clasificada por medio de un tamizador con diferente número de tamices (16, 18, 20, 140 y 270), se selecciona la fibra del tamiz 20. Para realizar el material compuesto se obtiene la matriz polimérica de almidón y a esta se adiciona el 5% de peso total de la mezcla en fibra de coco, las muestras obtenidas se curan a temperatura ambiente y se selecciona la muestra más óptima con la cual se obtiene la composición definitiva para el material. Se reduce el tiempo de curado del material colocando las muestras en una mufla eléctrica a 120°C y se finaliza recubriendo la superficie con una capa de matriz polimérica para un mejor acabado superficial, con este procedimiento se realizan varias probetas y prototipos de platos desechables.

Finalmente se realizan pruebas basadas en parámetros estandarizados con el fin de determinar la resistencia del material y el comportamiento del mismo ante diferentes situaciones.

PALABRAS CLAVE: Biodegradable, matriz polimérica, almidón de achira, fibra de coco, platos desechables.

ABSTRACT

In the present work, the obtaining of a biodegradable material is carried out. The composition for the polymeric matrix based on achira starch is carried out experimentally, by means of a DOE analysis in which 32 results of possible combinations were obtained, 32 experiments were carried out and 4 samples that presented better behavior were selected.

The coconut fiber was obtained from artisan producers in the presentation of long threads, so it was necessary to process it in a blade mill that uses cutting and shearing to fragment the fiber, then the fiber was separated and classified by means of a sieve with different number of sieves (16, 18, 20, 140 and 270), the fiber from sieve 20 is selected. To make the composite material, the polymer matrix of starch is obtained and 5% of the total weight of the fiber mixture is added to it. of coconut, the samples obtained are cured at room temperature and the most optimal sample is selected with which the definitive composition for the material is obtained. The curing time of the material is reduced by placing the samples in an electric muffle at 120°C and it is finished by covering the surface with a layer of polymeric matrix for a better surface finish, with this procedure several test tubes and prototypes of disposable dish are made.

Finally, tests based on standardized parameters are carried out in order to determine the resistance of the material and its behavior in different situations.

KEYWORDS: Biodegradable, polymeric matrix, achira starch, coconut fiber, disposable dish.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La elevada contaminación ambiental por plásticos es un problema que existe a nivel mundial, según estadísticas proporcionadas por noticias de la ONU en 2021, el 70% del plástico es arrojado a océanos y vertederos y el 12% es quemado, lo cual perjudica al ambiente dado que dependiendo del tipo de plástico tarda entre 100 y 1000 años en descomponerse, y ciertos plásticos nunca se descomponen, solo se fragmentan en piezas pequeñas que continúan contaminando (López, et al, 2020). Los plásticos son los materiales más utilizados en el mercado por efecto de su bajo costo, principalmente durante la pandemia por el brote del virus Covid-19 se ha elevado el consumo de plásticos en productos como mascarillas, guantes, insumos médicos, empaques de alimentos, etc.

Los plásticos de un solo uso representan el 50% de los plásticos fabricados a nivel mundial (Ponce & Zambrano, et al, 2019), razón por la que los países establecen normativas que regulan su uso y establecen un manejo adecuado al desecharlos. En acción a la problemática, el Municipio de Quito junto con la Comisión Ambiental de la ciudad implementaron una ordenanza para la “prohibición de plásticos de un solo uso”, la cual fue aprobada el 20 de abril del 2021. (Ordenanza Metropolitana No. 022 – 2021).

Los materiales biodegradables han sido presentados como alterativa para reemplazar el plástico, la ventaja de estos materiales es que se pueden elaborar a partir de almidones, fibras naturales, raíces, y demás recursos naturales que por lo general son desechados o tienen poco uso. Estos productos al ser desechados se degradan sin afectar al medio ambiente e incluso sirven como fertilizantes. También cabe recalcar que requieren un procesamiento similar y utilizan los mismos equipos y mecanismos para ser obtenidos. (Juárez, 2022)

En respuesta a esta gran problemática se ha planteado el presente proyecto con la finalidad de reducir el consumo del plástico y generar un beneficio ambiental. El Ecuador es un con gran biodiversidad, por lo que resulta sencillo conseguir la materia prima para realizar materiales biodegradables, y a su vez se genera oportunidades a las comunidades indígenas que comercializan esta materia prima proveniente de sus cultivos.

El almidón no es un polímero termoplástico, pero puede convertirse en un termoplástico con cierto procesamiento, pero presenta una desventaja, que posee menor resistencia mecánica en comparación con otros polímeros sintéticos, por ello se refuerza el material con fibras naturales del 5% al 30% en peso del total de la matriz, de esta manera el material se vuelve más estable, disminuye la absorción de humedad y evita que se recristalice el almidón. (Barrios, et al, 2014)

1.1. Objetivo general

Obtener un material compuesto biodegradable con fibras naturales empleando almidón de achira para productos de un solo uso.

1.2. Objetivos específicos

1. Recopilar información del estado del arte.
2. Definir las características de procesamiento del almidón de achira y obtención del material compuesto de este estudio.
3. Elaborar el material compuesto biodegradable.
4. Evaluar las propiedades mecánicas y de degradabilidad del material estudiado por medio de pruebas basadas en documentos estandarizados.
5. Determinar los requerimientos fundamentales para el procesamiento del material compuesto.
6. Analizar la factibilidad de industrializar el material obtenido.

1.3. Alcance

En el presente trabajo está enfocado en la obtención de un material compuesto biodegradable reforzado con fibra natural, el mismo que será sometido a ensayos mecánicos para determinar sus propiedades y características. El material obtenido será empleado para la fabricación de productos desechables con el propósito de reducir la contaminación ambiental por plásticos.

1.4. Marco teórico

Producción de Achira en Ecuador

La achira es una planta nativa de américa latina, que se encuentra distribuida desde México hasta el norte de Chile, en la figura 1 se muestra esta planta, la cual es de naturaleza ornamental por sus flores y se encuentra libre de plagas y enfermedades por lo que su cultivo masivo resulta factible en las condiciones adecuadas. (Duarte, 2018)

El cultivo de la achira se da en el páramo de Imbabura, Carchi y Loja. En la parroquia Jimbura, del cantón Espíndola, en la provincia de Loja, en 200 m2 se siembran 100 plantas de achira, de las cuales se obtiene un quintal de almidón de las raíces de la planta, además la hoja es utilizada para envolver ciertos alimentos y cocerlos. (El Comercio, 2009)

Figura 1. Planta de Achira. Fuente: Millán, 2021

Características de la Achira

Las hojas de la Achira pueden medir de 30 a 80 cm de largo y de 10 a 30 cm de ancho son de color verde y poseen una nervadura central prominente. Las flores se encuentran en racimos que brotan del tallo aéreo, principalmente son de color rojo, pero en cultivos ornamentales se presentan flores de color morado, amarillo, rojo y combinadas como se puede ver en la figura 2. El fruto que se obtiene de esta planta es una cápsula que posee varias semillas en su interior. Los rizomas subterráneos (figura 3) presentan raíces pequeñas y blancas, estos rizomas varía de 5 a 15 cm de largo y de 4 a 10 cm de ancho, presentan una corteza fuerte y el interior suave y con gran cantidad de almidón. (Rodríguez, 2003)

Figura 2. Flor de Achira. Fuente: Millán, 2021

Figura 3. Rizoma de Achira. Fuente: Millán, 2021

Almidón de Achira

El almidón se obtiene de los rizomas de la achira que se encuentran en la base de la planta, este almidón presenta un alto contenido de amilosa lo cual le proporciona una alta resistencia a la esterilización en comparación con otros almidones. (Ribera, 2006)

Según menciona Ana Robayo, “El departamento de nutrición del Iniap ha determinado que por cada 100 gr de raíz seca de achira se obtiene: 81,69% de humedad, 4,29% de proteína, 80,80% de carbohidratos, 60,47% de almidón, 30% de zinc, 3,95% de azúcares, 2,04% de grasa, (ug/g) 14,00 de cobre y (ug/g) 51,00 de hierro”. (El Comercio, 2009)

El almidón resulta ser la materia prima agrícola más común para realizar películas biodegradables y comestibles, esto debido a que presenta gran disponibilidad, bajo costo, buen desempeño y alta compatibilidad con polímeros biodegradables como PCL o PLA. (Versino, 2017)

Obtención del almidón

El proceso para obtener el almidón es el siguiente:

Cosecha: La recolección de los rizomas de la achira como se muestra en la figura 4, se debe hacer en el momento adecuado lo cual depende de la variedad de planta (venidera o precoz), es recomendado hacer la cosecha a los 10 meses y en temporada seca. Luego se elimina el follaje para extraer los rizomas de la tierra, para posteriormente limpiarlos y despojarlos de pequeñas raíces y escamas para no afectar a la calidad del almidón. (Rodríguez, 2003)

Figura 4. Cosecha y follaje de Achira. Fuerte: Rodríguez, 2003

Lavado: Los rizomas tienen que someterse a un proceso de lavado con agua, el cual se puede observar en la figura 5, para remover totalmente las impurezas que puedan tener se realiza un proceso de agitado.

Figura 5. Lavado de rizomas. Fuerte: Rodríguez, 2003

Rallado o licuado: El rallado o licuado de los rizomas se realiza para romper las paredes celulares y liberar el almidón contenido. (Rodríguez, 2003). Este proceso se puede realizar de manera manual o mecánica como se observa en la figura 6.

Figura 6. Rallador mecánico. Fuerte: Rodríguez, 2003

Tamizado: Para el tamizado se utiliza una malla de tela fina y resistente que es soportada por una malla (figura 7), después se coloca poco a poco la masa de rizoma rallado mientras se ejerce presión adicionando un poco de agua, de esta manera se separa el afrecho del almidón en suspensión en el agua. Finalmente, la mezcla obtenida se deja sedimentar por un par de horas. (Rodríguez, 2003)

Figura 7. Tamizado manual. Fuerte: Rodríguez, 2003

Lavado de almidón: Para obtener un almidón de buena calidad este debe estar libre de impurezas. Para lavar el almidón de añade agua y se remueve para romper bloque de almidón sedimentado, luego se deja reposar por una hora para sedimentar nuevamente el almidón y el agua es desechada, este proceso se repite 6 a 7 veces hasta que el almidón quede limpio y el agua desechada casi transparente. (Rodríguez, 2003). En la figura 8 se muestra un lavado óptimo del almidón de achira.

Figura 8. Lavado de almidón. Fuerte: Rodríguez, 2003

Secado del almidón: El secado del almidón es necesario para eliminar parte de la humedad del proceso anterior, para lo cual se extiende sobre un plástico y se deja expuesto al sol, como muestra la figura 9. Este proceso dura de 3 a 4 día dependiendo de la temperatura del ambiente y la humedad del aire. (Rodríguez, 2003)

Figura 9. Secado de almidón. Fuerte: Rodríguez, 2003

Almacenamiento: Una vez obtenido el almidón seco es desterronado y empacado, para almacenarlo se debe conservar en empaques herméticos y en un lugar seco con humedad inferior al 17%, en estas condiciones puede ser conservado hasta por tres años. (Rodríguez, 2003)

Materiales compuestos biodegradables

Existen variedad de materiales compuestos naturales y sintéticos que debido a su fácil producción y resistencia son utilizados para varias aplicaciones industriales. La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y los residuos plásticos ha incentivado la producción de materiales biodegradables que reemplacen en su gran mayoría a los plásticos convencionales.

Los bioplásticos son materiales poliméricos derivados de fuentes renovables, por lo que

han tenido un crecimiento aproximado de 17,5% anual debido a sus diversas aplicaciones y a políticas gubernamentales que promueven a utilizar productos amigables con el medio ambiente. (Versino, 2017)

El uso de almidón para materiales compuestos está basado en la biodegradabilidad y sustentabilidad de los mismos que al combinarlo con fibras naturales como refuerzo se obtiene un material compuesto con buena resistencia. (Versino, 2017)

Tipos de materiales

Los materiales poliméricos tienen una amplia clasificación que se presenta en la figura 10, entre la cual se puede distinguir a los bioplásticos.

