

# 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

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

ALEJANDRA GISSELA QUISHPE HARO

[alejandra.quishpe@epn.edu.ec](mailto:alejandra.quishpe@epn.edu.ec)

DIRECTOR: ING. MARÍA VERÓNICA SOTOMAYOR GRIJALVA, MSc.

[veronica.sotomayor@epn.edu.ec](mailto:veronica.sotomayor@epn.edu.ec)

Quito, agosto 2022

## CERTIFICACIONES

Yo, ALEJANDRA GISSELA QUISHPE HARO 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.

*Gissela Quishpe.*

**ALEJANDRA GISSELA QUISHPE HARO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ALEJANDRA GISSELA QUISHPE HARO, bajo mi supervisión.

*Verónica Sotomayor*

**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.

ALEJANDRA QUISHPE

ING. VERÓNICA SOTOMAYOR

ING. SANTIAGO CAMACHO

## **DEDICATORIA**

Al esfuerzo y amor constante que mis padres me han brindado, y ha sido la motivación fundamental para cada día continuar y plasmar mis metas, en el camino de formación personal y profesional. De forma muy especial y con mucho amor dedico todo este proceso a mis hermanos Kimberlly y Aarón, para que tengan presente en siempre dar lo mejor en cualquier circunstancia y demostrar que la constancia, humildad, respeto y honradez conforman a un ser humano de calidad y futuro profesional de calidez.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme tener la oportunidad de forjarme en una de las mejores universidades del país como es la Escuela Politécnica Nacional, con docentes que han incentivado con sus conocimientos a siempre aprender más de lo que nos enseñan y compartirlo con los demás.

Un infinito agradecimiento a mis padres Liliana y David por siempre estar a mi lado aconsejándome y demostrándome que con empeño, voluntad y cariño todo es posible en esta vida, también a mis hermanos Kimberlly y Aarón que con solo mirarlos me alegran cada día, con sus ocurrencias y sonrisas me impulsan a ser mejor.

Agradezco a Andrea mi compañera de tesis, con quien hemos avanzado este trabajo con dedicación y esmero, para culminarlo de la mejor manera. También a nuestra tutora de tesis la Ingeniera Verónica Sotomayor que en conjunto con el Ingeniero Santiago Camacho nos han guiado durante el proceso de desarrollo de tesis, adicionalmente al personal en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos y Laboratorio de Nuevos Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica, también por su colaboración en cuanto al uso de equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional.

# 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.....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Alcance .....	3
1.4. Marco teórico .....	4
1.4.1. Materiales compuestos .....	4
1.4.2. Materiales compuestos biodegradables.....	4
1.4.3. Almidones en materiales compuestos.....	6
1.4.4. Almidón de achira .....	7
Características .....	8
Propiedades .....	9
Obtención del almidón.....	10
1.4.5. Refuerzos naturales .....	14
Fibras naturales.....	14
Tipos de fibras y sus características .....	15
1.4.6. Procesamiento de materiales compuestos.....	16
Conformación del BCM (Biodegradable Composite Materials) .....	16
Procesos de transformación.....	16
2. METODOLOGÍA .....	18
2.1 Obtención del almidón de achira .....	18
2.2 Procesamiento y análisis de las fibras naturales .....	19
2.3 Pruebas basadas en parámetros estandarizados.....	21
2.4 Proceso de manufactura.....	22
2.5 Obtención del prototipo del material compuesto.....	22
2.6 Factibilidad de industrialización .....	29

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
3.1 Resultados.....	36
3.2 Conclusiones .....	46
3.3 Recomendaciones .....	48
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
5. ANEXOS.....	52

## RESUMEN

En los últimos años la contaminación ambiental ha incrementado, debido al uso indiscriminado de productos plásticos de un solo uso como vajillas, vasos, utensilios, etc. Sin embargo, algunas industrias trabajan con materiales compuestos a base de fibras naturales provenientes de fuentes renovables, permiten darles una nueva aplicación y al ser desechados estos productos se degradan en un menor tiempo en comparación con los plásticos convencionales.

El enfoque de este trabajo es el aprovechamiento de fibras naturales y la aplicación de una matriz polimérica biodegradable a partir del almidón de achira polimerizado con citrato de sodio, para conformar un material compuesto biodegradable capaz de aplicarse a la fabricación de un plato biodegradable. Entonces, primero se obtiene la matriz polimérica, por medio de un software de Diseño de experimentos conocido como Minitab que nos permite obtener un rango de muestras en base a las variables a aplicarse, de estas se van discerniendo debido a la presencia de hongos y fragilidad que presentan, obteniendo una muestra final de buena apariencia y resistente, curada a temperatura ambiente de 23°C en una duración de 18 días.

Esta matriz es reforzada con cascarilla de arroz previamente procesada, en una proporción del 6% del peso total de la matriz a una temperatura de 80°C en un horno mufla, se realizan pruebas basadas en parámetros estandarizados para biodegradabilidad, resistencia a temperaturas altas y bajas, contención de líquidos, y pruebas mecánicas. Se define el proceso de manufactura para obtener el prototipo y con ello un análisis de factibilidad industrial.

**PALABRAS CLAVE:** material compuesto, matriz polimérica, fibra natural, Minitab, biodegradabilidad, pruebas.



## ABSTRACT

In recent years, environmental pollution has increased due to the indiscriminate use of single-use plastic products such as dishes, cups, utensils, etc. However, some industries are working with composite materials based on natural fibers from renewable sources, allowing to give them a new application and when discarded these products degrade in a shorter time compared to conventional plastics.

Thus, the focus of this work is the use of natural fibers and the application of a biodegradable polymeric matrix from achira starch polymerized with sodium citrate, to form a biodegradable composite material capable of being applied to the manufacture of a biodegradable plate. Then, first the polymeric matrix is obtained, by means of a software of Design of Experiments known as Minitab that allows us to obtain a range of samples based on the variables to be applied, of these they are discerned due to the presence of fungi and fragility that they present, obtaining a final sample of good appearance and resistant, cured at room temperature of 23°C in a duration of 18 days.

This matrix is reinforced with rice husk previously processed, in a proportion of 6% of the total weight of the matrix at a temperature of 80°C in a muffle furnace, tests are carried out based on standardized parameters for biodegradability, resistance to high and low temperatures, liquid containment, and mechanical test. The manufacturing process is defined to obtain the prototype and with it an industrial feasibility analysis.

**KEYWORDS:** composite material, polymeric matrix, natural fiber, Minitab, biodegradability, testing.

# 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El uso indiscriminado de productos plásticos y el manejo deficiente de desechos, es un problema actual de contaminación ambiental a nivel mundial, ya que se estima que el 70% de desechos plásticos se encontrarán en océanos y veraderos, y el 12% serán incinerados causando que estas partículas provoquen enfermedades respiratorias a zonas vulnerables debido a la contaminación del aire. [1]

Los productos de un solo uso fabricados a partir de derivados del petróleo como son los plásticos que tardan entre 100 y 1 000 años en desintegrarse, sin embargo, gran parte de los plásticos al descomponerse se fragmentan en partes pequeñas sin desaparecer por completo. [2]

Es así, que en algunas ciudades de América Latina han optado por tomar medidas de prohibición de productos plásticos como fundas, envases de poliestireno entre otros.

En la ciudad de Quito en Ecuador, el Municipio de la ciudad junto con la Comisión Ambiental han creado una Ordenanza de “prohibición de plásticos de un solo uso”, misma que ha sido aprobada el 20 de abril del 2021. Los productos fabricados con materiales como poliestireno expandido son utilizados para la fabricación de envases destinados a negocios de comida, los cuales deben ser reemplazados por materiales compuestos biodegradables que permitan reducir la contaminación, a través de un tiempo corto de degradación. [3]

Ecuador al poseer una gran diversidad de plantas, puede aprovechar los desechos producidos al cosechar los productos agrícolas, como son hojas, raíces o tubérculos, con la finalidad de procesar si es necesario estos desechos y transformarlos en un nuevo material que permita la fabricación de envases ecológicos manteniendo características similares a los envases plásticos, es decir, su resistencia en peso y temperatura, con la diferencia de disminuir su tiempo de degradación.

Las fibras naturales son obtenidas de hojas, cascaras o partículas de un material orgánico, se encuentran en una proporción de 5 al 30% en peso total de la matriz. Para que el material compuesto sea considerado biocompuesto debe ser totalmente biodegradable, por lo tanto, su matriz polimérica debe poseer un polímero natural como el almidón que está conformado por amilosa y amilopectina. [1]

Para obtener un material termoplástico a partir del almidón nativo, debe transformarse los puentes de hidrógeno iniciales con puentes de hidrógeno que se forman con el plastificante (macromoléculas de amilosa y amilopectina), y esto a su vez se refuerza con fibras

naturales para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto biodegradable obtenido.

El presente proyecto está enfocado en la obtención de un material compuesto biodegradable con fibras naturales como es la cascarilla de arroz empleando almidón de achira polimerizado con citrato de sodio, para aplicarlo en la fabricación de platos biodegradables que permitan reducir la contaminación ambiental en un plazo corto de tiempo. [1]

## **1.1. Objetivo general**

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

## **1.2. Objetivos específicos**

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

## **1.3. Alcance**

El alcance de este trabajo de titulación es la obtención de un material compuesto biodegradable, a partir de la aplicación de almidón de achira con citrato de sodio y fibras naturales, que cumpla con las características y propiedades mecánicas para que sea una alternativa que por medio del proceso de manufactura pueda reemplazar a envases utilizados en negocios de comida rápida. De tal manera que se aprovechen productos orgánicos para su fabricación considerando la fibra de la cascarilla de arroz, que cumplirán su función de refuerzo considerando una orientación aleatoria, ya que sus fibras son cortas se pretende mantener mayor rigidez y estabilidad del material.

## **1.4. Marco teórico**

### **1.4.1. Materiales compuestos**

Los materiales compuestos son conformados por una matriz y un refuerzo, la combinación de ambos permite obtener un material con mayor resistencia estructural en comparación de su aplicación por separado.

La matriz se presenta como un elemento continuo que funciona como adherente, permite distribuir y transferir las cargas al refuerzo.

El refuerzo se encuentra generalmente de forma discontinua, suele presentarse como fibras (continua o discontinua) o partículas, aporta rigidez y resistencia al material compuesto.

Las fibras pueden distribuirse de forma homogénea o aleatoria, su orientación depende de la aplicación y cargas que se requiere soportar. [4]

### **1.4.2. Materiales compuestos biodegradables**

Para ser considerado un material compuesto biodegradable debe contener elementos naturales como es el caso de almidones para la conformación de la matriz polimérica y fibras de hojas, cáscaras o residuos de alimentos que serán utilizados como refuerzo de la matriz.