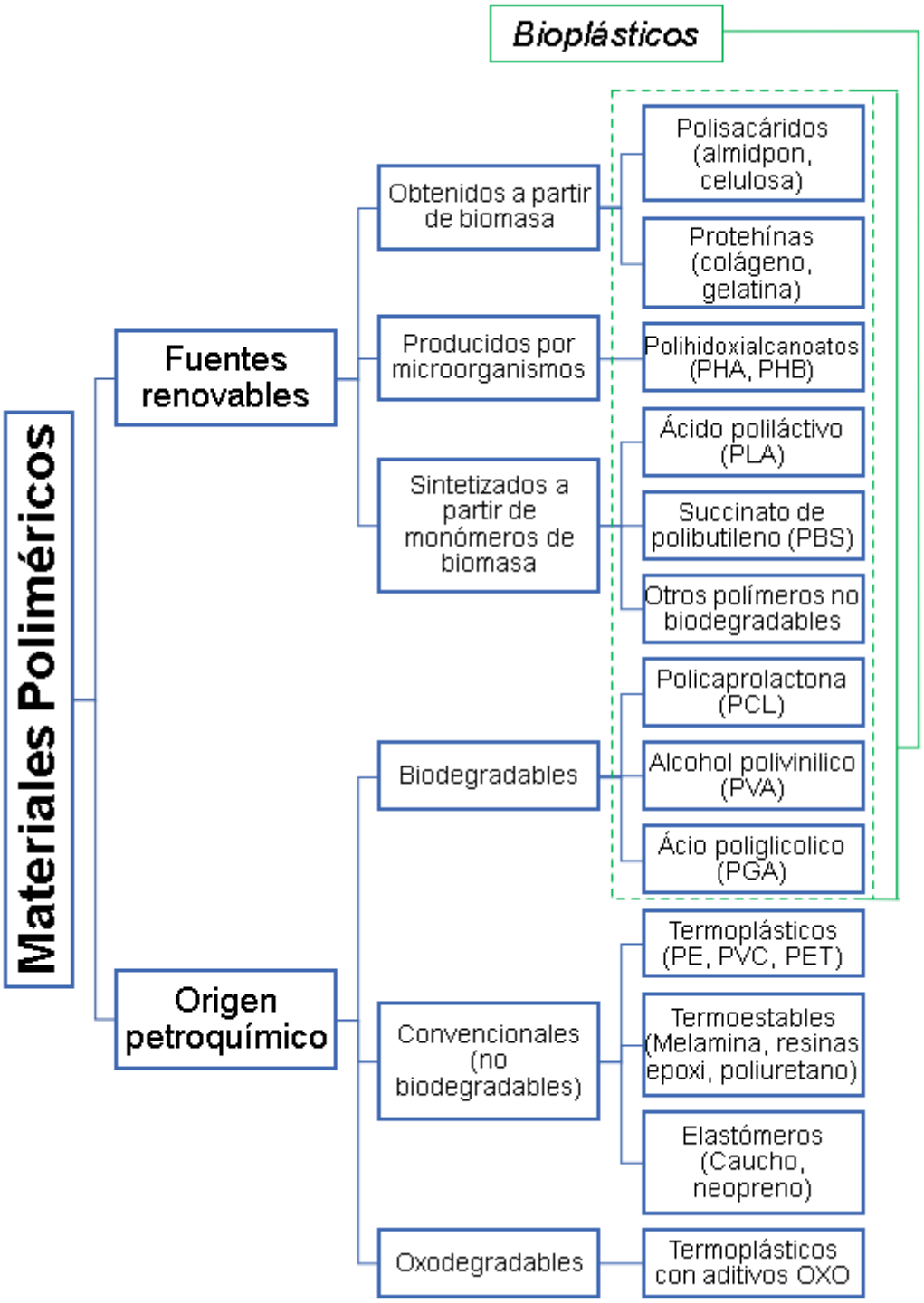


Figura 10. Clasificación de materiales poliméricos. Fuente: (Versino, 2017)

Los bioplásticos son materiales que se descomponen a compuestos inorgánicos o biomasa por acción enzimática de microorganismos, por lo que existen bioplásticos a partir de fuentes renovables y también de origen petroquímico. En cambio, los materiales oxobiodegradables también atraviesan una degradación acelerada, pero es debido a la incorporación de aditivos prodegradantes los cuales los hacen sensibles a la radiación solar y temperatura. (Versino, 2017)

Tiempo de degradación

El tiempo de degradación de estos materiales biodegradables por lo general abarca un tiempo menos a seis meses, este tiempo varía dependiendo de la composición de cada material, la biodegradabilidad de estos materiales se evalúa por medio de normas internacionales entre estas están: ASTM D6400, ASTM D5988 y ASTM D5338; EN 13432; ISO 17556 e ISO 14855. (Versino, 2017)

Aplicaciones

Debido a que la protección del medio ambiente y recursos naturales resulta de gran importancia tanto en países desarrollados como en países subdesarrollados, las aplicaciones para este tipo de materiales son amplias. La principal aplicación es para la obtención de envases de un solo uso, dado que ahí se encuentra la mayor contaminación por parte de plásticos convencionales.

Otras aplicaciones para estos materiales son en la industria de la construcción, farmacéutica, estructural, biomédica, agrícola, etc.

Fibras Naturales

En comparación con fibras sintéticas, las fibras naturales tienen varias ventajas como bajo costo, gran disponibilidad, baja densidad, buena resistencia, biodegradabilidad y son obtenidas de fuentes renovables. (Versino, 2017)

Los tratamientos con fibras vegetales son menos peligrosos comparados y la energía necesaria para producirlas es en promedio menos de la mitad de la necesaria para producir fibras convencionales. (Mazón, 2017)

Tipos de fibras y sus características

Las fibras naturales son clasificadas según du origen animal, vegetal o mineral, como se puede observar en la figura 11, pero las más utilizadas son las fibras vegetales por su disponibilidad y renovabilidad en corto tiempo.

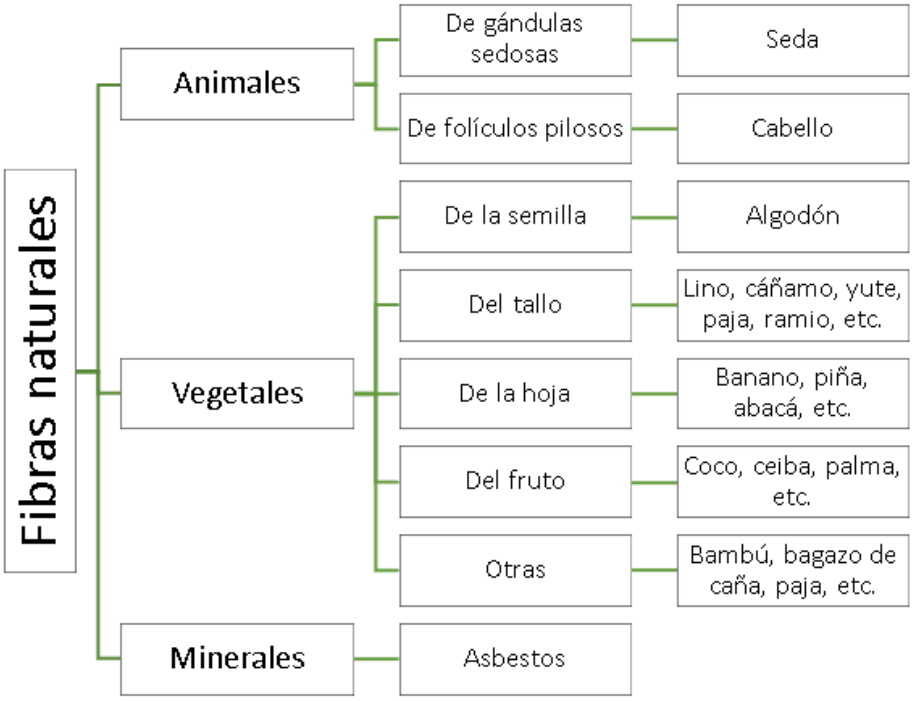


Figura 11. Clasificación de fibras naturales. Velásquez, 2016

La constitución de las fibras vegetales está dada principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, y en su estructura presenta en pequeñas proporciones elementos como proteínas, ceras, resinas y productos inorgánicos. En la tabla 1 se muestra la composición química de las mismas que varía dependiendo de la especie, edad y condición climática a la que está sometida la planta. (Mazón, 2017)

Tabla 1. Composición química de fibras vegetales. Fuente: Mazón, 2017

Fibra	**Celulosa (% peso)**	**Hemicelulosa (% peso)**	**Lignina (% peso)**
Lino	71.2	18 – 20	2.2
Cáñamo	70 – 75	17 – 22	3.7 – 5.7
Yute	61 – 71	13 – 20	8.1 – 13
Kenaf	45 – 57	21	8 – 13
Ramio	68 – 76	13 – 16	0.6 – 0.7
Abacá	63 – 70	20 – 21	5 – 6
Sisal	67 – 78	10 – 14	8 – 14
Algodón	82 – 93	3 – 6	–
Bambú	35 – 61	15	27 – 32
Coco	32 – 43	0.15 – 0.25	40 – 45
Banana	63 – 64	10	5
Formio	71.3	–	–

En la tabla 2 se puede observar una comparación de las propiedades mecánicas de fibras naturales y fibras sintéticas.

Tabla 2. Comparación de propiedades mecánicas de fibras vegetales y sintéticas. Fuente: Mazón, 2017

Fibra	Densidad (g/cm^3)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Vidrio – S	2.5	2000 – 3500	70	2.5	–
Vidrio – E	2.5	4750	86	2.8	–
Aramida	1.4	3000 – 3150	63 – 67	3.3 – 3.7	–
Carbón	1.4	4000	230 – 240	1.4 – 1.8	–
Cáñamo	1.4	690	35	1.6	8
Yute	1.3	393 – 773	26.5	1.5 – 1.8	12
Ramio	1.5	400 – 938	61.4 – 128	3.6 – 3.8	12 – 17
Coco	1.2	175 – 220	4 – 6	15 – 30	10
Sisal	1.5	511 – 635	9.4 – 22	2 – 2.5	11
Abacá	1.3	400 – 1289	45	2.7	8 – 10
Lino	1.5	345 – 1035	27.6	2.7 – 3.2	7
Algodón	1.2	393 – 773	26.5	7 – 8	8 – 25

Fibra de coco

La fibra de coco se obtiene de la corteza del coco por lo que es un subproducto que en algunas ocasiones se lo desecha, sin embargo, debido a su resistencia y durabilidad en varios países se extrae la fibra de coco y se utiliza en diferentes aplicaciones o es exportada. El 90% de la corteza del coco está constituido por fibras. (Mazón, 2017)

El proceso de obtención de la fibra de coco es sencillo, dado que las fibras son extraídas de la corteza del Coco, luego se las clasifica y las fibras en mejores condiciones son seleccionadas para un proceso de secado, el cual puede expuestas al sol por un mes o para reducir el tiempo de secado se lo expone a altas temperaturas para que se extraiga la humedad.

2. METODOLOGÍA

2.1. Obtención del almidón de achira

Con el fin de optimizar tiempo y apoyar a los emprendimientos de las comunidades, se utilizó almidón de achira ya procesado, proveniente de la parroquia Jimbura, del cantón Espíndola, en la provincia de Loja que es distribuido por medio de la tienda Camari. Una vez obtenido el almidón se lo coloca en un envase herméticamente sellado para que conserve sus propiedades.

2.2. Procesamiento y análisis de las fibras naturales

La fibra natural seleccionada es la fibra de coco debido a su alta resistencia, la misma fue obtenida en el mercado de santa clara, dado que los productores de esta fibra son artesanos.

La presentación de la fibra es en hilos largos por lo que fue necesario procesarla para lo cual se empleó un molino de cuchillas que fragmenta la fibra empleando el corte y cizallamiento como se observa en la figura 12.

Figura 12. Molino de cuchillas. Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias

Posteriormente se separaron los tamaños de fibras trituradas con un tamizador, en el cual se utilizaron los tamices N° 16 (1.18mm), N°18 (1mm), N°20 (0.85mm), 140 (1.06mm), y 270 (0.53mm) como se puede apreciar en la figura 13.

El tamaño de fibra escogido para el material es la fibra del tamiz 20, con una medida de 0.85mm, debido a que con este tamaño de fibra se puede distribuir aleatoriamente en el material, además que se obtuvo en mayor cantidad.

Figura 13. Tamizador con varios tamices. Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias

2.3. Obtención de la matriz polimérica

Para obtener una matriz resistente que cumpla con las propiedades para ser utilizada en un contenedor de alimentos se utilizó de referencia la Tesis de la Universidad Nacional de Colombia “Efecto de la adición de ácido cítrico y proteína de lactosuero en la elaboración de películas basadas en almidón de Canna indica L.”.

Para la elaboración de películas de matriz polimérica se realizó un análisis DOE (Diseño de experimentos) en el software Minitab definiendo proporciones de cada material como variables, obteniendo 5 variables con su rango de proporciones respectivas a continuación:

- Agua destilada (100 – 125)
- Glicerina (1 – 3)
- Ácido cítrico (3 – 4)
- Almidón de achira (8 – 10)
- Proteína de leche (WPI) (3 – 4)

Como resultado del análisis DOE se obtuvo 32 resultados del cual se puede observar los resultados en el Anexo I.

Se realizaron las 32 composiciones de matriz polimérica para que se curen a temperatura ambiente, las tres primeras muestras se pueden observar en la figura 14.

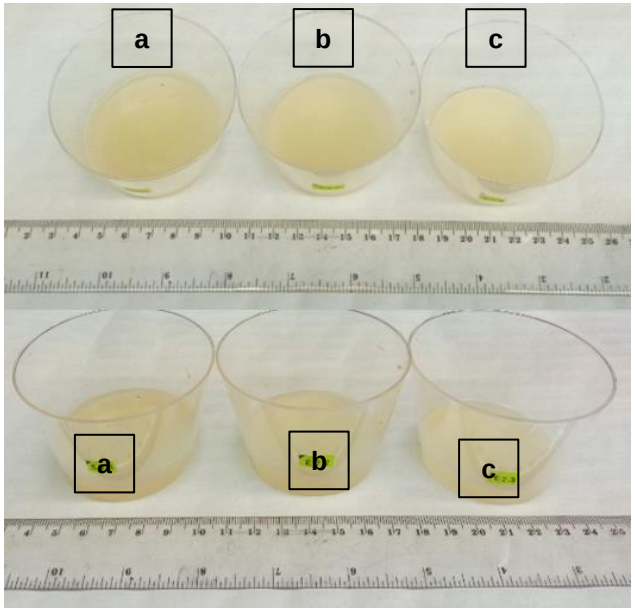


Figura 14. Experimentación de 32 resultados DOE de matriz polimérica,
a) muestra N°1, b) muestra N°2, c) muestra N°3. Fuente: Propia

Las muestras eran analizadas mientras se curaban, el tiempo de curado a temperatura ambiente variaba dependiendo el espesor de las muestras, para un espesor de 5mm el tiempo aproximado era de 14 días. En los primeros 3 días se mantenían en perfecto estado, pero a partir del cuarto y quinto día empezaron a presentar hongos como muestra la figura 15, los cuales se empezaban a formar debido a que se trata de un material orgánico y por el grosor de la muestra tiene alto contenido de humedad, además que en el laboratorio no hay suficiente circulación de aire y falta de iluminación en horario extralaboral. Para erradicar la presencia de hongos se redujo el espesor de la muestra a 1mm para que tarde menos tiempo en curarse, con este espesor el tiempo de curado se redujo a 3 días, también se añadió a la mezcla vinagre de 1 a 3 gramos, ya que el vinagre por su alta concentración de ácidos naturales tiene propiedades antifúngicas, de esta manera se obtuvieron las muestras que se pueden ver en la figura 16.

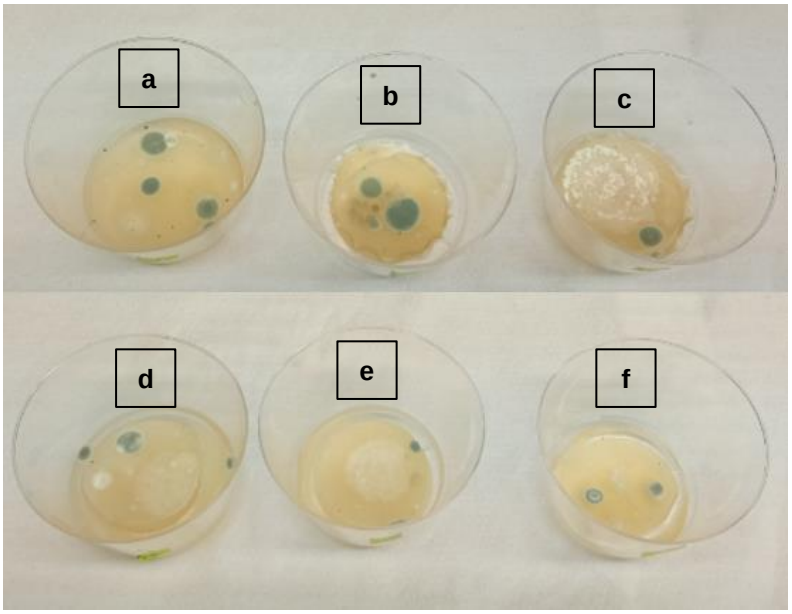


Figura 15. Presencia de hongos en las muestras, a) muestra N°2, b) muestra N°6, c) muestra N°14, d) muestra N°13, e) muestra N°15, f) muestra N°18. Fuente: Propia

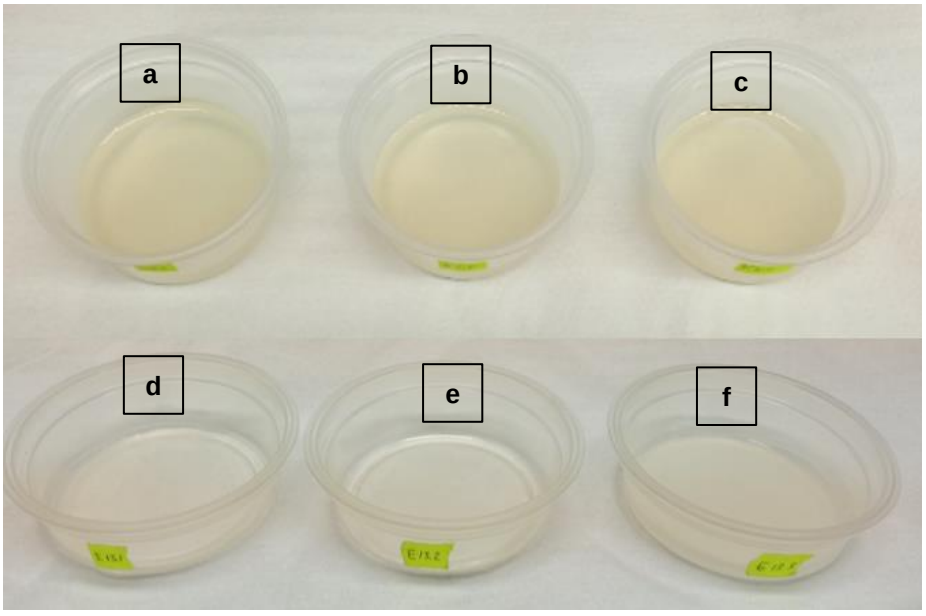


Figura 16. Muestras sin la presencia de hongos, a) muestra N°10, b) muestra N°13, c) muestra N°15, d) muestra N°20, e) muestra N°17, f) muestra N°27. Fuente: Propia

Una vez obtenidas las 32 muestras de matriz polimérica se fueron descartando ciertas muestras principalmente por presencia de hongos, otras por fragilidad y falta de ductilidad. De esta manera se seleccionaron 4 muestras como las más apropiadas, las cuales fueron: 10, 17, 20 y 27.

2.4. Obtención del material compuesto

Para obtener el material compuesto se procede a preparar la muestra de matriz polimérica

y se añade 5% de peso total en fibra de coco hasta obtener una mezcla homogénea. Esto se deja curar al ambiente observando continuamente su progreso.

Se prepararon muestras con las seleccionadas anteriormente, de las cuales se descartaron las muestras 20 y 27 por presencia de hongos y la muestra 10 por fragilidad. Como resultado final se obtuvo la muestra 17 como la más óptima para la finalidad del material compuesto.

Para acelerar el proceso de curado se utilizó la mufla, insertando la muestra de espesor 2.5mm de espesor a 80°C por 3 horas, luego del curado la muestra redujo su espesor a 1mm. De tal manera que el procedimiento para el material compuesto final se detalla a continuación:

1. Se colocan 100 g de agua destilada en un vaso de precipitación y en un agitador magnético se empieza a calentar hasta los 60°C

2. Se añaden 8 g de almidón de achira y se esperan 10 minutos hasta que se homogenice la mezcla.

3. Luego se incorpora 3 g de ácido cítrico, se espera 10 minutos.

4. Se añade 1 g de glicerina y 1,7 g de vinagre.

5. En otro vaso de precipitación se calienta el WPI hasta 90°C, luego se añade 4 g de WPI a la mezcla.

6. Se espera 10 minutos hasta que la mezcla empiece a coagularse.

7. Se añade 5% del peso total de la mezcla en fibra, que son 5,87 g y se deja en el agitador hasta que la mezcla esté homogenizada.

8. La mezcla final es colocada en un molde previamente engrasado y luego en la mufla eléctrica a temperatura de 80°C por 3 horas.

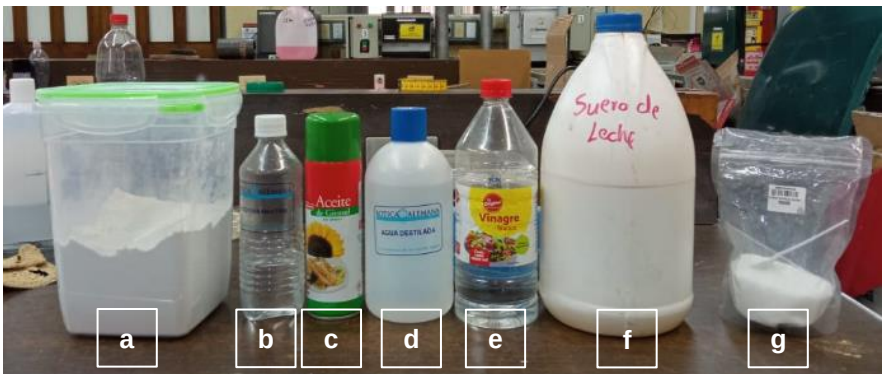


Figura 17. Materiales utilizados para el material compuesto, a) almidón de achira, b) glicerina, c) aceite en spray, d) agua destilada, e) vinagre, f) WPI, g) ácido cítrico. Fuente: Propia

Figura 18. Mezcla de material compuesto sobre agitador magnético. Fuente: Laboratorio de Ensayos No Destructivos

Figura 19. Mufla eléctrica. Fuente: Laboratorio de Ensayos No Destructivos

2.5. Obtención del prototipo del material compuesto

Se utilizaron dos moldes de acero inoxidable, uno grande y uno pequeño con las dimensiones que se muestran en la figura 20 y con un espesor de 3mm.

Figura 20. Moldes de acero inoxidable. Fuente: Propia

Para la obtención de los prototipos primero se realizó 100g de mezcla del material compuesto y se vertió en la base del molde de plato, previamente engrasado con aceite en spray, y se dejó reposar a temperatura ambiente por 3 horas para que se gelatinice como muestra la figura 21. Después se colocó la tapa en el molde, generando cierta presión para que obtengan la forma de los mismo lo que se puede observar en la figura 22. A continuación se retira la tapa y se introduce el prototipo al horno a 120°C por 2 horas, luego de este tiempo los prototipos se voltean y se introducen nuevamente por 2 horas más para que termine de curarse el material.

Figura 21. Muestra gelatinizada. Fuente: Propia

Figura 22. Prototipo con forma de molde. Fuente: Propia

Los prototipos que se obtuvieron presentan una superficie rugosa por lo que para mejorar el acabado superficial se añadió una capa de matriz polimérica en la superficie y se obtuvo como resultado final los prototipos que se pueden ver en la figura 23.

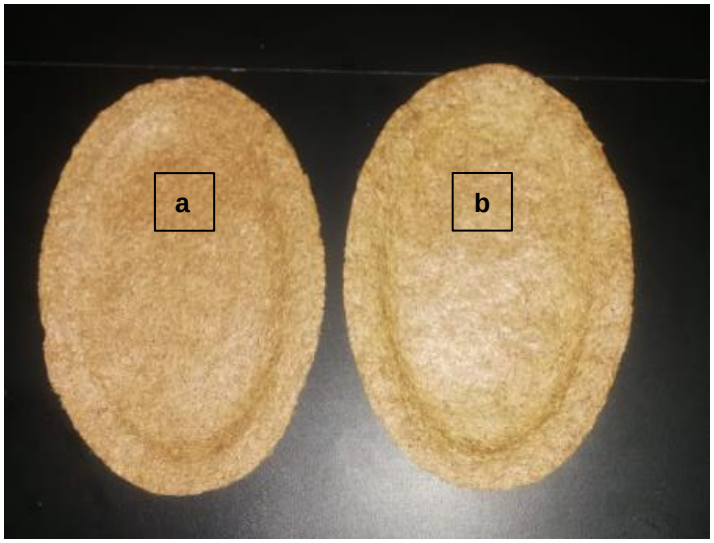


Figura 23. Prototipo final, a) prototipo 1, b) prototipo 2. Fuente: Propia

2.6. Probetas

En las pruebas realizados se utilizó la misma composición del material y se siguió el mismo procedimiento para obtener todas las probetas, pero en cada prueba se emplean probetas de diferentes medidas según sea necesario o especificado por la norma. A continuación, se detalla la manera de obtención de las probetas.

Para obtener estas probetas se utilizó un molde de acero galvanizado y de dimensiones superiores a las especificadas para poder realizar un corte y obtener una probeta que cumpla con las características necesarias para realizar la prueba. Primero se preparó la mezcla del material compuesto, luego se vierte la mezcla en el molde previamente

engrasado con aceite en spray y se mete al horno a 120°C por 2 horas, luego se voltea la muestra en el mismo molde para que se cure ambos lados y se deja en el horno por 2 horas más. Posterior a eso se retira la probeta del horno y se corta de las dimensiones especificadas. Para finalizar se recubren ambas superficies de la probeta con mezcla de matriz polimérica para mejorar el acabado superficial y cubrir las fibras expuestas. Figura 24.

Figura 24. Obtención de probetas, a) muestra antes de curar en el horno, b) muestra después de curar en el horno. Fuente: Propia

2.7. Pruebas mecánicas basadas en parámetros estandarizados

Las pruebas mecánicas estandarizadas que se realizarán son las siguientes:

- Prueba estandarizada de tracción: La prueba de tracción consiste en aplicar un esfuerzo axial en una probeta normalizada hasta provocar su rotura, para el cual se utilizará de referencia la norma ASTM D3039. Debido a la forma de procesamiento del material no se han podido tener probetas uniformes, por lo que la prueba solamente se realizó de manera experimental para obtener una fuerza última de la probeta.

  Las medidas promedio de las probetas son de 250mm de largo por 25mm de ancho y 3mm de espesor. Las probetas se pueden observar en la figura 25.