La composición de los materiales compuestos biodegradables permite su descomposición en un menor tiempo en comparación con los materiales descartables que se usa para fabricar productos de un solo uso como es el poliestireno expandido (plástico) y cartón. Por lo tanto, se requiere de un tipo de matriz polimérica u orgánica que junto a sus fibras de refuerzo cumplan con las propiedades y características de los productos de un solo uso, además se garantice su descomposición en un tiempo considerable.

A continuación, en la figura 1 se muestran los tipos de materiales para matrices poliméricas:

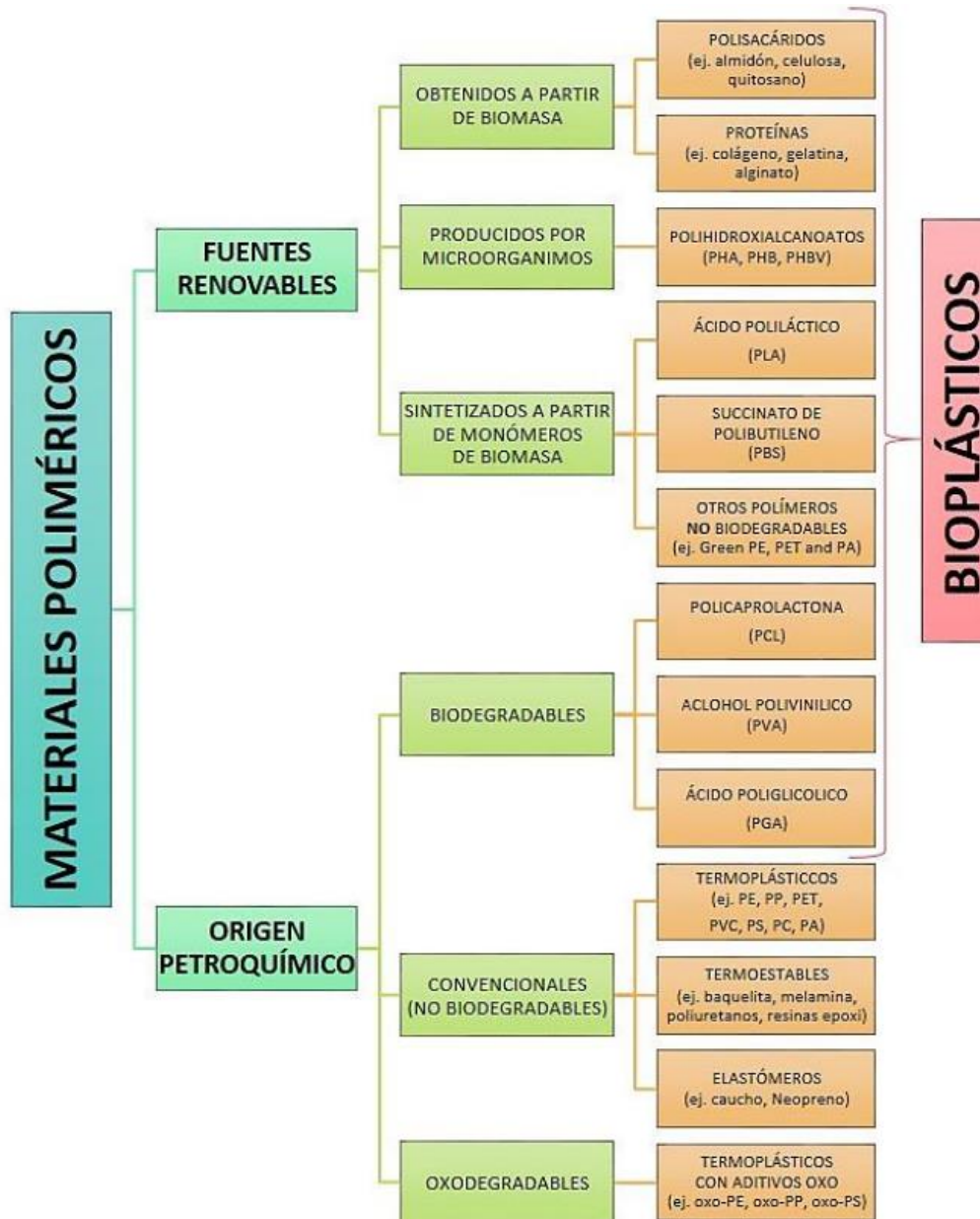


Figura 1. Tipos de materiales poliméricos. [5]

Los materiales poliméricos de fuente renovable como los obtenidos a partir de biomasa son aplicados en este trabajo, como es el almidón de achira.

Los envases biodegradables son fabricados a partir de elementos procedentes de fuentes renovables, su degradación se efectúa al ponerse en contacto directo con tierra, plantas, microorganismos y hongos, lo que produce la descomposición del material en dióxido de carbono, partículas inorgánicas y biomasa. El tiempo para que el material se descomponga dependerá de la forma, tamaño y espesor del producto.

Por ejemplo:

- Los films tienen espesores pequeños lo cual conlleva a un tiempo menor de descomposición, en comparación con objetos que presentan un mayor espesor.

[5]

- Verónica Caguana en su trabajo menciona que el tiempo de descomposición de una vajilla fabricada a base de la hoja de plátano es aproximadamente 28 días, su almacenamiento está en el rango de seis a doce meses. [6]
- En la norma EN13432 se establece que los productos plásticos de compost (transformarse en CO<sub>2</sub>) tienen que descomponerse en 12 semanas y se biodegraden (desintegrarse en biomasa y agua) en seis meses. [7]
- El proyecto investigativo y experimental de Kaire Torn, George Martin y Greta Reialu muestra resultados del tiempo de descomposición total de fundas 100% biodegradables al encontrarse en agua de mar en un período de 3 a 5 meses, sin embargo, los platos biodegradables se desintegraron parcialmente en una duración de 3 a 4 meses, tanto en el mar como enterrado en el suelo. [7]

El poliestireno es el material más utilizado para fabricar artículos necesarios en locales destinados a servir comida rápida como son vasos, utensilios, vajillas entre otros elementos desechables, este material tarda aproximadamente 500 años en descomponerse, a diferencia de una vajilla biodegradable cuyo tiempo de descomposición dura de 60 a 90 días. [6]

### **1.4.3. Almidones en materiales compuestos**

El almidón es un polímero natural, en forma de granos que contienen macromoléculas ordenadas por capas, su composición y cantidad va a depender de la fuente de la cual proviene.

Las macromoléculas se encuentran frecuentemente en 20% de amilosa (capas internas) y 80% de amilopectina (capas externas), siendo esta última el componente principal para provocar la cristalización de gran parte de los almidones.

El almidón tiene propiedades de resistencia mecánica y flexibilidad que depende de la relación de las macromoléculas antes mencionadas, esto se vincula al tipo de planta del cual proviene.

Los almidones conforman la matriz polimérica junto a otros componentes, y al adherir fibras este se convierte en un material compuesto biodegradable, ya que su composición natural le permite desintegrarse en un tiempo menor a un año. [8]

#### 1.4.4. Almidón de achira

La planta de achira es originaria de la zona de los Andes en Sudamérica, también se han asentado en varios países del mundo, incluso en África, Asia y Australia. Esta planta, como se puede ver en la figura 2, tiene una altura que oscila entre 1 y 2,5 m; presenta rizomas que maduran a los 10 y 12 meses presentando un tamaño que va de 10 a 15 cm de diámetro y hasta 20 cm de largo. En Ecuador existen algunos productores de la planta de achira o chuno. [9]



Figura 2. Planta de achira [10]

Para sembrar la planta de achira la tierra debe ser previamente preparada, de esta manera se evita el uso de fertilizantes, puede ser sembrada sola o con otros cultivos como maíz, arveja, etc. [11]

El almidón de achira se obtiene a partir de los tubérculos de la planta de achira, esto puede apreciarse en la figura 3, los rizomas ramificaciones de los tubérculos, y se encargan de almacenar sustancias de reserva, este almidón tiene un alto grado de amilosa que es proteína indispensable para definir la calidad de productos ya procesados.





Figura 3. Tubérculos, rizomas de achira. [11]

### Características

La planta de achira presenta ciertas características favorables para su producción como son:

- Cultivo factible en el transcurso del año.
- No requiere de la aplicación de químicos ni en la siembra ni cosecha.
- Las plantas no son propensas a plagas que afecten al almidón. [12]

Los tubérculos de achira proporcionan carbohidratos en forma de almidón, fibras, aporte calórico y nutritivo. En la figura 4 se muestran sus características físicas.

Color	Blanco grisáceo
Olor y sabor	Neutro
Textura	Polvosa
Humedad	13,6 – 23,4
Proteína	0,18 – 0,71
Grasa	0,048 – 0,09
Cenizas	0,17 – 0,4
Fibra	0,0023 – 0,0053

Figura 4. Características del almidón de achira. [13]

## Propiedades

El almidón de achira presenta buenas propiedades fisicoquímicas, que le permite resistir a procesos industriales estresantes mucho mejor que los cereales, es considerado como producto orgánico y al encontrarse correctamente almacenado este tiene una durabilidad de un año.

El alto contenido de amilosa permite que el almidón se resista a la esterilización, también ayuda a la gelificación de ciertos productos como la pasta durante su proceso de enfriamiento siendo esta temperatura 61,2 °C y viscosidad máxima de 1113 mPa.s.

Además, este almidón tiene un mayor grado de retrogradación que produce que el almidón gelatinizado incremente su firmeza y rigidez durante su enfriamiento. [13]

En la figura 5 se presentan las Propiedades fisicoquímicas y contenido del almidón de achira.

<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Humedad	%	12,27
Carbohidratos	%	87,14
Proteína	%	0,15
Grasa	%	0,06
Fibra	%	0,00
Cenizas	%	0,24
Azúcares	%	64,26
Vitamina A	UI/100g	<20,00
Vitamina C	mg/100g	<5,00

Figura 5. Propiedades fisicoquímicas del almidón de achira. [14]

La figura 6 muestra el contenido de minerales presentes en el almidón de achira.

Almidón	*Hierro (ppm)	*Calcio (%)	*Sodio (%)	Potasio (mg/100g muestra)
Achira	90,00	0,06	0,02	13,33

Figura 6. Composición de minerales presentes en el almidón de achira. [14]

## Obtención del almidón

Para la obtención del almidón de achira se requiere del siguiente proceso:

### 1. Cosecha

Se realiza en tiempo no lluvioso, es así, que habrá mayor rendimiento del almidón. La cosecha se ejecutará hasta 10 meses después de su siembra.

### 2. Limpieza de rizomas

Su labor se facilita cuando la cosecha se ha realizado en tiempo seco, se limpia los rizomas de forma manual con herramientas de cosecha para cortar raíces, tallos y retirar la tierra. Al trabajar en época lluviosa demanda mayor tiempo y mano de obra.

### 3. Transporte de los rizomas

Previo al traslado los rizomas deben ser encostalados, en base a la distancia por recorrer hacia el lugar del siguiente proceso puede llevar al hombro, carretilla o vehículos.

### 4. Lavado de rizomas

Esta etapa puede llevarse a cabo con una lavadora mecánica o con un lavado manual por inmersión como se puede apreciar en la figura 7, este último consiste en colocar los rizomas en un contenedor con cierto porcentaje de agua este se agita fuertemente para remover las impurezas adheridas a los rizomas, se estiman siete cambios de agua para seguir con el proceso de rallado.



Figura 7. Lavado de rizomas. [15]

### 5. Rallado de rizomas

Se realiza de forma manual como se muestra en la figura 8, o utilizando un rallador mecánico, su propósito es que la fibra del rizoma se corte de esta forma se libera el almidón.



Figura 8. Rallado manual de rizoma con rallador metálico. [15]

### 6. Colado

También conocido como tamizado, se lleva a cabo de forma manual mediante un marco metálico que contiene a la malla sintética y sostiene la masa recolectada durante el proceso de rallado, esta masa contiene material vegetal macerado, fibra, raicillas y almidón, esto se puede ver en la figura 9,. Al agitar toda esta masa se va separando el almidón de las otras partículas. Debe verificarse que la masa no contenga pigmentación café o negra, ya que este almidón será rechazado debido a las impurezas presentes como son arcillas, arena y lodo, que se quedan adheridas al rizoma al no tener una adecuada limpieza.



Figura 9. Tamizador. [15]

### 7. Decantado del almidón o desmanche

Este subproceso posibilita la separación del almidón del agua de la lechada producto del tamizado, su rango de duración esta entre los 15 a 30 minutos. La etapa de sedimentación es apropiada para retirar las impurezas como se observa en la figura 10.



Figura 10. Decantado del almidón de achira. [15]

### 8. Limpieza del almidón

Se requiere obtener un almidón de buena calidad, es decir, sin presencia de residuos; es así que esta operación necesita un rango de 4 a 7 lavadas que se estima en base a la cantidad de almidón y calidad del agua, ya que, consiste en operaciones sucesivas de adición de agua, decante y evacuación del agua.

### 9. Secado

Esta etapa dura de 3 a 4 días, a una temperatura alta y aire seco el tiempo de secado será menor. Se lleva a cabo exponiendo el almidón a los rayos del sol como se muestra en la figura 11. Permite eliminar la humedad, misma que es requerida entre el 15% y 17% para su comercialización, debido a las deficiencias en el proceso de secado se admite el contenido de humedad de 20% y 25%.



Figura 11. Secado del almidón a temperatura ambiente. [15]

## 10. Empaque y almacenamiento

El almidón obtenido debe ser de buena calidad, esto en base a la calidad de agua y el número de lavadas, el tiempo de cosecha debe ser en seco no lluvioso y también dependerá de la correcta ejecución de cada etapa del proceso para obtener el almidón; de esta manera se tendrá condiciones ideales para que resista un periodo de almacenamiento de 1 año con una humedad de hasta el 14%. [13]

El sellado de la funda contenedora debe ser en vacío para evitar la filtración de aire y que sea hermético, esto puede apreciarse en la figura 12.



Figura 12. Almidón de achira empacado. [16]

En el estudio bibliográfico realizado por Zoya Quicaña (2014), se muestra el siguiente diagrama de flujo de la figura 13 donde se resume el proceso necesario para la obtención del almidón de achira.

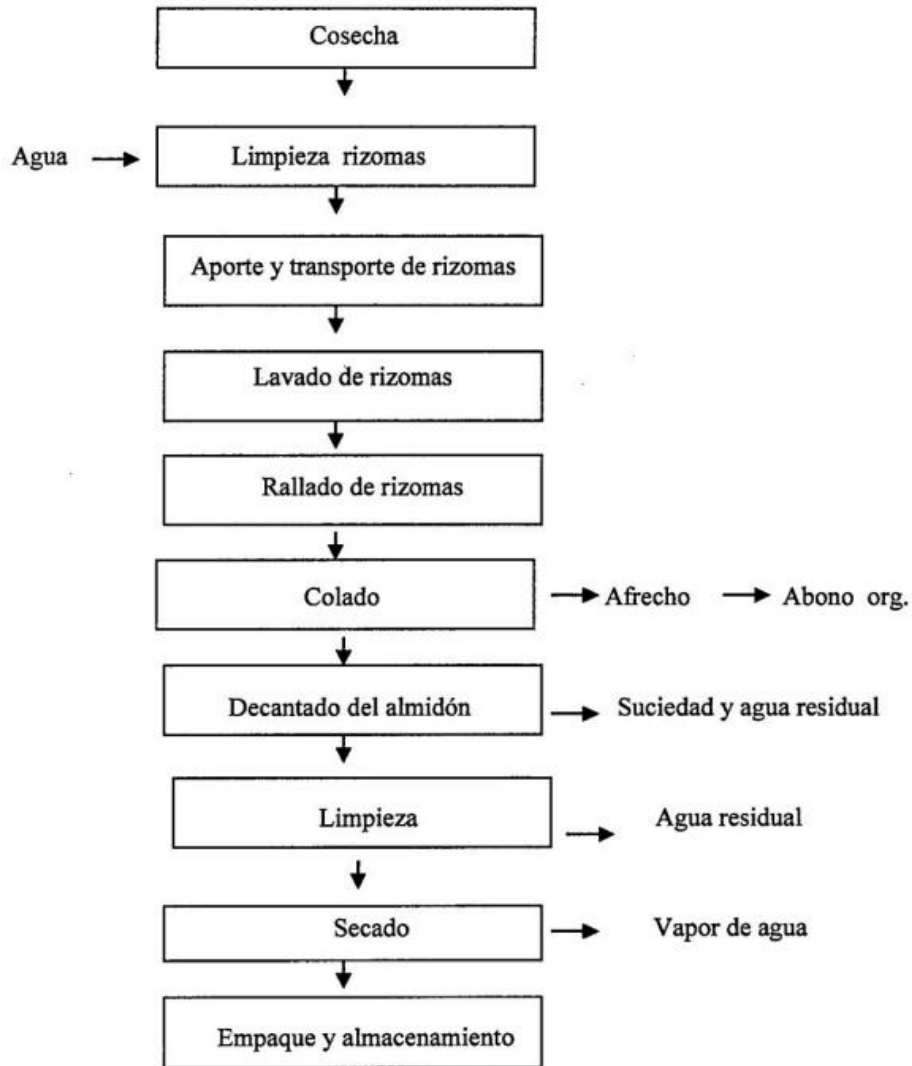


Figura 13. Diagrama de proceso para obtención del almidón de achira. [13]

### 1.4.5. Refuerzos naturales

Los refuerzos naturales provienen de fuentes renovables, ya sea animal, vegetal o mineral. Estos al encontrarse en la naturaleza pueden ser aprovechados para industrializarlos y darles una nueva utilidad, gran parte de estos refuerzos son procesados para obtener fibras largas o cortas, o pulverizado, lo cual dependerá de la utilidad que se requiera dar al producto final.

#### Fibras naturales

Las fibras naturales se han convertido en el refuerzo de los nuevos materiales compuestos biodegradables, ya que además de encontrarse en la naturaleza como residuos o materia prima (agrícola), posee un peso bajo, menor costo y es de fuente renovable. Adicionalmente al servir como refuerzo en una matriz polimérica, estas fibras no pierden sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, al contrario, permiten obtener

un material compacto donde las cualidades individuales se complementan. [17]

Existen innumerables fibras que son desechadas como por ejemplo las hojas de plátano, hojas de achira, cascarilla de arroz, fibra de coco, hojas de la corona de piña, etc., las cuales al ser procesadas tienen otra utilidad.

## Tipos de fibras y sus características

Las fibras naturales se pueden clasificar según su origen y tamaño.

En la Figura 14 se muestran los tipos de fibras naturales en base a su origen.

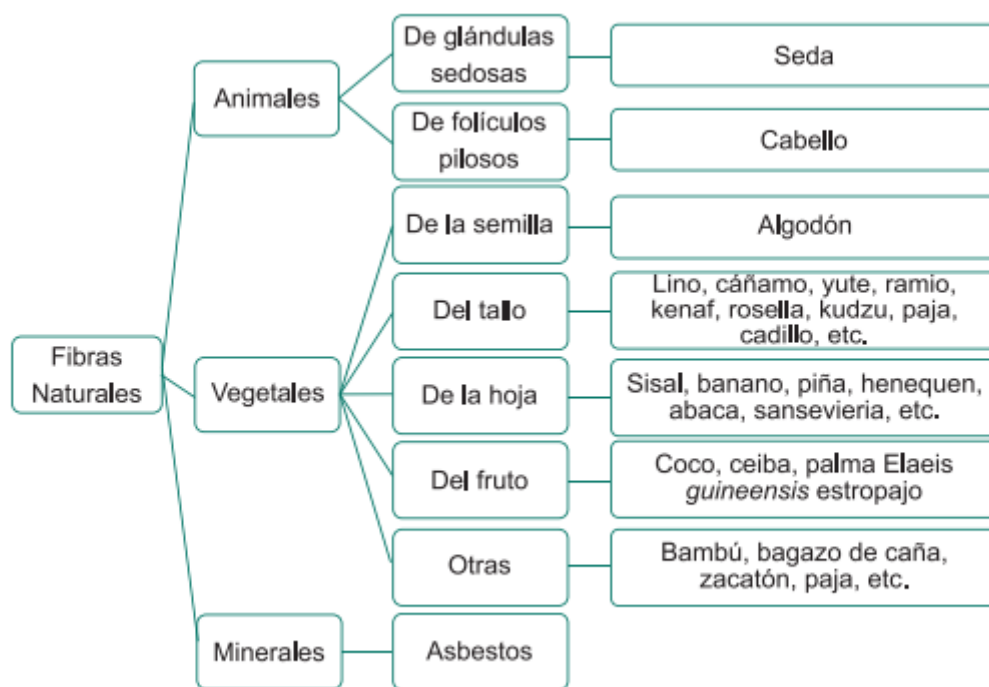


Figura 14. Clasificación de fibras naturales según su origen. [17]

En base al tamaño de las fibras se tiene:

- Microfibras: Son aplicadas de forma aleatoria en la estructura de elementos de construcción, entre las fibras más usadas se tiene a las fibras de acero, vidrio, sintéticas y naturales.
- Microfibras: Se encuentran aplicadas en la superficie del producto para evitar su contracción plástica, entre estas se tiene a fibras de polipropileno, polietileno o nylon. [18]



### **1.4.6. Procesamiento de materiales compuestos**

Para el procesamiento de materiales compuestos biodegradables es importante considerar que las fibras naturales presentan ciertos aspectos poco controlables como son la disparidad o variedad en su forma final, fluctuación de temperatura y debido a su naturaleza hidrofílica es necesario que se realice un secado antes de su aplicación como refuerzo permitiéndole una mejor resistencia a la tracción y módulo de elasticidad en un 10 a 20%. [19]

Este tipo de materiales son procesados a compresión, termoformado, inyección, extracción, etc. La técnica de procesamiento dependerá del tamaño, forma y dirección en la que se distribuirán las fibras. Entre los tipos de orientación de las fibras se tiene dirección longitudinal, transversal, y aleatoria.