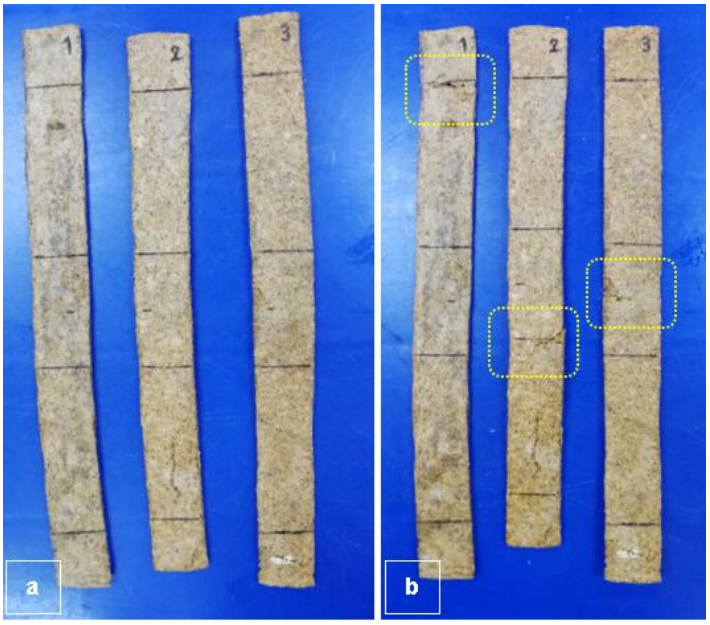


Figura 25. Probetas para prueba estandarizada de tracción, a) probetas antes de la prueba de tracción, b) probetas después de la prueba de tracción con el área de falla señalada. Fuente: Propia

La prueba se realizó en el Laboratorio de Nuevos Materiales en la Facultad de Ingeniería Mecánica, se puede observar en la figura 26. Los gráficos y los resultados obtenidos para la probeta 1, 2 y 3, se pueden observar en los Anexos II, III y IV, de los cuales solo se utilizó la fuerza última.

Figura 26. Prueba estandarizada de Tracción. Fuente: Laboratorio de Nuevos Materiales

- Prueba estandarizada de flexión: Esta prueba se realiza en función del espesor de la probeta, de manera que se colocan dos apoyos a cierta separación calculada a partir del espesor que tiene la probeta, en este se utiliza como referencia la norma ASTM 790-17.

Esta prueba se realizó de manera artesanal, debido a que la fuerza de flexión del material es muy pequeña para utilizar la máquina de flexión del laboratorio, por lo que se realizó la prueba con las dimensiones que especifica la norma para las probetas, las cuales son 13 mm de ancho y el largo tiene una relación 32:1 con el espesor de la probeta, como las probetas tienen un espesor de 3,2mm el largo determinado es de 102,4mm, lo cual se puede observar en la figura 27.

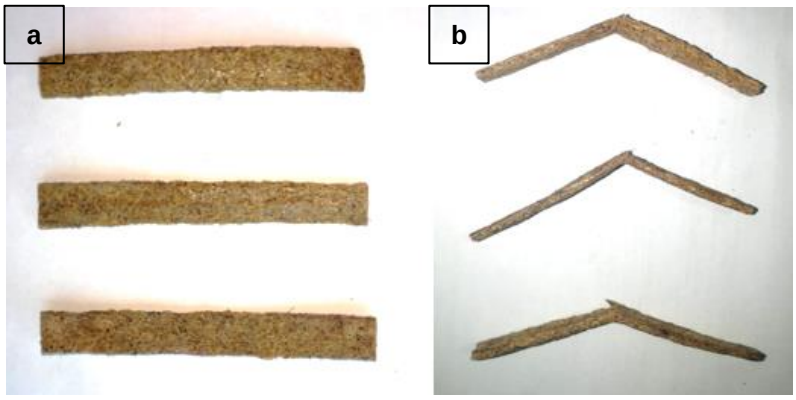


Figura 27. Probetas para prueba estandarizada de flexión, a) probetas antes de la prueba, b) probetas después de la prueba. Fuente: Propia

La prueba se realizó de manera experimental como se observa en la figura 28, colocando dos apoyos en los extremos de la probeta y en el centro se colocaron pesos conocidos para determinar con cuanto peso el material falla.

Figura 28. Prueba experimental de flexión. Fuente: Propia

2.8. Pruebas de biodegradabilidad basadas en documentos estandarizados

Para realizar las pruebas de biodegradabilidad se utilizó como referencia el estudio realizado por Torn, K. Martin, G. Reisalu, G. en 2021. Para lo que se realizaron 4 pequeñas probetas de 25x25mm y 3mm de espesor, cada una fue pesada previo al ensayo y colocada en una bosa de malla de 5x5mm como se muestra en la figura 29.

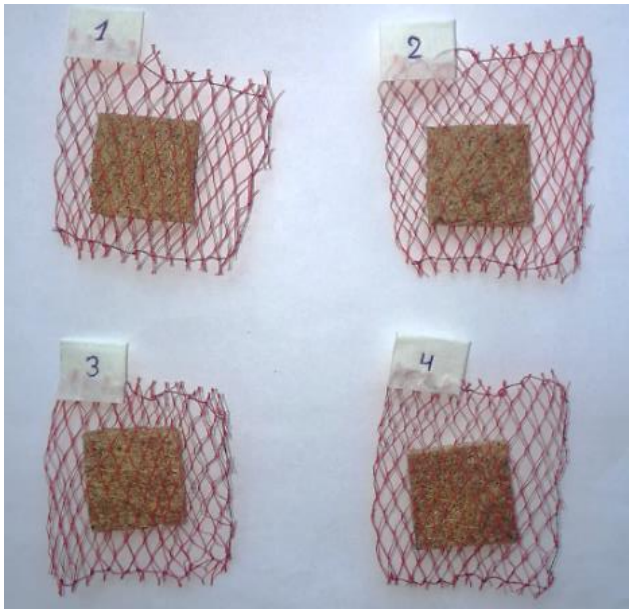


Figura 29. Probetas para prueba de biodegradabilidad. Fuente: Propia

Se realizó las pruebas en dos entornos:

Entorno terrestre: Las probetas 1 y 2 fueron previamente pesadas y enterradas en tierra de jardín por 40 días a 10 cm de profundidad. Figura 30.

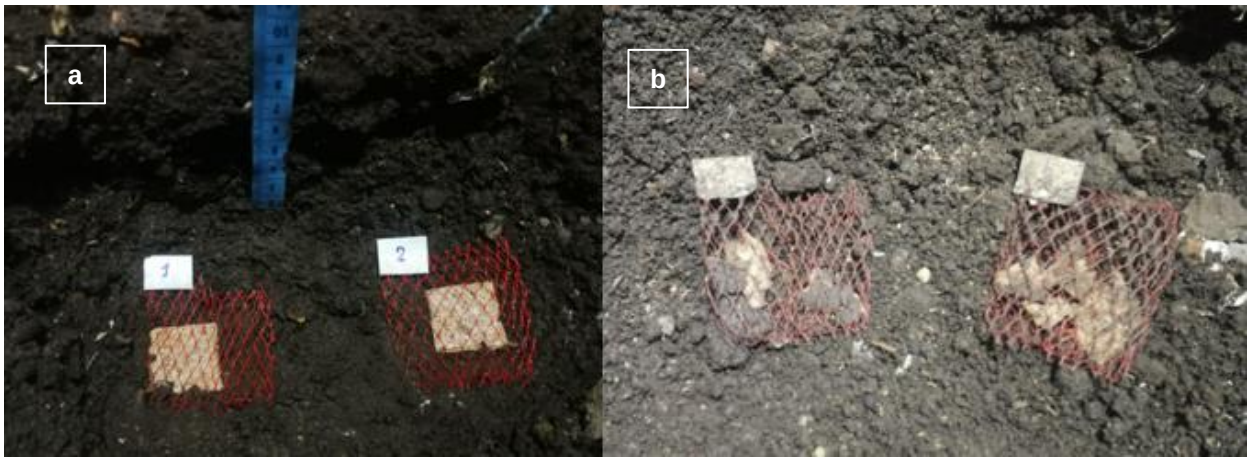


Figura 30. Prueba biodegradabilidad entorno terrestre, a) antes de la prueba, b) después de 40 días. Fuente: Propia

Entorno acuático: Las probetas 3 y 4 fueron previamente pesadas y sumergidas en un recipiente con agua por 40 días a 5 cm de profundidad. Figura 31.

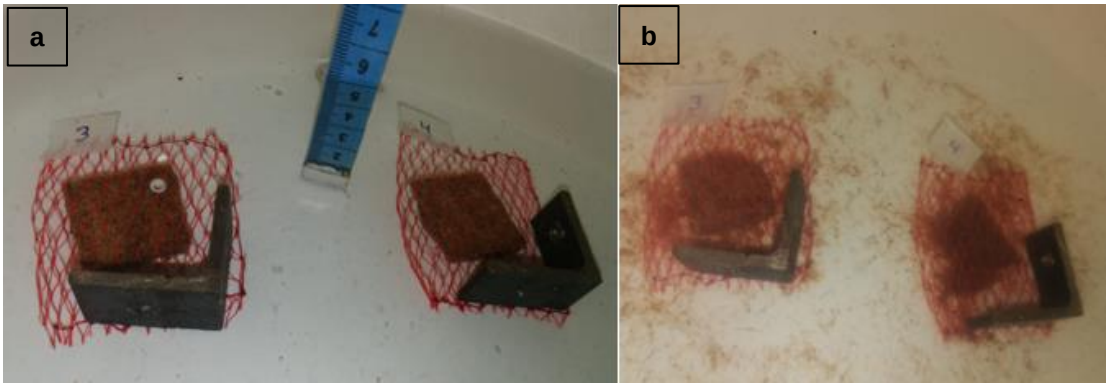


Figura 31. Prueba biodegradabilidad entorno acuático, a) antes de la prueba b) después de 40 días. Fuente: Propia

Finalmente, se realiza una inspección visual de las probetas y se registra su peso luego del ensayo.

2.9. Pruebas varias

- Prueba estandarizada para determinar la solubilidad: Es realizada en base a la norma INEN N°1456. En el cual se coloca una muestra de 2g de la muestra en un recipiente, se añade 5 cm3 de agua fría y se agita, después se transfiere toda la solución en un recipiente con 100cm3 de agua hirviendo y se deja por 2 minutos.

- Prueba de resistencia al calor: Se realiza con la finalidad de determinar cuál es la temperatura que resiste el material al ser sometido al calor. Se realizó con 5 probetas (A, B, C, D, E) con dimensiones de 50x14mm y un espesor de 3mm, las probetas fueron previamente pesadas. Las probetas A y B fueron colocadas al horno a 100°C, la probeta A por 20 minutos y la probeta B por 40 minutos. Las probetas C y D fueron colocadas al microondas, la probeta C por dos minutos y la probeta D por 4 minutos (Figura 32). La probeta E no fue sometida a ningún cambio para tenerla como referencia. Finalmente, las probetas fueron pesadas y medidas nuevamente para registrar los resultados. Figura 33.

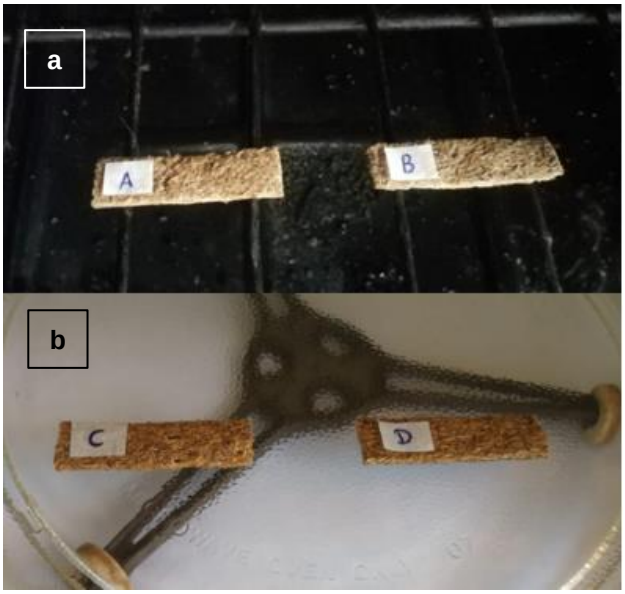


Figura 32. Prueba de resistencia al calor, a) probetas A y B en el horno, b) probetas C y D en el microondas. Fuente: Propia

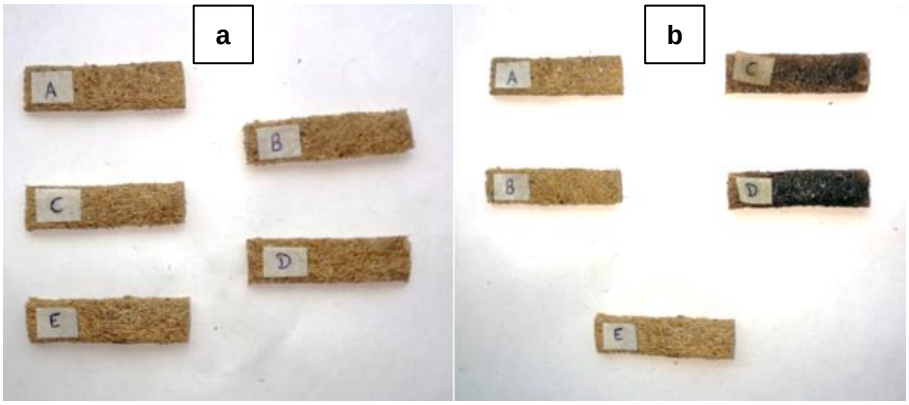


Figura 33. Prueba de resistencia al calor, a) probetas antes de la prueba, b) probetas después de la prueba. Fuente: Propia

- Prueba de resistencia a líquidos: La finalidad de esta prueba es comprobar la hermeticidad del material y su resistencia al contener líquidos a temperatura ambiente y altas temperaturas. En esta prueba se utilizaron los prototipos de platos biodegradables que tienen un espesor de 2mm. Los platos fueron pesados previo al ensayo. Al primer plato se le colocó agua destilada a temperatura ambiente (26°C) en su superficie por 20 minutos y al segundo plato se le colocó agua destilada a 67°C por 20 minutos. Los platos fueron pesados nuevamente y se realizó una inspección visual para analizar los cambios antes y después. Figura 34.