#### **Conformación del BCM (Biodegradable Composite Materials)**

En la actualidad varias industrias han implementado el uso de materiales compuestos a partir de una matriz polimérica biodegradable, que al complementar con fibras naturales permiten obtener buenas propiedades mecánicas, siendo capaces de reemplazar ciertos artículos industriales y de uso cotidiano.

Los materiales compuestos por matriz polimérica de fuentes naturales y renovables son cada vez más utilizados debido a su corto periodo de degradación y el compost que genera, entre estos se encuentra el PLA, lignina, almidón, entre otros. [20] Entre sus aplicaciones están:

- Industria alimenticia: En base al PLA se tiene empaques para alimentos, envases antifúngicos, etc.
- Bandejas biodegradables fabricadas a partir de fécula de maíz, tienen un proceso de extrusión para obtener la lámina de polímero y se procede a prensar para obtener la bandeja. [21]

Para el presente trabajo se obtendrán platos biodegradables en base a la obtención de un material compuesto con fibra natural como la cascarilla de arroz, a partir de almidón de achira con citrato de sodio.

#### **Procesos de transformación**

Se obtiene la mezcla total de la fibra de cascarilla de arroz y la matriz polimérica a partir del almidón de achira, se coloca en el molde hembra y con el molde macho se comprime, realizando un proceso de manufactura por conformado manual aplicando una pequeña

fuerza hasta llegar al tope del molde hembra.

Se deja reposar por 15 minutos y se retira el molde macho, obteniendo la forma en el molde hembra que se ingresará al horno por un tiempo de 3 horas.

Se retira el molde del horno y se coloca dos capas de matriz polimérica para aportar mayor resistencia a la carga que se exponga.

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se describe el trabajo experimental desarrollado para la obtención del material compuesto biodegradable, como también materiales, equipos e instrumentos utilizados. Además, se establecen pruebas basadas en parámetros estandarizados, como pruebas de biodegradabilidad, de resistencia a altas y bajas temperaturas del prototipo, y contención de líquido a temperaturas de 15°C y 80°C.

Se define el tipo de fibra y su tamaño, para poder ser procesado junto con la matriz polimérica, estableciendo parámetros de temperatura, y tiempo de calentamiento. Finalmente se define el proceso de manufactura viable para la obtención del prototipo de un plato biodegradable, las dimensiones del molde, y estimación de costos.

### 2.1 Obtención del almidón de achira

En la sección del marco teórico se describe el proceso a seguir para la obtención del almidón de achira. Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado almidón de achira procesado, originario de la provincia de Loja, este producto es comercializado por la empresa Camari. En la Tabla 1 se detallan sus características:

Tabla 1. Informe Nutricional de almidón de achira, presentación de 500 g. [16]

<b>INFORME NUTRICIONAL</b>	
Grasa total	51.88 g
Carbohidratos totales	14.11 g
Fibra dietética	6.41 g
Fósforo	631.13 g
Potasio	726.14 g
Hierro	9.66 g
Proteína	22.20 g

Este producto debe almacenarse en un fresco y seco después de abrirlo, por lo tanto, se

coloca en un contenedor hermético para evitar que el almidón absorba la humedad del ambiente y se formen cúmulos del almidón.

## 2.2 Procesamiento y análisis de las fibras naturales

En Ecuador existen diversos tipos de fibras naturales que pueden aprovecharse después de cumplir su función principal como son hojas de plátano, fibra de coco, fibras de piña, cascarilla de arroz triturada, entre otros.

Inicialmente se eligió trabajar con fibras de piña que son extraídas de la corona de la piña, sin embargo, debido a la dificultad que se presentaba en el tiempo de secado y tamaño uniforme de las fibras, se optó por utilizar cascarilla de arroz, la cual fue separada después de la cosecha de esta, en la ciudad de Daule de la provincia del Guayas en la costa Ecuatoria.

Previo a su aplicación como refuerzo de la matriz polimérica, esta cascarilla siguió un proceso de trituración y tamizado, el cual se ejecutó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la EPN.

Se trituró 5 kilos de cascarilla de arroz en un tiempo de 3 horas, para lo cual se utilizó el molino de cuchillas y la malla usada que se aprecia en la figura 15.



Figura 15. Molino de cuchillas y malla utilizada del Laboratorio de Operaciones Unitarias, EPN. Fuente: Propia

En la figura 16 se aprecia el equipo de tamiz, con sus respectivos tamizadores en el siguiente orden base, tamiz N° 270, 140, 20, 18, 16 y la tapa. El tiempo de tamizado total corresponde a 1h30min, cada tamizada corresponde a 6 minutos.








Figura 16. Tamiz y tamizadores del Laboratorio de Operaciones Unitarias, EPN.

Fuente: Propia

Las fibras de cada tamiz son colocadas en diferentes fundas herméticas para evitar su contaminación. En la tabla 2 se pueden apreciar el tamaño de fibra obtenido en cada tamiz.

Tabla 2 Tamaño de fibras obtenidas después de tamizar. Fuente: Propia.

Tamiz N°16	Tamiz N°18	Tamiz N°20	Tamiz N°140	Tamiz N°270
				
<b>Número de malla</b>				
1.18 mm	1.00 mm	0.85 mm	1.06 mm	0.53 mm

Para el uso de cada una de estas fibras, es necesario realizar un secado para eliminar cualquier tipo de sustancia contaminante.

### **2.3 Pruebas basadas en parámetros estandarizados**

Para pruebas de biodegradabilidad de un elemento las condiciones de un laboratorio permiten evaluar la estabilidad del material, sin embargo, no presentan condiciones ambientales requeridas para que el material se degrade de forma natural. [7]

En base al trabajo investigativo y experimental desarrollado por Kaire Torn & otros se establecen evaluar de forma visual el comportamiento del material compuesto biodegradable de dos formas:

- Enterrado en el suelo.
- Expuesto a la tierra al aire libre.

Las pruebas para conocer la resistencia a ciertas temperaturas que el plato biodegradable obtenido pueda soportar, y contención de líquidos son:

- Ingreso al horno.
- Ingreso al refrigerador.
- Contención de agua a temperatura ambiente.
- Contención de agua en su punto de ebullición.

Las pruebas para determinar las propiedades mecánicas del material compuesto, requiere de probetas estandarizadas, por tal razón se estipula sus dimensiones en base a las normas ASTM D 3039-08 y ASTM 7264-07, para tracción y flexión respectivamente. Sin embargo, estas normas se aplicarán únicamente para obtener las probetas.

Las normas se rigen en materiales de matriz polimérica y son las siguientes:

- ASTM D 3039-08: Determina las propiedades de tracción del material compuesto, las dimensiones para obtener las probetas para este ensayo se visualizan en la figura 17.

Orientación de la fibra	Anchura, mm [pulg.]	Longitud total, mm [pulg.]	Espesor, mm [pulg.]	Longitud de la lengüeta, mm [pulg.]	Espesor de la lengüeta, mm [pulg.]	Ángulo de bisel de la lengüeta, °
0° unidireccional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 o 90
90° unidireccional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
equilibrado y simétrico	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	tela de esmeril	-	-
aleatorio-discontinuo	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	tela de esmeril	-	-

Figura 17. Recomendaciones sobre la geometría de las probetas de tracción. [22]

- ASTM D 7264-07: Esta norma permite determinar propiedades de resistencia y rigidez del material compuesto expuesto a flexión, sus probetas tienen las mismas dimensiones de las probetas de tracción.

## 2.4 Proceso de manufactura

En la figura 18, se detalla el proceso de manufactura a realizarse para la obtención de un plato biodegradable a partir de un material compuesto biodegradable, obtenido con fibras naturales.

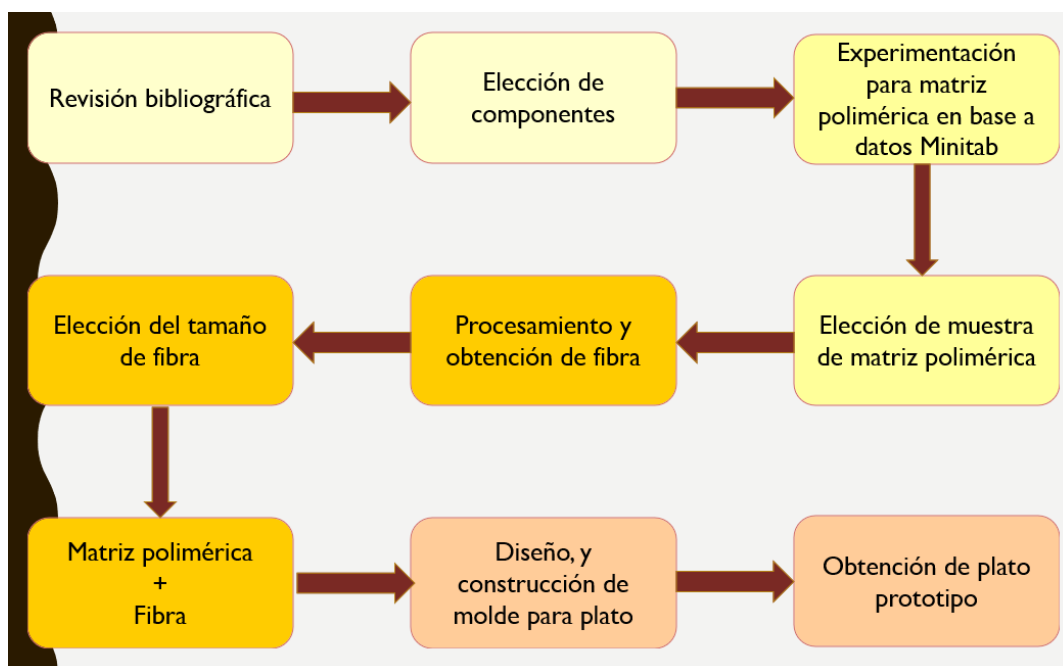


Figura 18. Proceso de manufactura para la obtención de un plato biodegradable.  
Fuente: Propia

## 2.5 Obtención del prototipo del material compuesto

El desarrollo experimental para la obtención de la matriz polimérica biodegradable, se establece a través del software estadístico Minitab que permite obtener un estimado de 16 pruebas adjuntas en el Anexo 1, a partir de la definición de las cuatro variables como


son el almidón de achira, agua destilada, citrato de sodio y glicerina, y una constante como es el vinagre en una proporción de 1 gramo, estos elementos se definieron en base a la revisión bibliográfica de los trabajos investigativos de Luis García y otros (Autor 1), y el trabajo de Liliana Ávila (Autor 2), quienes trabajan con los materiales que se muestran en las Tabla 4.