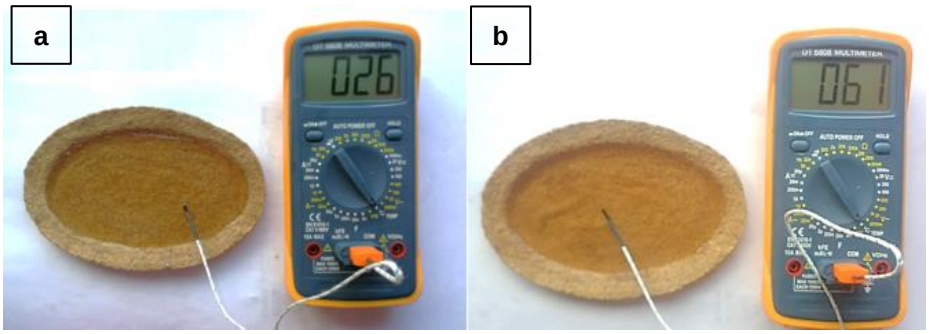


Figura 34. Prueba resistencia a líquidos, a) prueba con agua a temperatura ambiente, b) prueba con agua a 61°C. Fuente: Propia

- Prueba de absorción de líquidos: Se realiza esta prueba para verificar cual es la cantidad de líquido que absorbe al ser sometido cierto tiempo al mismo, a temperatura ambiente y altas temperaturas. En esta prueba se realizaron 3 probetas (A, B, C) de dimensiones 25x25mm y espesor de 3.5mm, las cuales fueron previamente pesadas. La probeta A se sumergió por 30 minutos en agua destilada a temperatura ambiente (21°C) y la probeta B se sumergió por 30 minutos en agua destilada a 75°C (Figura 35). La probeta C se utilizó como referencia por lo que no fue sometida a ningún cambio. Por ultimo las probetas A y B son pesadas nuevamente y se toman las nuevas medidas. Figura 36.

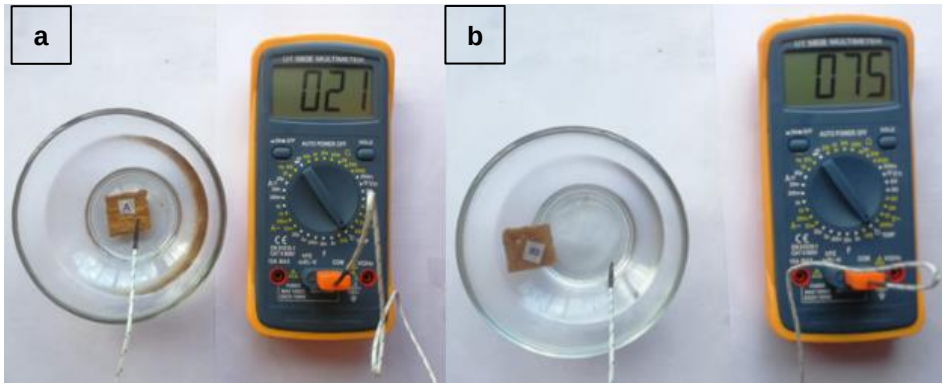


Figura 35. Prueba de absorción de líquidos, a) prueba con agua a temperatura ambiente, b) prueba con agua a 75°C. Fuente: Propia

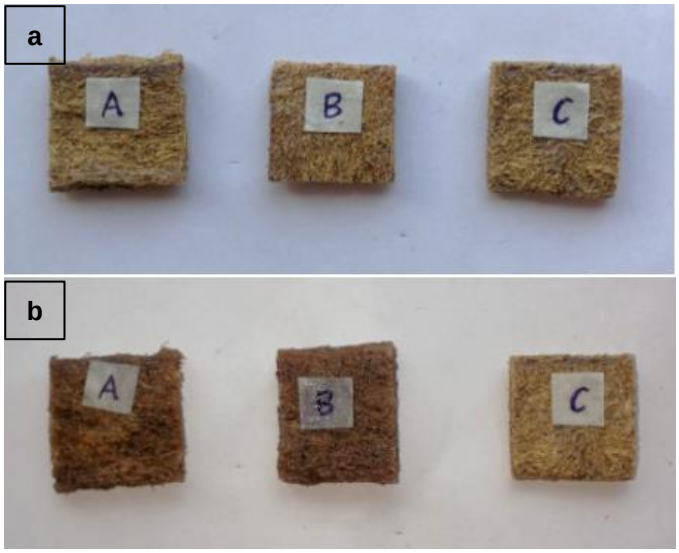


Figura 36. Prueba absorción de líquidos, a) probetas antes de la prueba, b) probetas después de la prueba. Fuente: Propia

2.10. Factibilidad de industrialización

Estudio de mercado

- PRODUCTO: Platos desechables biodegradables

- ANÁLISIS DE LA DEMANDA: La demanda actual del producto es alta, debido al consumismo en el sector alimenticio, por facilidad y por higiene se prefieren los recipientes de un solo uso. El crecimiento de la conciencia ambiental tanto en las grandes empresas como en los consumidores ha incentivado el uso y preferencia por estos productos biodegradables.

  Según el estudio realizado por Loja y Muñoz en el 2013, se identifica claramente que por cuestiones de comercialización en Ecuador se utiliza en varios empaques y embalajes especialmente en comida, donde se da un solo uso. Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas en su programa para el medio ambiente, muestra que desde el año 1950 se ha producido 8,3 toneladas de plástico y el 60% ha parado en la basura.

  En Proyecciones realizadas por la ONU en el 2021 se indica que para el 2050 la producción de plástico podrá ocupar el 20% de la producción del petróleo mundial. Aquí se puede notar una demanda implícita de una alternativa viable para reemplazar este material contaminante, Loja y Muñoz plantea tres tipos de cadenas de distribución, directa, indirecta corta e indirecto largo con una gran cantidad de intermediarios como sufre el plástico. Por análisis propio se puede determinar que para satisfacer la demanda creada por el plástico se necesita una cadena de distribución directa, evitando la

intermediación para que el precio del producto no se vea afectado marcando el precio de venta al público.

- ANÁLISIS DE LA OFERTA: Según el mapeo de la competencia realizado en la ciudad de Quito, existen algunas empresas que fabrican y distribuyen estos productos biodegradables, únicamente en supermercados y grandes empresas, por esta razón nuestro enfoque va dirigido hacia los emprendedores para abarcar los nichos de mercado no cubiertos por la competencia.

- ANÁLISIS DE LA DEMANDA INSATISFECHA: En este caso el mercado insatisfecho actualmente se encuentra en los pequeños comerciantes, debido que estos productos biodegradables presentan mayor costo en relación con los plásticos convencionales. Para este mercado se busca incentivar la conciencia ambiental

- COMERCIALIZACIÓN DEL PRODUCTO: Las estrategias de venta consisten en ofertar el producto por medio de redes sociales para de esta manera llegar a las personas interesadas, además se realizarán recorridos en sectores comerciales para dar a conocer el producto.

Estudio técnico

- LOCALIZACIÓN ÓPTIMA: Para determinar la ubicación geográfica se seleccionó un lugar céntrico a la ciudad de Quito, de manera que tenga fácil acceso para los clientes y tener facilidad para realizar visitas y entregas del producto. El lugar que se ha seleccionado es el sector de La Mariscal, en las calles Ulpiano Páez y Ramon Roca. (Figura 37)

Figura 37. Localización. Fuente: Google Maps

- INGENIERÍA DEL PROYECTO: El proceso de producción que ya fue detallado

anteriormente se muestra en el esquema presentado en la figura 38.

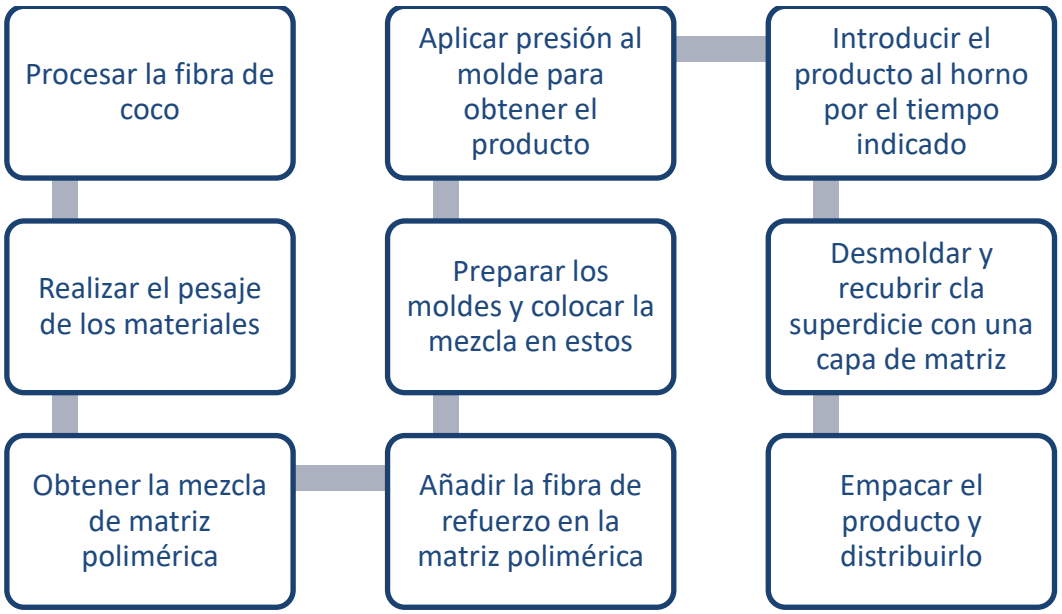


Figura 38. Proceso de producción. Fuete: Propia

- REQUERIMIENTO DE RECURSOS: Los recursos necesarios para el proyecto se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Recursos del proyecto. Fuente: Propia

Equipos		
Nombre	Descripción	Precio
Horno eléctrico	Indurama Horno eléctrico con Grill / Termostato / Temporizador 60cm 220V HEI-75END / 1400 W	$546.74
Agitador magnético	Agitador magnético con calentamiento marca Cleaver Scientific / Velocidad 60-1500 RPM / Voltaje 120V / 556W	$765.00
Balanza digital	Balanza digital / Dimensiones: 24x17x4cm / Visor digital LCD / gramos y onzas / Capacidad 10kg / Apreciación 0.1g	$5,00
Triturador de alimentos	Triturador de alimentos marca Teka / Modelo TR 510.1 / Voltaje 110v – 60hz / 2600 RPM / ½ HP	$315.00
Materiales		
Agua destilada	11.35 litros	$7.50
Almidón de achira	1 kilogramo	$2.50
Glicerina	1 litro	$4.00
Ácido cítrico	1 kg	$6.00
WPI	1 litro	$1.00
Vinagre	1 litro	$1.00
Fibra de coco	1 kilogramo	$4.50

Análisis Económico

Es bien sabido que los cambios climáticos y demás fenómenos ambientales están saliendo a flote y agudizándose cada vez más, en parte por la contaminación de plásticos no degradables de un solo uso, se hace imprescindible el estudio a profundidad de una y varias alternativas que pretendan reemplazar esta industria, por ello se ha desarrollado esta propuesta y ahora el análisis de factibilidad de implementación económica.

La implementación e industrialización del material desarrollado en el presente proyecto depende de la versatilidad de fabricación y precio de venta al público, la facilidad de comercialización y aceptación del consumidor, por lo que se ha tomado como referencia varios autores nacionales que han ahondado el tema de la demanda del producto final, también se realizará un análisis propio de los costos y gastos para llegar al resultado de la factibilidad de industrialización.

- PRECIO DE VENTA AL PÚBLICO: Al momento de analizar la industrialización del producto, se debe determinar que la producción en masa abarata el costo y, por ende, el precio de venta al público, siendo así en la tabla 4 se tiene el precio unitario de producción de una docena, equivalente a $0,51 por unidad, contrastando con la tabla 5 en la cual se calcula el precio por centenar en $0,37 y por último en la tabla 6 se describe el más factible en producción el precio por millar $0,14 que llegaría a competir con el plástico.

  Para realizar el cálculo del análisis de precios unitarios para la fabricación primero en la sección de equipos se analiza la cantidad de kWh que consume cada uno de los equipos dependiendo las horas que estarán funcionando. En la sección de mano de obra se considera el jornal por hora que cobra un técnico para la manufactura de los mismos, el cual va incrementando dependiendo el numero de horas que labore. En la sección de materiales se realiza un cálculo de la cantidad de materiales que se utilizarán, teniendo de referencia la cantidad utilizada para la realización de un prototipo, el cual se incrementa para el cálculo de docena, centenar y millar. Se calcula un porcentaje del 24,5% del subtotal que corresponde a los costos indirectos y utilidades, de esta manera se calcula el precio para docena, centenar y millar de prototipos para en cada tabla calcular el precio por unidad.

Tabla 4. Análisis de precio por docena. Fuente: Propia

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS POR DOCENA				
EQUIPOS				
Descripción	**Unidad**	**Valor**	**Cantidad**	**Costo**
Mufla eléctrica (1400W)	kWh	0,09	11,20	1,03
Agitador magnético (556W)	kWh	0,09	2,22	0,20
Triturador (696W)	kWh	0,09	2,78	0,25

			SUBTOTAL E	**1,49**
MANO DE OBRA				
Descripción		**Cantidad**	**Jornal**	**Costo**
Técnico		1,00	1,86	1,86
			0,00	0,00
			SUBTOTAL O	**1,86**
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Valor**	**Cantidad**	**Costo**
Agua destilada	l	0,66	1,2	0,792
Ácido cítrico	kg	6	0,036	0,216
Almidón de achira	kg	2,5	0,096	0,240
Glicerina	l	4	0,012	0,048
WPI	l	1	0,048	0,048
Vinagre	l	2	0,0204	0,041
Fibra de coco	kg	2,5	0,0696	0,174
			SUBTOTAL M	**1,56**
TOTAL COSTO DIRECTO				**4,91**
INDIRECTOS Y UTILIDADES 24.50%				**1,20**
OTROS INDIRECTOS 0.00%				**0,00**
PRECIO FINAL POR DOCENA				**6,11**
PRECIO FINAL POR UNIDAD				**0,51**

Tabla 5. Análisis de precio por centenar. Fuente: Propia

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS POR CENTENA				
EQUIPOS				
Descripción	**Unidad**	**Valor**	**Cantidad**	**Costo**
Mufla eléctrica (1400W)	kWh	0,09	11,20	1,03
Agitador magnético (556W)	kWh	0,09	2,22	0,20
Triturador (696W)	kWh	0,09	2,78	0,25
			SUBTOTAL E	**1,49**
MANO DE OBRA				
Descripción		**Cantidad**	**Jornal**	**Costo**
Técnico		1,00	14,91	14,91
			0,00	0,00
			SUBTOTAL O	**14,91**
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Valor**	**Cantidad**	**Costo**
Agua destilada	l	0,66	10	6,600
Ácido cítrico	kg	6	0,3	1,800
Almidón de achira	kg	2,5	0,8	2,000

Glicerina	l	4	0,1	0,400
WPI	l	1	0,4	0,400
Vinagre	l	2	0,17	0,340
Fibra de coco	kg	2,5	0,58	1,450
			SUBTOTAL M	**12,99**
TOTAL COSTO DIRECTO				**29,39**
INDIRECTOS Y UTILIDADES 24.50%				**7,20**
OTROS INDIRECTOS 0.00%				**0,00**
PRECIO FINAL POR CENTENAR				**36,59**
PRECIO FINAL POR UNIDAD				**0,37**

Tabla 6. Análisis de precio por millar. Fuente: Propia

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS POR MILLAR				
EQUIPOS				
Descripción	**Unidad**	**Valor**	**Cantidad**	**Costo**
Mufla eléctrica (1400W)	kWh	0,09	11,20	1,03
Agitador magnético (556W)	kWh	0,09	2,22	0,20
Triturador (696W)	kWh	0,09	2,78	0,25
			SUBTOTAL E	**1,49**
MANO DE OBRA				
Descripción		**Cantidad**	**Jornal**	**Costo**
Técnico		2,00	14,91	29,83
			0,00	0,00
			SUBTOTAL O	**29,83**
MATERIALES				
Descripción	**Unidad**	**Valor**	**Cantidad**	**Costo**
Agua destilada	l	0,66	3	1,980
Ácido cítrico	kg	6	8	48,000
Almidón de achira	kg	2,5	1	2,500
Glicerina	l	4	4	16,000
WPI	l	1	1,7	1,700
Vinagre	l	2	5,8	11,600
Fibra de coco	kg	2,5	0	0,000
			SUBTOTAL M	**81,78**
TOTAL COSTO DIRECTO				**113,10**
INDIRECTOS Y UTILIDADES 24.50%				**27,71**
OTROS INDIRECTOS 0.00%				**0,00**
PRECIO FINAL POR MILLAR				**140,81**
PRECIO FINAL POR UNIDAD				**0,14**

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

Pruebas mecánicas basadas en parámetros estandarizados

- Prueba estandarizada de tracción

  Se realizó la prueba de tracción para 3 probetas, del cual se obtuvo los resultados tabulados en la tabla 7. Por medio de esta prueba se pudo determinar cuál es la fuerza máxima que soporta el material al estar sometido a una carga axial, resultando que el material soporta un promedio de 160.72 N

  Tabla 7. Resultados de la prueba estandarizada de tracción. Fuente: Propia

Probeta	Fuerza última (N)
1	170.00
2	195.00
3	144.17
Promedio	169.72

- Prueba estandarizada de flexión

  Esta prueba se realizó en 3 probetas con las mismas condiciones para obtener un valor promedio, se obtuvieron los siguientes resultados en cada probeta:

  En la prueba de flexión se colocó dos soportes en la base de la probeta y se fueron aumentando pesos conocidos en el centro de la probeta, se tomó el tiempo que de demoró en fallar cada probeta para realizar un promedio del tiempo y del peso que resiste antes de fallar. Estos datos se pueden observar en la tabla 7.

  Tabla 7. Resultados del ensayo de flexión. Fuente: Propia

Muestra	Tiempo de fallo (s)	Peso (g)
1	234	534.66
2	188	478.92
3	256	628.01
Promedio	226	547.19

  Con los resultados obtenidos se pudo determinar que el material compuesto resiste un promedio de 547,19 gramos antes de fallar y el tiempo promedio de fallo es de 226 segundos o 3 minutos con 46 segundos.

Pruebas de biodegradabilidad basadas en parámetros estandarizados

- Pruebas en entorno terrestre

  Las probetas 1 y 2 fueron pesadas antes de realizar la prueba y también después de los 40 días, lo cual se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la prueba de biodegradabilidad en entorno terrestre. Fuente: Propia

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% peso después de la prueba
1	1.48	0.97	65.54%
2	1.33	0.91	68.42%

También se realizó un ensayo de inspección visual, del cual se pudo determinar que la estructura de ambas probetas estaba desintegrada y se pudo obtener el paso final porque estaban dentro de la malla. La probeta 1 presentó mayor pérdida de peso y se podía ver un poco de fibras dispersas por la tierra, y entre ambas probetas se obtuvo un promedio de peso del 66.98%, por lo que se ha perdido un 33.02% en peso. También se pudo observar que pequeños gusanos se encontraban sobre las probetas, lo cual puede ser producto de varias plantas que se encuentran sembradas en el jardín.

- Prueba en entorno acuático

  Las probetas 3 y 4 fueron pesadas previa y posteriormente de realizar la prueba, los datos fueron recopilados en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la prueba de biodegradabilidad en entorno acuático. Fuente: Propia

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% peso después de la prueba
3	1.42	1.03	72.53%
4	1.37	0.95	69.34%

En estas probetas se pudo observar que varis fibras se desintegraron de las mismas y el agua se encontraba un poco turbia, esto debido a que el almidón se fue desintegrando en el agua y las fibras desprendiéndose, las probetas se observaban más desintegradas, pero debido a que el almidón absorbe gran cantidad de agua esto afectó en el pesaje final dado que las probetas se encontraban húmedas. La probeta que más perdió peso fue la número 4, y el porcentaje de peso de ambas probetas luego del ensayo fue de 70.93%, por lo que se ha perdido un 29.07% de peso.

Pruebas varias

- Prueba estandarizada para determinar la solubilidad

  La muestra de almidón ensayada cumple con el requisito ya que como se observa en la figura 39 se puede diferenciar una ligera opalescencia que se mantiene sin intensificar después de enfriamiento de la solución.

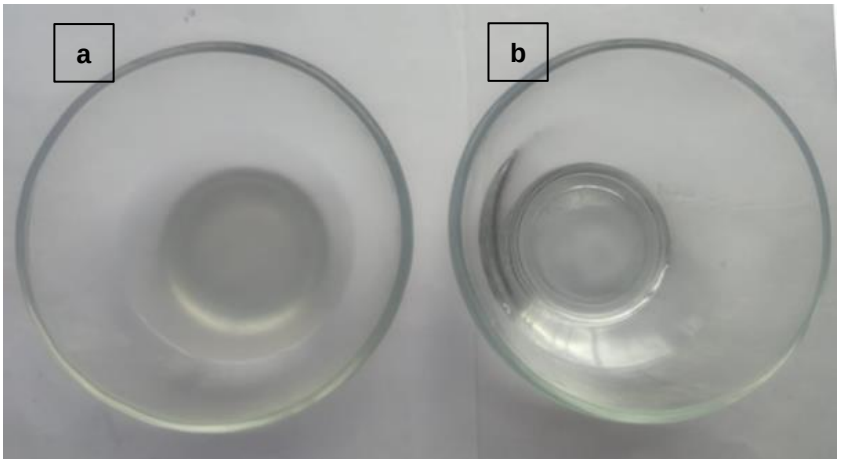


Figura 39. Prueba para determinar la solubilidad, a) muestra de almidón ensayada, b) muestra de agua destilada. Fuente: Propia

- Prueba de resistencia al calor

Tabla 10. Resultados de la prueba de resistencia al calor. Fuente: Propia

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Medidas iniciales (mm)	Medidas finales (mm)		
				Largo	Ancho	Espesor
A	1.15	1.10	50x14x3	–	–	2.8
B	1.04	0.94	50x14x3	–	13.4	2.7
C	1.30	1.12	50x14x3	48.6	13.7	3.3
D	1.32	0.95	50x14x3	47.9	13.1	5.8
E	1.16	–	50x14x3	–	–	–

En esta prueba se sometieron las probetas A y B al horno a 100°C por 20 y 40 minutos respectivamente, se pesaron y tomaron medidas antes y después de la prueba, los cuales se encuentran tabulados en la tabla 10. De lo que se pudo determinar que la probeta A no presentó mucho cambio en su estructura, únicamente disminuyó su espesor y su peso en cantidades mínimas. La probeta B que permaneció 40 minutos en el horno presentó poca disminución en su peso y en el ancho y espesor de la misma, también se observó que la probeta se deformó un poco. Con esto se comprueba que el material resiste altas temperaturas sin cambios por cortos periodos de tiempo, después de los 20 minutos empieza a presentar cambios en su estructura.

Las probetas C y D fueron insertadas en un horno microondas por 2 y 4 minutos respectivamente, de igual manera los datos del peso y medidas de las probetas se tomaron antes y después de la prueba, los cuales fueron registrados en la tabla 7. En este caso se pudo observar que ambas probetas se quemaron, la probeta C presentó quemaduras en ambas superficies, disminución de peso y disminución de medidas de ancho largo y espesor. En cuanto a la probeta D que fue sometida por 4 minutos al horno microondas, presentó más quemaduras en su superficie y poco en su interior,

sufrió una disminución en su peso y una alteración en su geometría, en cuanto al largo y ancho de la probeta disminuyeron, el espesor incrementó porque la probeta se infló un poco. La temperatura máxima que alcanza un microondas es 100°C, pero las probetas se quemaron debido a que el microondas calienta las moléculas de agua que tienen los alimentos y este calor se transmite a los mismos para incrementar su temperatura, en el caso de las probetas del material compuesto tienen poco contenido de agua por su procesamiento, y al no existir ningún alimento, estas fueron propensas a quemarse.

- Prueba de resistencia a líquidos

Tabla 11. Resultados de la prueba de resistencia a líquidos. Fuente: Propia

Prototipo	Peso inicial (g)	Peso final (g)
1	23.51	26.22
2	24.42	38.00

En esta prueba se realizó con los prototipos de platos biodegradables, fueron pesados antes y después de realizar la prueba, lo cual fue tabulado en la tabla 11. En la superficie del plato 1 se colocó agua destilada a temperatura ambiente, 26°C, por 10 minutos, se observó se absorbió agua, pero mantuvo su forma y no se derramó agua a través del mismo. En el plato 2 se colocó agua destilada a 61°C por 10 minutos, mientras transcurrían los 10 minutos se pudo observar que el agua se atravesó la base del plato y comenzó a derramarse en el minuto 8.

- Prueba de absorción de líquidos

Tabla 12. Resultados de la prueba de resistencia al calor. Fuente: Propia

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Medidas iniciales (mm)	Medidas finales (mm)		
				Largo	Ancho	Espesor
A	1.15	1.10	25x25x3.5	28	29.1	4.4
B	1.04	0.94	25x25x3.5	28	29	5.4
C	1.30	1.12	25x25x3.5	–	–	–

Las probetas A, B y C fueron pesadas antes y después de la prueba, lo cual se registró en la tabla 12. La probeta A fue sumergida en agua destilada a temperatura ambiente (22°C), y permaneció por 20 minutos, al retirarla del agua se pudo observar que su peso incrementó y sus medidas también aumentaron un poco. La probeta B fue sumergida en agua destilada a una temperatura de 76°C por 20 minutos, al retirarla del agua se observó que la probeta había absorbido más cantidad de agua y estaba desintegrando su estructura. Esto de debe a que el almidón tiene la gran capacidad de absorber líquidos.