Tabla 3. Materiales para la obtención de una matriz polimérica biodegradable. [23], [21].

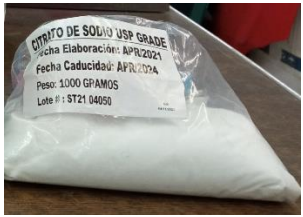



Autor 1	Autor 2
<p>Formación de películas o films.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almidón de achira</li> <li>• WPI (Proteína asilada de suero)</li> <li>• Glicerol</li> <li>• Ácido cítrico</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<p>Matriz polimérica biodegradable para el diseño de bandejas biodegradables.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almidón de maíz</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Vinagre</li> <li>• Glicerina</li> <li>• Citrato de Sodio</li> </ul>

En este trabajo el almidón de achira es uno de los componentes fundamentales para la formación de la matriz polimérica biodegradable, junto con otros insumos que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4. Insumos para obtener una matriz polimérica biodegradable.

Insumo	Descripción	Imagen
<p>Agua destilada</p>	<p>Al no contener sustancias contaminantes, es ideal para ser utilizada en laboratorios, hospitales, etc.</p>	



<p>Citrato de sodio</p>	<p>Conocido también como sal sódica, soluble en agua. La FDA (Food and drug administration) autoriza el uso de este compuesto como aditivo alimentario, no tóxico para la salud.</p>	
<p>Almidón de achira</p>	<p>Polímero de glucosa natural obtenido de los rizomas de la planta de achira, contiene amilosa y amilopectina. [24]</p>	
<p>Glicerina neutra</p>	<p>Sustancia soluble en agua, es gelatinosa y de estado semilíquido. Sus propiedades físicas y químicas disponen su uso en aplicaciones químicas de industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. [25]</p>	
<p>Vinagre blanco</p>	<p>Comúnmente usado en ensaladas, con concentraciones de un 5 o 10% de ácido acético, permite eliminar hongos, microorganismos. [26]</p>	

En la figura 19, se muestran los equipos y materiales utilizados.

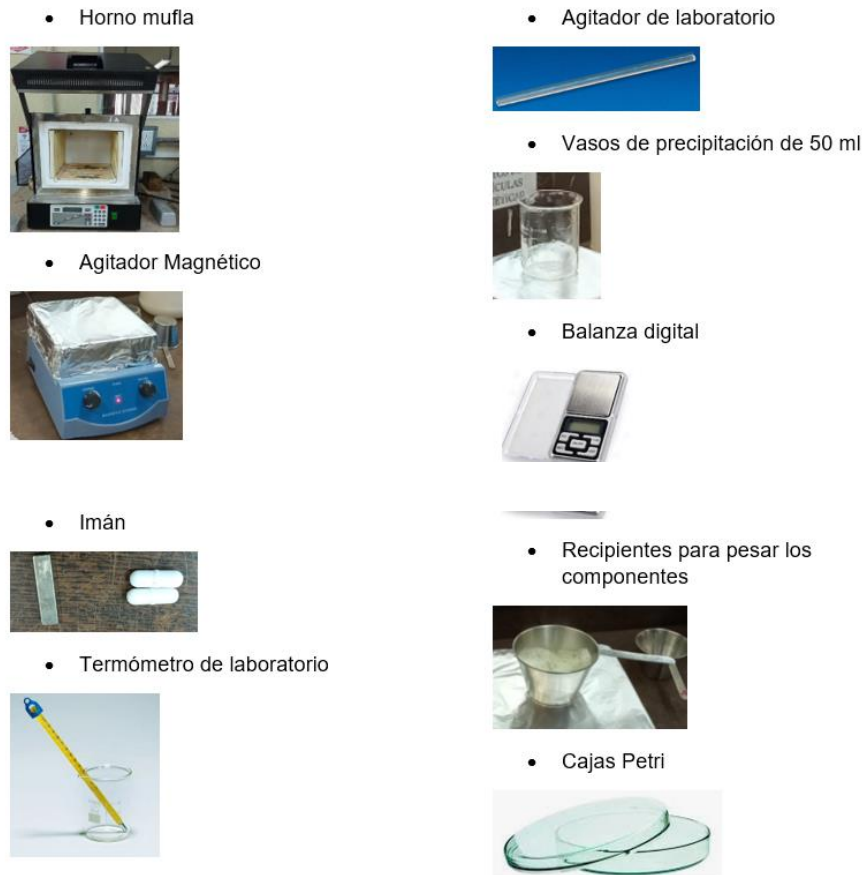


Figura 19. Equipos y materiales. Fuente: Propia.

En el Anexo 2 se muestra el proceso que se llevó a cabo para la obtención de la matriz polimérica, en base a las pruebas experimentales que se realizó; se observó que todas las muestras presentaban hongos, es así, que se incrementó el porcentaje de vinagre en base a la suma de la cantidad de cada componente, y de ese total se colocó el 3% de vinagre en las muestras que presentaron mayor resistencia y espesor.

Finalmente, se discernió las muestras previas debido a la presencia aun de hongos y fragilidad, siendo la muestra final la número dos que presenta una mejor apariencia, resistencia, y espesor.

La siguiente etapa corresponde a la obtención y adhesión de la fibra de cascarilla de arroz a la matriz polimérica biodegradable.

La cascarilla de arroz representa al 20% en peso del grano de arroz, sirve de protección contra el aire y agua, esta fibra tiene una longitud entre 5 a 11 mm, su superficie es irregular y de forma ondulada presentando un volumen poroso del 54%. Además, debido a su coeficiente térmico que es  $0.0360 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$ , puede ser utilizado en la conformación de sistemas de aislamiento térmico, como por ejemplo en la fabricación de ladrillos, bloques,

adoquines, etc.

También cuenta con estabilidad térmica, refiriéndose así que el cambio de sus propiedades físico-químicas inicia en temperaturas superiores a 750 °C, lo que lo convierte en un componente ignífugo, es decir, de combustión lenta. [27]

En la figura 20 se aprecian la composición química de la cascarilla de arroz.

<b><i>ELEMENTOS O COMPUESTOS</i></b>	<b><i>PORCENTAJE O PPM</i></b>
<b><i>Sílice (Sio2)</i></b>	<b><i>10- 12%</i></b>
<b><i>Cenizas</i></b>	<b><i>12-13 %</i></b>
<b><i>Boro</i></b>	<b><i>4-10 Ppm</i></b>
<b><i>Cobre</i></b>	<b><i>3-5 Ppm</i></b>
<b><i>Manganeso</i></b>	<b><i>200-800 Ppm</i></b>
<b><i>Hierro</i></b>	<b><i>200-400 Ppm</i></b>
<b><i>Azufre</i></b>	<b><i>0,12-0,14 %</i></b>
<b><i>Magnesio</i></b>	<b><i>0,10-0,12 %</i></b>
<b><i>Calcio</i></b>	<b><i>0,10-0,15 %</i></b>
<b><i>Potasio</i></b>	<b><i>0,20-0,40 %</i></b>
<b><i>Fósforo</i></b>	<b><i>0,08-0,10 %</i></b>
<b><i>Retención De Humedad</i></b>	<b><i>0,10-0,12 L/L</i></b>
<b><i>Nitrógeno</i></b>	<b><i>0,50-0,60 %</i></b>
<b><i>Cap. Intercambio Catiónico</i></b>	<b><i>2-3 %</i></b>
<b><i>Densidad A Granel</i></b>	<b><i>0,12-0,13 G/MI</i></b>
<b><i>Zinc</i></b>	<b><i>15-30 Ppm</i></b>

Figura 20. Composición química de la cascarilla de arroz. [27]

En la sección 3.2 se describe el procesamiento y obtención de la fibra de cascarilla de arroz, con lo cual se obtienen diferentes tamaños de fibra, es así, que se elige trabajar con lo obtenido en el tamiz N° 20. Esta fibra se añade a la matriz polimérica en un 6% de su peso total, en el transcurso de su preparación, consiguiendo así una mezcla gelatinizada a una temperatura de 65°C en un tiempo de 15 minutos.

La mezcla es vertida en un molde de cobre de 1 mm de espesor, se introduce al horno mufla a una temperatura de 80°C por 3 horas, en el Laboratorio de Ensayos No Destructivos en la Facultad de Ingeniería Mecánica, EPN.

En la figura 21 se puede apreciar la muestra del material compuesto.



Figura 21. Obtención del prototipo del material compuesto. Fuente: Propia.

En tanto para la realización de las probetas de dimensiones estandarizadas se adquirió dos tipos de moldes hechos en acero galvanizado como se puede ver en la figura 22, se aplica desmoldante (aceite en spray) para evitar que la mezcla se adhiriera al molde.



Figura 22. Molde de acero galvanizado para obtener probetas con dimensiones estandarizadas. Fuente: propia.

Para la obtención del prototipo del plato se colocó la mezcla en un peso de 80.22 gramos en el molde hembra (previamente se colocó como desmoldante el aceite en aerosol en

los moldes), y se procedió a colocar el molde macho con una fuerza mínima hasta llegar al tope del molde hembra. Estos moldes son del material acero inoxidable, a continuación, se pueden apreciar en la figura 23, y en la tabla 6 se muestran sus respectivas dimensiones y peso.



Figura 23. Moldes para prototipo de plato hembra (H) y macho (M). Fuente: propia.

Tabla 5. Peso y dimensiones de los moldes hembra y macho para obtener el prototipo del plato.

Molde	Peso [g]	Dimensiones [mm]
Hembra	62.60	Diámetro: 93 Profundidad: 40 Espesor: 2
Macho	54.38	Diámetro: 101.2 Profundidad: 44.3 Espesor: 2

Continuamente se dejó enfriar y reposar por 15 minutos, y se retiró el molde macho, adquiriendo la forma del molde macho para proceder a colocar en el horno doméstico a gas, a una temperatura de 130°C por un tiempo de 3 horas. Este proceso se puede observar en la figura 24.



Figura 24. Obtención de prototipo de plato biodegradable. Fuente: Propia.

Para el desarrollo de los ensayos se obtuvieron cuatro prototipos de platos, y para el ensayo de biodegradabilidad se fabricaron cuatro probetas pequeñas.

## 2.6 Factibilidad de industrialización

En base a la necesidad de la adquisición de envases biodegradables para reemplazar los envases plásticos y cumplir con la Ordenanza de “prohibición de productos plásticos de un solo uso”, los negocios de comida y locales dedicados a la venta de artículos desechables como vasos, bandejas, platos, entre otros, buscan alternativas económicas y que presenten características similares a las vajillas de poliestireno expandido. Por tal razón se realiza un análisis de costos de los insumos requeridos para la fabricación de platos biodegradables como se muestra en la tabla 6, la composición química de la muestra final que se aplicó para obtener el prototipo del plato no contiene citrato de sodio, por lo tanto, no se lo considera.

## **Análisis de mercado:**

El producto para industrializar son platos biodegradables de un solo uso.

Estado de demanda: En algunas ciudades del Ecuador esta vigente la Ordenanza de prohibición de productos de un solo uso, con la finalidad de reducir la contaminación ambiental, se establece que sean reemplazados por materiales biodegradables, de manera que se descompongan en un menor tiempo.

Según el estudio de factibilidad de industrialización de contenedores térmicos realizado por Blanca Gonzabay se establece que los compradores requieren que los productos biodegradables tengan características como resistencia del material, estabilidad y de calidad.

Análisis de oferta: En Ecuador existen empresas dedicadas a la fabricación de productos biodegradables para negocios de comida, sin embargo, su costo es elevado, razón por la cual no es muy asequible por los comerciantes que distribuyen estos productos a negocios de comida. Por esta razón, el objetivo de este proyecto es producir un producto biodegradable de menor costo, que cumpla con los requerimientos del cliente y sea ecológico para que al ser desechados se descompongan en el menor tiempo posible. Es así como se pretende abarcar la comercialización en sectores populares.

Análisis de insatisfacción del producto: Los comerciantes minoristas no consideran como alternativa la adquisición de envases ecológicos, debido a la baja distribución de estos por sectores populares y al desconocimiento de sus características. Se pretende que el cliente conozca las características del producto y su beneficio al ambiente.

Comercialización: Para llevar a cabo la comercialización del producto se plantea estrategias de difusión a través de la radio, revistas digitales, redes sociales, y exposiciones al público donde se puedan conocer más de cerca al producto y que el cliente concientice sobre la necesidad de reducir la contaminación ambiental.

Se realiza un estudio técnico considerando un lugar estratégico que permita abarcar un mercado rentable, como es el sector de Cumbayá, la localización de cuenta con un área de 300 m<sup>2</sup>, además se encuentra en una vía muy transitada como es la Calle 28 C a lado del Centro Comercial Plaza Cumbayá, esto se puede apreciar en la figura

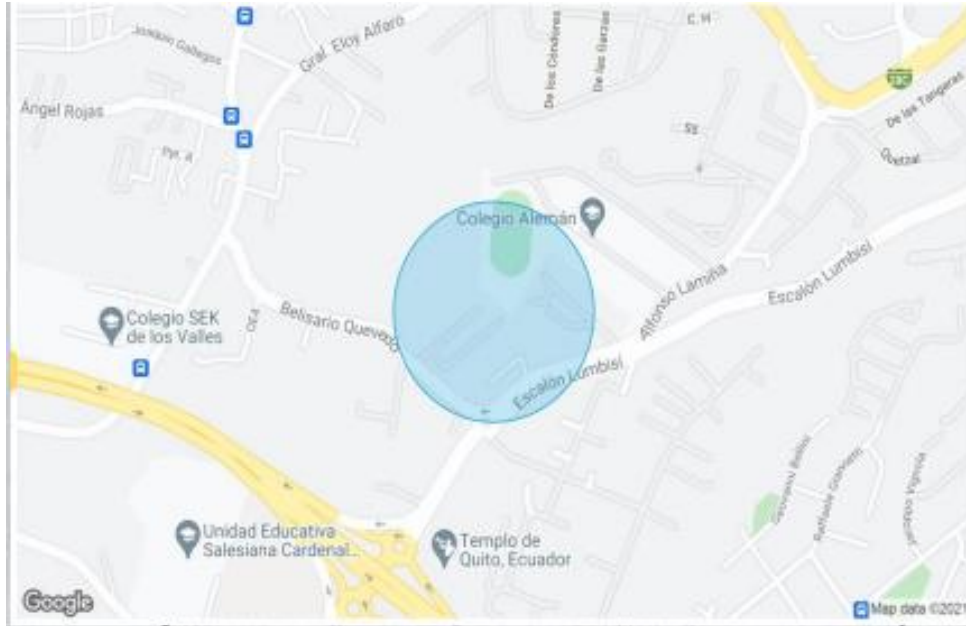


Figura 25. Ubicación comercial. Fuente: google maps.

Capacidad del proyecto: Se estipula una producción máxima de 3 docenas de platos por cada 3 horas diarias, su incremento dependerá de la demanda y comercialización del producto.

Ingeniería de proyecto: En la figura 26 se muestra el proceso ha efectuarse para la producción por lotes de platos biodegradables.

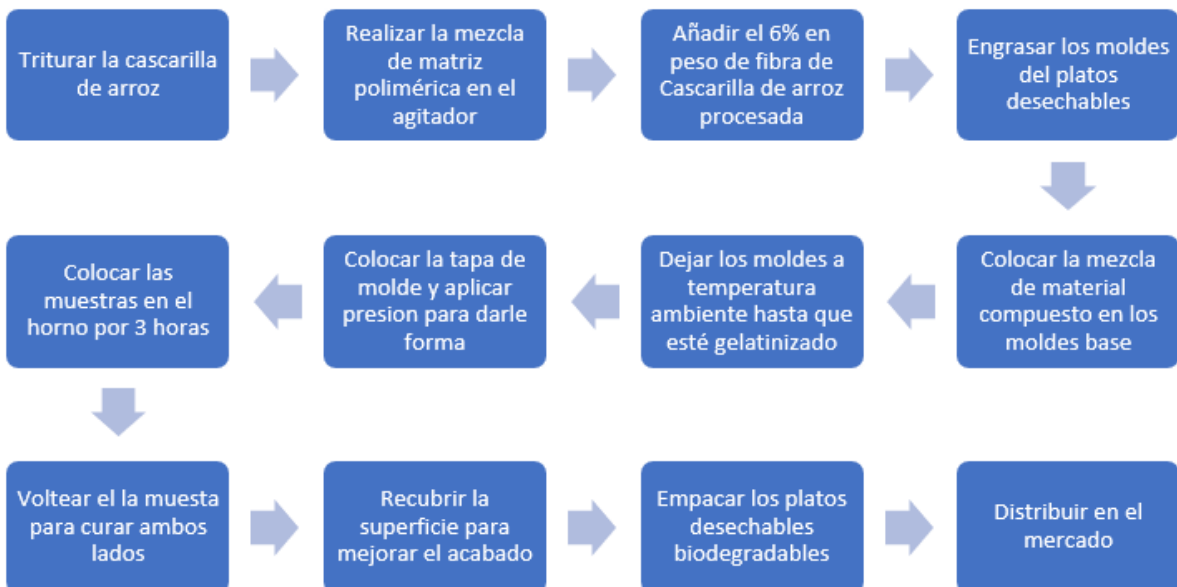


Figura 26. Proceso para producción por lotes de platos biodegradables. Fuente: propia.

Los equipos industriales necesarios se visualizan en la tabla y sus características técnicas se adjuntan en los ANEXOS III.



Tabla 6. Equipos necesarios para la producción de platos biodegradables. Fuente: propia.

<b>EQUIPO</b>	<b>COSTO [\$]</b>	<b>Características</b>
Horno Industrial	3 956.17	6 Kw
Agitador magnético	300	0.1 Kw
Triturador	315	0.696 Kw
Tamizador	330	1,1 Kw
Balanza digital	5	Apreciación de 0.1g, capacidad de 10kg

En la tabla 7 se aprecia el costo de los insumos requeridos para la producción de platos biodegradables.

Tabla 7. Costos de los insumos requeridos para la fabricación de un plato biodegradable. Fuente: propia.

<b>Material</b>	<b>COSTO [\$]</b>	<b>Referencia</b>		<b>Costo</b>		
		<b>Unidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio</b>
Agua destilada (1 galón)	7,50	litro	0,66	0,1	litro	0,07
Almidón de achira (500g)	2,50	kilogramo	2,5	0,01	kilogramo	0,03
Glicerina (1lt)	4,00	litro	4	0,002	litro	0,01
Vinagre (1lt)	1,00	litro	2	0,00336	litro	0,01
Cascarilla de arroz (1kg)	1,00	kilogramo	1	0,122282	kilogramo	0,12
<b>TOTAL</b>						<b>0,23</b>

Factibilidad de producción:

Se realiza un análisis de factibilidad, a través de análisis de precios unitarios, para un plato, una docena y 10 docenas de platos biodegradables.

En base a estos resultados a mayor producción el costo por unidad disminuye, por lo tanto, al producir 3 docenas de platos el costo de cada uno será de \$0.39 siendo bastante accesible al cliente.

En la tabla 8 se realiza el análisis de costos unitarios para la fabricación de un plato biodegradable considerando equipos, mano de obra, y materiales.

Tabla 8. Análisis de precios unitarios para la fabricación de un plato biodegradable  
Fuente: propia.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA UN PLATO</b>					
<b>EQUIPOS</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
E1	Horno eléctrico industrial (6000W)	Kwh	0,09	18,00	1,66
E2	Agitador magnético (100W)	Kwh	0,09	0,03	0,002
<b>SUBTOTAL E</b>					<b>1,66</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Jornal</b>	<b>Costo</b>	
MO1	Operario	3,00	1,77	5,31	
			0,00	0,00	
<b>SUBTOTAL MO</b>					<b>5,31</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
M1	Agua destilada	l	0,66	0,1	0,066
M2	Almidón de achira	kg	2,5	0,01	0,025
M3	Glicerina	l	4	0,002	0,008
M4	Vinagre	l	2	0,00336	0,007
M5	Cascarilla de arroz	kg	1	0,122282	0,122
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>0,23</b>
<b>TOTAL, COSTO DIRECTO</b>					<b>7,20</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 24.50%</b>					<b>1,76</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>					<b>0,00</b>
<b>PRECIO FINAL PARA UN PLATO</b>					<b>8,96</b>

En la tabla 9 se detalla el análisis de precios unitarios para la fabricación de una docena de platos biodegradables.

Tabla 9. Análisis de precios unitarios para la fabricación de una docena de platos biodegradables.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA UNA DOCENA</b>					
<b>EQUIPOS</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
E1	Mufla electrica (6 Kw)	Kwh	0,09	18,00	1,66
E2	Agitador magnético (0,1 Kw)	Kwh	0,09	0,10	0,01
E3	Triturador (0,696 Kw)	Kwh	0,09	0,70	0,06
E4	Tamizador (1,1 Kw)	Kwh	0,09	1,10	0,10
<b>SUBTOTAL E</b>					<b>1,73</b>

<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Jornal</b>	<b>Costo</b>	
MO1	Técnico	3,00	1,77	5,31	
MO2	Ayudante	3,00	1,00	3,00	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>8,31</b>	
<b>MATERIALES</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
M1					
M2	Agua destilada	l	0,66	1,2	0,792
M3	Almidón de achira	kg	2,5	0,12	0,300
M4	Glicerina	l	4	0,024	0,096
M5	Vinagre	l	2	0,04032	0,081
	Cascarilla de arroz	kg	1	1,467379	1,467
<b>SUBTOTAL M</b>				<b>2,74</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>12,78</b>	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 24.50%</b>				<b>3,13</b>	
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>				<b>0,00</b>	
<b>PRECIO FINAL POR DOCENA</b>				<b>15,91</b>	
<b>PRECIO FINAL POR UNIDAD</b>				<b>1,33</b>	

En la tabla 10 se detalla el análisis de costos unitarios para la fabricación de 10 docenas de platos biodegradables.

Tabla 10. Análisis de costos unitarios para 10 docenas de platos biodegradables.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA 10 DOCENAS</b>					
<b>EQUIPOS</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
E1	Mufla electrica (6 Kw)	Kwh	0,09	18,00	1,66
E2	Agitador magnético (0,1 Kw)	Kwh	0,09	0,15	0,01
E3	Triturador (0,696 Kw)	Kwh	0,09	1,04	0,09
E4	Tamizador (1,1 Kw)	Kwh	0,09	1,10	0,10
<b>SUBTOTAL E</b>				<b>1,76</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Jornal</b>	<b>Costo</b>	
MO1	Técnico	3,00	1,77	5,31	
MO2	Ayudante	3,00	1,00	3,00	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>8,31</b>	
<b>MATERIALES</b>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
M1					
M2	Agua destilada	l	0,66	12	7,92
M3	Almidón de achira	kg	2,5	1,2	3,00
M4	Glicerina	l	4	0,24	0,96

M5	Vinagre	l	2	0,4032	0,81
	Cascarilla de arroz	kg	1	14,67379	14,67
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>27,36</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>37,43</b>
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES 24.50%</b>					<b>9,17</b>
<b>OTROS INDIRECTOS 0.00%</b>					<b>0,00</b>
<b>PRECIO FINAL PARA 10 DOCENAS</b>					<b>46,60</b>
<b>PRECIO FINAL POR UNIDAD</b>					<b>0,39</b>

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

##### PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

Las pruebas basadas en parámetros estandarizados para biodegradabilidad se realizaron en un jardín, en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha en Ecuador, entre el mes de julio y agosto [28], teniendo las siguientes condiciones climáticas:

- Temperatura media [°C]: 11.5 – 11.7
- Temperatura mínima [°C]: 8.3 – 8.1
- Temperatura máxima [°C]: 16 – 16.7
- Precipitación [mm]: 116 – 119
- Humedad relativa [%]: 72 – 70
- Días lluviosos: 19 – 20
- Horas de sol [h]: 7.9 – 6.8

En la figura 27 se puede apreciar las muestras previo a ser soterradas y sus dimensiones se especifican en la tabla 11.

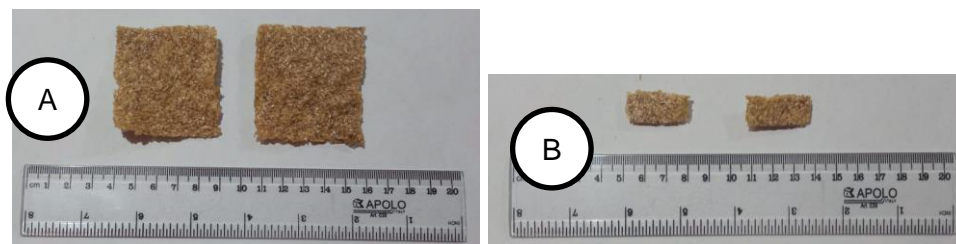


Figura 27. Muestras por soterrarse, A) en el suelo, y B) en un macetero. Fuente: Propia

Tabla 11. Dimensiones de las muestras a soterrarse. Fuente: Propia.

Dimensiones	Muestra A	Muestra B
Largo [cm]	5	3
Ancho [cm]	5	1
Espesor [mm]	2.5	2.5
Peso [g]	3.33	0.44

Estos especímenes fueron expuestos a la tierra durante un mes, la muestra A fue enterrada a una profundidad de 15 cm, mientras que la muestra B fue colocada sobre la tierra de un macetero, como se muestra en la figura 28.



Figura 28. Muestras soterradas. Fuente: Propia.

En la figura 29 se aprecian las muestras finales, observándose que el espécimen A presento desintegración aproximada del 20% y aparición de gran cantidad de gusanos pequeños de color blanco, en cuanto al espécimen B se encuentra fraccionado y distorsionado entre la tierra. Adicionalmente en ambas muestras las fibras presentan un hinchamiento debido a la absorción del agua de riego.



Figura 29. Muestra A extraída del suelo, muestra B retirada de la superficie de la tierra del macetero. Fuente: Propia.

## PRUEBA DE RESISTENCIA A TEMPERATURAS ALTAS Y BAJAS

Para las pruebas de resistencia a temperaturas altas, se lleva a cabo al ingresar en un horno doméstico a gas la muestra 1 del plato, soportando hasta una temperatura de 140°C, en 15 minutos, al retirar el material del horno se presentaba una apariencia de fragilidad, pero no deformación, se procedió a colocar 44.25 mililitros de agua con una temperatura de 15 °C, el desarrollo de esta prueba se aprecia en la figura 30. A partir de los 2 minutos la muestra presento filtraciones, quedando como residuo 32.16 mililitros, estos datos pueden apreciarse en la tabla 13.

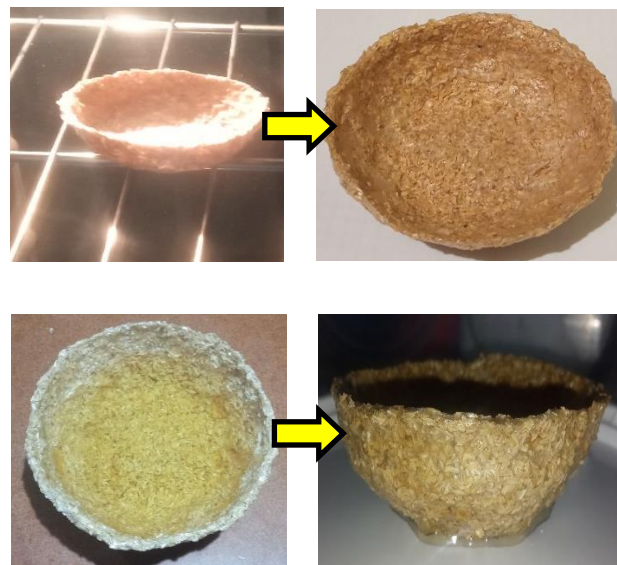


Figura 30. Soporte de probeta después de ingresar al horno. Fuente: propia.

Para la prueba de ingreso al refrigerador se colocó la muestra 2 hasta una temperatura de 10°C por 15 minutos, no se observó ningún cambio en la forma del plato, se procedió a colocar la misma cantidad de agua anterior de 44.25 ml a 15 °C, durante 2 minutos, no se visualizó ningún tipo de filtración de líquido, este proceso se puede ver en la figura 31.

El plato absorbió cierto porcentaje de fluido que se puede apreciar en los datos proporcionados en la tabla 12.



Figura 31. Soporte de probeta después de ingresar al refrigerador. Fuente: propia.

Tabla 12. Datos obtenidos en la prueba de resistencia a altas y bajas temperaturas, muestra 1 y 2 respectivamente. Fuente: propia.

Muestra	Líquido inicial [ml]	Líquido sobrante del plato [ml]	Líquido fuera del plato [ml]	Absorción del líquido en el plato [%]
1	44.25	32.16	5.04	15.93
2	44.25	39.98	0	9.65

En la tabla 13 se observa el cambio en peso después de ingresar al horno y al refrigerador

Tabla 13. Datos en proporción de peso del plato en la prueba de resistencia a altas y bajas temperaturas, muestra 1 y 2 respectivamente. Fuente: propia.

Muestra	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Disminución de peso [%]
1	18.68	17.96	3.85
2	29.16	29.16	0

### PRUEBA DE CONTENCIÓN DE LÍQUIDO

En cuanto a la contención de agua a temperatura ambiente como se puede ver en la figura 32, se procedió a colocar en la muestra 3, durante 20 minutos, con 44.25 ml agua a 15 °C. No se presentó ningún tipo de filtración, sin embargo, la muestra absorbió cierta cantidad de líquido.



Figura 32. Líquido para contener en la muestra 3. Fuente: propia.



Para la contención de agua en su punto de ebullición, se trabajó con los mismos parámetros de tiempo, peso de líquido, la temperatura de agua fue de 80 °C esto se puede ver en la figura 33. Al final del experimento se tuvo una temperatura de 30 °C.



Figura 33. Líquido para contener en la muestra 4. Fuente: Propia.

En la figura 34 se visualiza la experimentación llevada a cabo con la muestra 3 y 4, transcurrido los 20 minutos, la muestra 4 comienza a presentar filtraciones a los 7 minutos.



Figura 34. Muestras 3 y 4 con contenido líquido a 15 °C y 80 °C, respectivamente.

Fuente: Propia.

En la tabla 14 se detallan los datos del cambio de peso del plato biodegradable antes y después de cada prueba realizada.

Tabla 14. Datos del cambio de peso en la prueba de contención de líquido a 15°C y 80°C.  
Fuente: propia.

Muestra	Líquido fuera del plato [ml]	Líquido inicial contenido por el plato [ml]	Líquido después de 20 min. contenido por el plato [ml]	Absorción del líquido en el plato [%]
3	0	44.25	35.65	19.50
4	7.82	44.25	26.34	22.80

### PRUEBA DE SOLUBILIDAD

Las pruebas para determinar la solubilidad del almidón, se desarrolló en base a la norma NTE INEN 1456, en la figura 35 se muestra el proceso que se llevó a cabo, el cual consiste en pesar 2 gramos de almidón, a la que se añade 5 cm<sup>3</sup> de agua fría e inmediatamente se agita, luego esta solución se coloca sobre un envase que contiene 100 cm<sup>3</sup> de agua en su punto de ebullición, es decir, a 91°C y se deja hervir por 2 minutos más. Finalmente se observa que la muestra de almidón de achira es soluble en el agua fría, y al colocar en el agua hervida presenta una tonalidad opaca, de esta forma se cumple con lo establecido, la muestra es soluble.



Figura 35. Método de prueba para determinar la solubilidad de la matriz polimérica a partir de almidón de achira. Fuente: propia.

### PRUEBAS MECÁNICAS

Las pruebas mecánicas de las probetas obtenidas con dimensiones estandarizadas según las normas ASTM D 3039-08 y ASTM 7264-07, son tres probetas para la prueba de tracción y tres para la prueba de flexión, como puede verse en la figura 36.



Figura 36. Probetas con dimensiones estandarizadas de tracción y flexión.

Fuente: propia.

Las dimensiones estandarizadas para las probetas de tracción son 250 mm de longitud, 25 mm de ancho y un espesor que puede variar entre 2.5 a 4 mm, al efectuarse de forma demostrativa en el Laboratorio de Nuevos Materiales (LANUM) se detallaron las dimensiones de las probetas que pueden apreciarse en el ANEXO IV.

En la figura 37 se muestran las probetas después de ser sometidas a tracción, se debe señalar que estas probetas no cumplen con la estructura requerida para realizar el ensayo estandarizado, por lo cual en estas pruebas se realizaron con el fin de conocer la fuerza en la cual el material llega a fraccionarse.

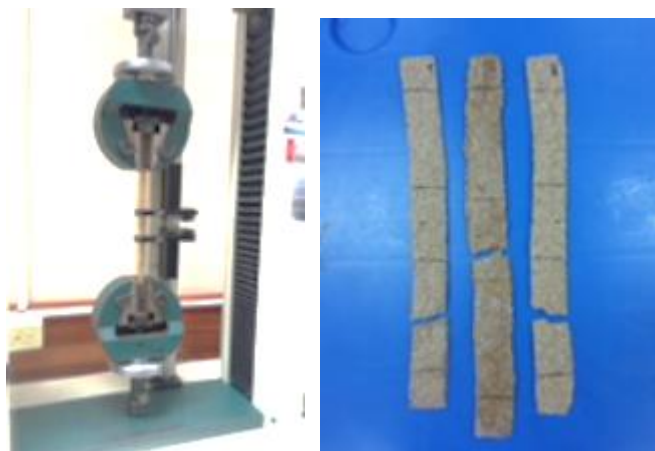


Figura 37. Pruebas de tracción. Fuente: propia.

Los datos sobre la fuerza última que resiste el material se aprecian en la tabla 15.

Tabla 15. Datos de la prueba de tracción. Fuente: propia.

Muestra	Fuerza última [N]
1	86.36
2	110
3	85.83

En cuanto a las dimensiones de las probetas de flexión tiene una relación de 32:1 entre la luz y el grosor. Su longitud corresponde a 83.1 mm, ancho 13 mm y de espesor 2.5 mm. Esta prueba se realizó con dos apoyos y una carga, con el fin de conocer la Resistencia del material a ciertas cargas, esto se muestra en la figura 38.



Figura 38. Pruebas de flexión con dos apoyos y una carga puntual. Fuente: propia.

En la tabla 16 se detallan los datos recopilados durante el Desarrollo de la prueba de flexión.

Tabla 16. Datos obtenidos al realizar la prueba de flexión. Fuente: propia.

<b>Muestra</b>	<b>Espesor [mm]</b>	<b>Carga [g]</b>	<b>Tiempo [s]</b>
1	3	645,76	224
2	2.3	230,52	48
3	3.3	730,69	324

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Las pruebas de biodegradabilidad del material compuesto reforzado a partir de almidón de achira con cascarilla de arroz expuestas a una superficie terrestre sin ser soterradas se encuentran dispersas sobre la tierra, el mismo resultado se visualizó con el material compuesto en base al almidón de achira con ácido cítrico y reforzado con fibras de coco.

En cuanto a las probetas soterradas a 15 cm de profundidad, tienen una degradación aproximada del 20%, las muestras presentaban pequeños gusanos blancos en toda su superficie, esto también se presentó en la muestra del material reforzado con fibras de coco soterrado a 10cm de profundidad, debido a sus dimensiones su degradación corresponde al 32.02%.

El plato biodegradable con refuerzo de cascarilla de arroz disminuye su resistencia al ser expuesto a temperaturas superiores a 130 °C, esto se corrobora al presenta el 3.85% en reducción de su peso, en cuanto a la muestra del material compuesto reforzado por fibra de coco su reducción corresponde a 0,05 gramos presentando cierta reducción en sus dimensiones, su exposición al calor fue hasta los 100 °C.

La prueba de resistencia a la contención de líquidos del presente trabajo, se llevo a cabo con 4 muestras del prototipo del plato, determinando que la muestra 1 al ser expuesta a temperaturas altas y proceder a contener un líquido, presenta filtraciones y su tiempo de contención es de 2 minutos, en cuanto a la muestra 2 que fue expuesta a temperaturas bajas y después contuvo líquido no mostro ninguna filtración.

Para la muestra 3 se colocó agua a una temperatura de 15°C, por 20 minutos conteniendo favorablemente al líquido, el plato presento una absorción del 19.50% del

líquido, por lo contrario, la muestra 4 que contuvo agua a 80°C, comenzó a presentar filtraciones a los 7 minutos, después de 20 minutos se presencié 7.82 ml fuera del plato, es decir, el plato biodegradable soporta eficientemente líquidos fríos.

La prueba de tracción del material compuesto biodegradable a partir de almidón de achira y reforzado con fibras de cascarilla de arroz resistió fuerzas menores en comparación del material compuesto biodegradable a partir de almidón de achira con ácido cítrico reforzado con fibras de coco que soportó mayores fuerzas, esto se debe a la compactación con la que se fabrican las probetas.

Al desarrollar la prueba de flexión y registrar los datos y resultados correspondientes a cada probeta, se deduce que a un mayor espesor la probeta tiende a soportar altas cargas en un mayor tiempo.

## 3.2 Conclusiones

- En base a la investigación realizada se concluye que existe variedad de fibras naturales que pueden ser aprovechadas en el Ecuador, algunas de estas requieren un tipo de procesamiento para obtener fibras largas o cortas, o también partículas que permitan actuar como refuerzo de la matriz polimérica, de esta forma la distribución de cargas en el material se transferirá uniformemente, sin embargo, dependerá también de la orientación y distribución de las fibras. Este tipo de materiales compuestos biodegradables permiten reducir la contaminación ambiental ya que la degradación de estos productos es menor a un año.
- La aplicación de un almidón para conformar la matriz polimérica es viable, ya que es un polímero natural soluble en agua, es decir, al estar en contacto con una superficie húmeda o líquida por un tiempo prolongado se desintegrará completamente, además si alguna especie marina o terrestre la ingiere no será perjudicial para su salud.
- El porcentaje de la cascarilla de arroz a aplicarse como refuerzo, se considero en un 6% del peso total de la matriz polimérica ya que se dispersa favorablemente para un mayor soporte de cargas,
- Para obtener el material compuesto de este trabajo se aplicó el software Minitab, permitiendo establecer las variables de insumos a utilizarse, determinando 16 posibles experimentos. Se fue discerniendo las muestras que presentaron hongos, fisuras y fragilidad, siendo la muestra número dos la que presentaba mejores condiciones, esto al incrementar vinagre en un 3% de la mezcla total de la matriz polimérica, se concluyó que el citrato de sodio a pesar de permitir preservar alimentos y ser utilizado como antioxidante no aportaba a las demás muestras, ya que la mayoría presentaba baja resistencia a cargas.
- Para incrementar la resistencia del material compuesto, se aplicó dos capas de matriz polimérica para mejorar su acabado superficial, sin embargo, al aumentar el espesor del material de 1 mm a 3 mm se obtuvo un material con poros internos, ya que el refuerzo como es la cascarilla de arroz triturada y tamizada se encuentra distribuida aleatoriamente, por tal razón se dificulta la uniformidad del material.

- La primera muestra del material compuesto fue vertida en un molde de cobre de 1 mm de espesor previamente se colocó desmoldante, se introdujo a un horno mufla a una temperatura de 80°C por 3 horas, se colocó una especie de bandeja para que el molde quede suspendido en medio del área del horno para una mejor transferencia de calor y obtener un curado uniforme del material.
- El material compuesto a partir de almidón de achira con ácido cítrico y con refuerzo de fibras de coco, en base a la prueba de biodegradabilidad en un entorno terrestre sus resultados fueron similares al material compuesto reforzado con fibras de cascarilla de arroz trituradas y tamizadas (tamiz N° 20), ya que las probetas se encontraron dispersas en la tierra, sin embargo, este último compuesto no pudo ser pesado ya que no se encontraba dentro de una malla y se dificultó pesar el material restante después de 30 días.
- El material compuesto obtenido en este trabajo, al ser sometido a altas temperaturas reduce su resistencia a la carga y a la contención de líquidos, ya que la fibra de cascarilla llega a quemarse, por lo cual se fragiliza y puede llegar a romperse, además al colocar algún líquido tiende a esparcirse fuera y absorber un bajo porcentaje de líquido, por el contrario, al exponer el material a bajas temperaturas el material mantiene sus mismas características (no se deforma) y propiedades que al portar agua no existe pérdida del líquido y su absorción en el plato es casi nula.
- En base a las pruebas de tracción y flexión el material puede cumplir con las funciones de envase para comida a condiciones normales, esto dependerá del espesor del material que para su aplicación estará entre 2.5 y 3 mm para soportar cargas no mayores a 110 N, estas pruebas son experimentales más no son estandarizadas ya que el material no cumple con las características descritas en las normas para flexión y tracción.
- Tanto el material compuesto reforzado por fibras de coco, como el compuesto reforzado por fibras de cascarilla de arroz, tienen un costo económico mientras aumenta la cantidad, sin embargo, al producir un solo plato su costo se eleva, siendo el más costoso el plato biodegradable con fibra de coco, ya que trabaja con más insumos como el WPI, ácido cítrico y la fibra de coco que