Comparación entre componentes prácticos

Se realiza una comparación entre los dos componentes desarrollados descritos a continuación:

- A: Material compuesto biodegradable a base de almidón de achira polimerizado con ácido cítrico y proteína de lactosuero reforzado con fibra de coco.

- B: Material compuesto biodegradable a base de almidón de achira polimerizado con citrato de sodio reforzado con fibra de cascarilla de arroz.

En la prueba de tracción se pudo observar que las probetas del material A tienen una fuerza última promedio de169.72 N, y las probetas del material B tienen una fuerza ultima promedio de 94.04, con lo que se puede determinar que el material A presenta más resistencia a la tracción.

En la prueba de flexión se puede observar que el material A soporta un promedio de 547.19g, y el material B soporta 535.66g, por lo que se determina que el material A resiste un poco al ser sometido a cargas puntuales.

En la prueba de biodegradabilidad se realizó en el mismo jardín, el material A presenta un porcentaje de 33.32% en pérdida de peso y el material B presenta un porcentaje del 50% de pérdida de peso, obteniendo que el material B presenta mayor porcentaje de degradación.

En relación a las pruebas de resistencia al calor, ambos materiales presentan resistencia similar al ser sometidos a temperaturas altas en un horno doméstico.

En las pruebas de absorción de líquidos, ambos materiales tienen el mismo comportamiento al ser sometidos a líquidos a temperatura ambiente y a altas temperaturas, pero con los datos obtenidos en los resultados se puede determinar que el material B absorbe más cantidad de líquidos que el material A.

3.2. Conclusiones

En conclusión, el almidón de achira es el material agrícola más usado para realizar películas biodegradables, dado que tiene alta compatibilidad con polímeros biodegradables como PCL o PLA, además que con el procesamiento adecuado puede obtener características de un material termoplástico, y principalmente que existe gran disponibilidad para abastecer la demanda y tiene un bajo costo en comparación con otras materias primas.

La fibra de coco se encuentra con facilidad en el mercado de la ciudad, dado que sirve como sustrato para plantaciones ornamentales, y además debido a su resistencia también es utilizada para realización de varios materiales. Esta fibra se encontró en presentación de hilos largos y al ser procesada en el molino de cuchillas se obtuvo diferentes tamaños de la misma, de los cuales se seleccionó la fibra del tamiz 20 por que se obtuvo en mayor cantidad que los tamices de menor tamaño de malla y al ser distribuida aleatoriamente en el material se adapta a cualquier forma sin quedar expuesta.

Los hongos presentados las muestras de matriz polimérica eran provocados por su alto contenido de humedad al tener mucho espesor, también por la falta de iluminación y circulación de aire en el ambiente. Al reducir espesor de las muestras se redujo el tiempo de curado evitando llegar al quinto día que se formaban estos hongos, además que se añadió vinagre a la muestra, el cual evitó la creación de hongos gracias a sus propiedades antifúngicas

La fabricación de estos prototipos de platos desechables resulta factible para la producción en serie de 1000 unidades, ya que al producir esta cantidad se obtiene un costo unitario de 14 ctvs. por plato, precio que es competencia para los otros productos desechables en el mercado, esto se debe a que los trabajan la misma cantidad de tiempo empleado para una docena.

Los ensayos mecánicos y termo – mecánicos no pudieron realizarse técnicamente, debido a que por la forma de procesamiento del material no se pudo obtener probetas regulares y con buen acabado superficial, razón por la cual se realizaron pruebas basadas en documentos estandarizados para conocer el comportamiento del material y analizar su resistencia.

Los resultados de ensayos de biodegradabilidad que se realiza en el laboratorio tardan entre 6 a 8 meses en ser obtenidos, y debido al tiempo que se tiene para la realización del presente trabajo no se solicitaron, en lugar de esto se realizaron pruebas de biodegradabilidad para evaluar el comportamiento del material, de las cuales se obtuvo

resultados favorables.

En la prueba de tracción se pudo obtener la fuerza última del material al ser sometido a cargas axiales, al observar las probetas que no eran uniformes se pudo verificar que las zonas en las que falló el material presentaban menor espesor y ciertas irregularidades y falta de fibra, aún con estas imperfecciones en la probeta el material presentó gran resistencia, la cual se puede aumentar al corregir estas irregularidades y obtener un material más homogéneo.

En la prueba de flexión se obtuvo que las probetas fallaron con un peso promedio de 547 gramos en un tiempo de 3,46 minutos, que representa una fuerza de 5,36 N, con lo que se concluye que el material es resistente en comparación con otros productos desechables existentes en el mercado.

Las pruebas de biodegradabilidad se realizaron en entorno terrestre y acuático, en las que se obtuvieron que el material perdió un 33.02% y 29,07% respectivamente en un periodo de 40 días, resultados que resultan muy prometedores dado que tiene elevada degradabilidad en contacto con entornos naturales, esto debido a que el almidón tiene gran capacidad de absorber humedad de su entorno lo que aporta a su degradación.

Las pruebas varias que se realizaron con probetas y prototipos de plato desechable se relacionan a las diferentes circunstancias a las que puede estar sometido el prototipo como plato de un solo uso. La prueba estandarizada de solubilidad únicamente se realizó para comprobar que el almidón cumple con el requisito de solubilidad planteado por la norma INEN N°1456.

La prueba de resistencia al calor dio como resultado que el material puede ser sometido a calor de un horno doméstico a 100°C por 20 minutos sin experimentar cambios, y por 40 minutos con ligera deformación, pero sin afectar en gran manera a su estructura. Con las probetas ensayadas en el microondas se pudo determinar que el material no es apto para este tipo de horno, dado que presentaron quemaduras con 2 minutos en el mismo, esto se debe al principio de funcionamiento del microondas el que usa el agua presente en los alimentos para calentarlos.

En la prueba de absorción de líquidos se observó que la probeta sumergida en agua a alta temperatura absorbió más líquido que la probeta sumergida en agua a temperatura ambiente, esto se debe a que el almidón tiene gran capacidad de absorber líquidos.

Con la prueba de resistencia a líquidos se pudo determinar que el material resiste líquidos a temperatura ambiente, pero falla con líquidos a altas temperaturas, por lo que se concluye

que el material no es recomendado para alimentos en estado líquido a altas temperaturas.

Al realizar la comparación de los dos componentes prácticos se determinó que ambos resultan viables, con diferentes ventajas dado que el Material compuesto A presenta mayor resistencia a cargas puntuales y axiales, en cuanto el material B presenta mayor porcentaje de degradación y mejor capacidad de absorción de líquidos.

Se realizó una comparación en el análisis de factibilidad de ambos materiales, con lo que se pudo determinar que el material B resulta más factible en el aspecto económico ya que el precio por unidad en la fabricación en serie es más bajo debido a que se emplean menos materiales para la obtención de este material.

3.3. Recomendaciones

Para el proceso de curado del material compuesto se recomienda emplear una estufa eléctrica u horno eléctrico que permita alcanzar temperaturas exactas y mejor regulación del tiempo.

Es recomendado emplear otro método para procesamiento de la fibra de coco para evitar desperdicios, dado que el molino de cuchillas no tritura completamente la fibra y el tamizador no separa las fibras adecuadamente por lo que se requiere realizar el proceso de tamizado más de una vez para separar los tamaños de fibra.

Se recomienda investigar otro tipo de recubrimiento para la superficie del material desarrollado, de manera que se obtenga mejor acabado superficial y se evite la absorción de líquidos por el almidón.

Realizar ensayos de biodegradabilidad en laboratorio para obtener un índice exacto del porcentaje de degradación y el tiempo en el que se desintegra totalmente el material.

Es recomendado no realizar el proceso de curado a temperatura superior a 130°C, dado que la matriz de almidón se seca rápidamente y el material empieza a quemarse.

Se recomienda no tapar el material en el proceso de curado, dado que el material necesita evaporar el líquido contenido para curarse correctamente.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM International. (2017). *Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. (D3039/D3039M – 17).

ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. (D7264/D7264M – 21).

Barrios, A. García, S. Manríquez, R. Rivera, J. Lomelí, M. (2015). *Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara – México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol.6 (28): 26-41

Caguana, V. (2018). *Evaluación de la achira (Canna indica) para elaboración de vajilla desechable biodegradable*. Universidad Técnica De Cotopaxi. Latacunga – Ecuador.

Duarte, R. (2018). *Almidón de Achira*. Asociación de Chefs del Ecuador. Obtenido de: https://chefs.ec/almidon-de-achira/#:~:text=Es%20una%20planta%20sin%20plagas,tambi%C3%A9n%20rica%20en%20fibra%20diet%C3%A9tica.

El Comercio, (2009). *La achira guarda un tesoro blanco*. Obtenido de: https://www.elcomercio.com/actualidad/achira-guarda-tesoro-blanco.html

Hernández, K. (2013). *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

INEN. (2012). *Reactivos para análisis. Almidón soluble (para iodometría). Métodos de ensayo*. (INEN N°1456).

Juárez, C. (2022). *Materiales biodegradables pueden sustituir al plástico*. Cinvestav. México. Obtenido de: https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/materiales-biodegradables-pueden-sustituir-al-plastico/#:~:text=Para%20reducir%20la%20generaci%C3%B3n%20de,para%20la%20sustituci%C3%B3n%20del%20pl%C3%A1stico.

Loja, D. Muñoz, W. (2013). *Estudio de factibilidad financiera y económica para la creación de una planta productora de eco fundas basadas en el bioplástico en el cantón Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

López, J. Pomaquero, J. López, J. (2020). *Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba*. Polo del Conocimiento. Ecuador. ESPOCH. Edición núm. 53. Vol. 5. No.1. pp. 4-10. ISSN: 2550 - 682X.

Mazón, G. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato – Ecuador.

Millán, L. (2021). *Conociendo la planta de achira*. Universidad de los Andes. Obtenido de: https://agronegociospre.uniandes.edu.co/2021/09/conociendo-la-planta-de-achira/

Moral, A. Nogueira, M. (2007). "materiales de ultima generación y materiales eficientes: materiales compuestos – composites". Escuela de Arquitectura de la Universidad de Alcalá. México.

Ordenanza Metropolitana No. 022 - 2021. Obtenido de: http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Ordenanzas/2021/ORD-022-2021-MET-REDUCCI%C3%93N%20PROGRESIVA%20DE%20PL%C3%81STICOS.pdf.

Ponce, J., & Zambrano, D. (2019). *Estudio de comercialización e industrialización en el uso de polímeros vegetales para la elaboración de plásticos biodegradables*. Universidad San Francisco de Quito (USFQ).

Proaño, E. (2017). *Evaluación de la biodegradabilidad de polímeros formulados a partir de ácido poliláctico con almidón de achira, banano y oca*. Escuela politécnica Nacional. Quito – Ecuador.

Ribera, J. (2006). *Extracción de almidón de achira (Canna Edulis) y modificación por acetilación y doble derivatización*. Universidad Técnica de Ambato. Ambato – Ecuador.

Riera, M. Palm, R. (2018). *Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador*. Universidad de los Andes. Ecuador

Rodríguez, G. García, H. Camacho, J. Arias, F. (2003). *Almidón de Achira o Sagú. Manual técnico para su elaboración*. PRONATTA. Colombia.

Shiguango, D. (2014). *Obtención de un biopolímero a base de almidón de achira (canna edulis ker) y su empleo en la conservación de frutos de arazá (eugenia stipitata)*. Pastaza-Ecuador. Universidad Estatal Amazónica.

Torn, K. Martin, G. Reisalu, G. (2021). *Degradación de platos biodegradables de un solo uso y boldad de basura en entornos terrestres y marinos*. Instituto Marino de Estonia. Universidad de Tartu, Estonia

Velásquez, S. Pelaéz, G. Giraldo, D. (2016). *Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos*. Informador Técnico. Colombia.

Versino, F. (2017). *Materiales compuestos biodegradables con usos agronómicos a partir de raíces tuberosas*. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires – Argentina.

5. ANEXOS

ANEXO I. Diseño de Experimentos (DoE) de matriz polimérica

No.	Almidón	Acido Ciitrico	Agua destilada	Glicerina	WPI	Temperatura 1	Temperatura 2 (agua+almidón)	Temperatura 3 (WPI)	Teperatura 4 (agua+Almidón+ácido cítrico+glicerina)
1	8	3	100	1	3	50	50	90	70
2	10	3	100	1	3	50	50	90	70
3	8	4	100	1	3	50	50	90	70
4	10	4	100	1	3	50	50	90	70
5	8	3	125	1	3	50	50	90	70
6	10	3	125	1	3	50	50	90	70
7	8	4	125	1	3	50	50	90	70
8	10	4	125	1	3	50	50	90	70
9	8	3	100	3	3	50	50	90	70
10	10	3	100	3	3	50	50	90	70
11	8	4	100	3	3	50	50	90	70
12	10	4	100	3	3	50	50	90	70
13	8	3	125	3	3	50	50	90	70
14	10	3	125	3	3	50	50	90	70
15	8	4	125	3	3	50	50	90	70
16	10	4	125	3	3	50	50	90	70
17	8	3	100	1	4	50	50	90	70
18	10	3	100	1	4	50	50	90	70
19	8	4	100	1	4	50	50	90	70
20	10	4	100	1	4	50	50	90	70
21	8	3	125	1	4	50	50	90	70
22	10	3	125	1	4	50	50	90	70
23	8	4	125	1	4	50	50	90	70
24	10	4	125	1	4	50	50	90	70
25	8	3	100	3	4	50	50	90	70
26	10	3	100	3	4	50	50	90	70
27	8	4	100	3	4	50	50	90	70
28	10	4	100	3	4	50	50	90	70
29	8	3	125	3	4	50	50	90	70
30	10	3	125	3	4	50	50	90	70
31	8	4	125	3	4	50	50	90	70
32	10	4	125	3	4	50	50	90	70

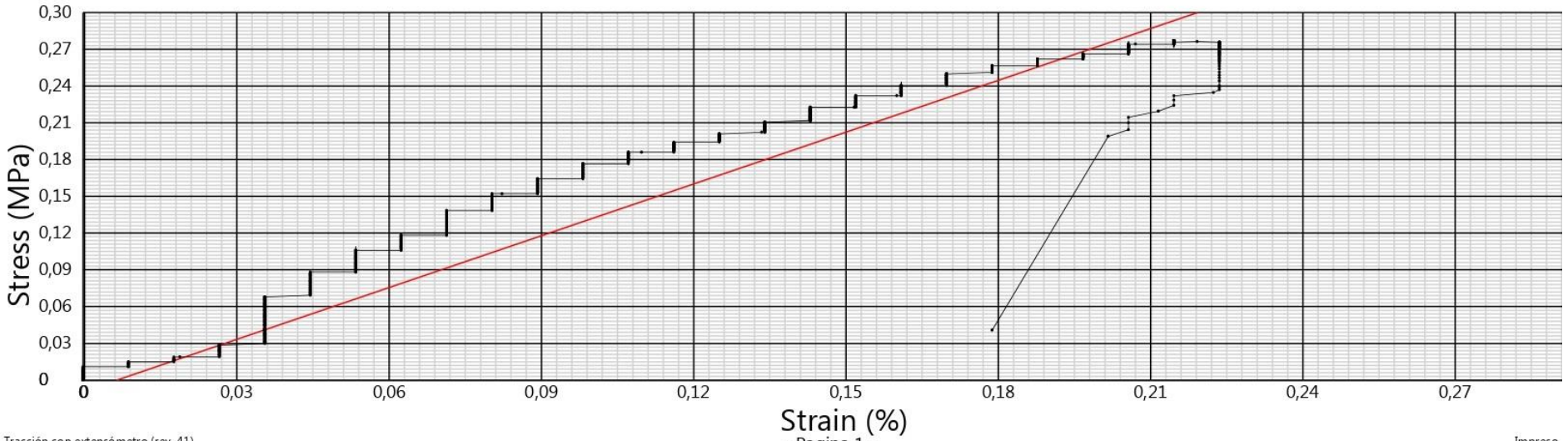
ANEXO II. Resultados de la prueba de tracción – Probeta 1

LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES
TRACCIÓN CON EXTENSÓMETRO

ASTM D3039/ ASTM D638: Tracción con extensómetro

Output Name: Tracción con extensómetro

Width	Thickness	Area	Modulus	Ultimate Force	Ultimate Stress	Ultimate Strain	Total Elongation	Yield Stress	Yield Strain	Yield Force	Break Force	Break Stress
mm	mm	mm²	MPa	N	MPa	%	%	MPa	%	N	N	MPa
146,51	4,19	613,88	140,87	170,00	0,28	0,21	0,22	0,28	0,21	170,00	149,88	0,24



Tracción con extensómetro (rev. 41)
v10.0.11.0

- Pagina 1 -

Impreso
Escuela Politecnica Nac

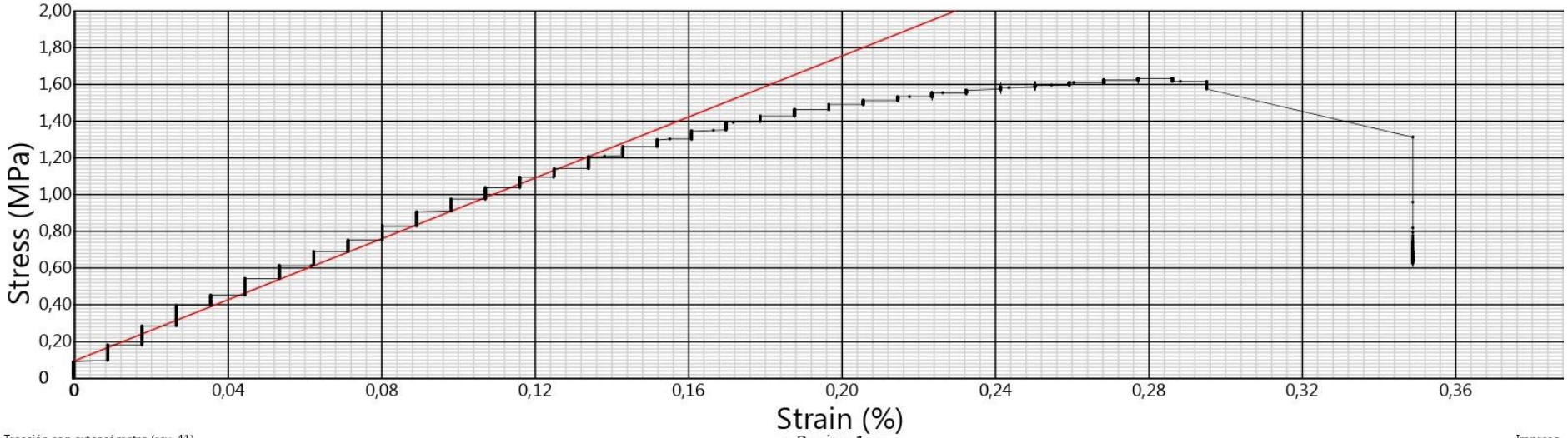
ANEXO III. Resultados de la prueba de tracción – Probeta 2

LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES
TRACCIÓN CON EXTENSÓMETRO

ASTM D3039/ ASTM D638: Tracción con extensómetro

Output Name: Tracción con extensómetro

Width mm	Thickness mm	Area mm²	Modulus MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress MPa	Ultimate Strain %	Total Elongation %	Yield Stress MPa	Yield Strain %	Yield Force N	Break Force N	Break Stress MPa
25,61	4,67	119,60	829,32	195,00	1,63	0,28	0,35	1,63	0,28	195,00	75,83	0,63



Tracción con extensómetro (rev. 41)
v10.0.11.0

- Pagina 1 -

Impreso
Escuela Politecnica Nac

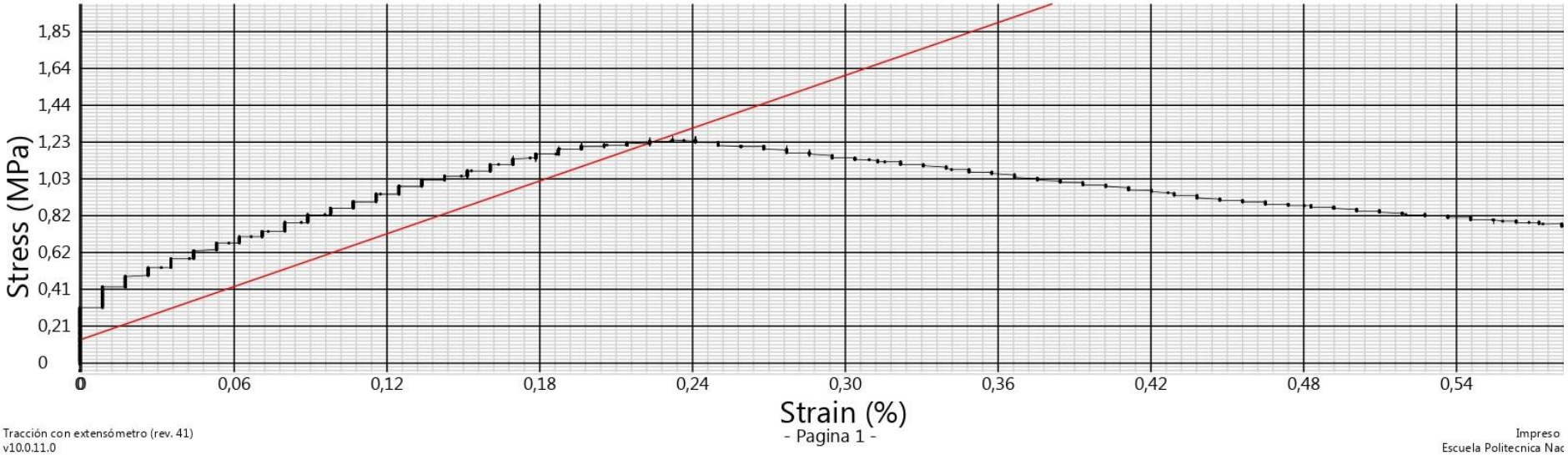
ANEXO IV. Resultados de la prueba de tracción – Probeta 3

LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES
TRACCIÓN CON EXTENSÓMETRO

ASTM D3039/ ASTM D638: Tracción con extensómetro

Output Name: Tracción con extensómetro

Width mm	Thickness mm	Area mm²	Modulus MPa	Ultimate Force N	Ultimate Stress MPa	Ultimate Strain %	Total Elongation %	Yield Stress MPa	Yield Strain %	Yield Force N	Break Force N	Break Stress MPa
26,60	4,37	116,11	489,86	144,17	1,24	0,24	0,60	1,24	0,24	144,17	86,67	0,75



Tracción con extensómetro (rev. 41)
v10.0.11.0

- Pagina 1 -

Impreso
Escuela Politecnica Nac

CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

INF.No 22 - 0443-I
Hoja 01 de 01

Quito, 14 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: ALEJANDRA GISSELA QUISHPE HARO; ANDREA ELIZABETH SASIG ANDRADE
Dirección: LADRON DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCIA
Teléfono: 0979042981; 0979302798

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: OBTENCIÓN DE MATERIAL COMPUESTO BIODEGRADABLE CON FIBRAS NATURALES EMPLEANDO ALMIDÓN DE ACHIRA PARA PRODUCTOS DE UN SOLO USO
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: MUESTRA 1
UBICACIÓN: MIRAFLORES ALTO, CALLE JOSE GONZALES OE 16-19. SECTOR: SAN JUAN. QUITO, ECUADOR
PROFUNDIDAD: ***
NORMA: ASTM 2487-17

FECHA DE ENSAYO: 2022-09-13

DATOS DE LA MUESTRA	
MÉTODO DE PREPARACIÓN:	VÍA HÚMEDA
MÉTODO DE REMOCIÓN DE PARTÍCULAS ≥ 0.425 mm:	HUMEDAD NATURAL
PRESENCIA DE DIFERENTES ESTRATOS:	NO
PRESENCIA DE MATERIAL ORGÁNICO:	SÍ
TAMAÑO MÁXIMO APROXIMADO DE PARTÍCULA (mm):	9,500

RESUMEN DE RESULTADOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD, W (%)=	33
LÍMITE LÍQUIDO, LL (%) =	34
LÍMITE PLÁSTICO, LP (%) =	28
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, IP (%) =	6
CLASIFICACIÓN SUCS=	ML

DESCRIPCIÓN:
Limo arenoso inorgánico de baja plasticidad

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216-19)		
MÉTODO DE ENSAYO:	MÉTODO A (1%)	
PRUEBA N°	1	2
ID. CÁPSULA	L103	D25
Peso cápsula (g)	9,64	9,41
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	100,64	100,50
Peso cápsula + suelo seco (g)	78,09	77,72
Contenido de humedad (%)	33	33

LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D4318-17)		
TIPO DE RANURADOR:	PLANO	
MÉTODO DE ENSAYO:	UN PUNTO (MECÁNICO)	
N° golpes	22	22
ID. CÁPSULA	S-125	M15
Peso cápsula (g)	9,96	9,81
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	25,55	23,07
Peso cápsula + suelo seco (g)	21,47	19,63
LL_n (%)	34,5	34,5

LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D4318-17)		
MÉTODO DE ENSAYO:	ENROLLADO MANUAL	
PRUEBA N°	1	2
ID. CÁPSULA	M34	N22
Peso cápsula (g)	9,53	9,88
Peso cápsula + suelo húmedo (g)	16,34	17,43
Peso cápsula + suelo seco (g)	14,86	15,80
Contenido de humedad (%)	28,0	27,0

GRANULOMETRÍA (ASTM D6913-17)

PESO INICIAL (g):		75,10	PESO CORREGIDO (g):		56,47
TAMIZ No.	ABERTURA TAMIZ (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE (%)
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,750	0,62	1,09	1,09	98,91
No. 10	2,000	1,31	2,31	3,41	96,59
No. 20	0,850	1,86	3,30	6,70	93,30
No. 40	0,425	3,96	7,01	13,71	86,29
No. 60	0,250	5,42	9,60	23,31	76,69
No. 100	0,150	5,06	8,97	32,28	67,72
No. 140	0,106	3,03	5,36	37,64	62,36
No. 200	0,075	2,81	4,98	42,62	57,38
BANDEJA	-	32,40	57,38	100,00	0,00
	TOTAL	56,47			

RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA	
CONTENIDO DE GRAVA, (%)=	1
CONTENIDO DE ARENA, (%)=	42
CONTENIDO DE FINOS, (%)=	57
Cu=	***
Cc=	***

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio o bajo las condiciones en las que se recibieron.
El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING CIVIL EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec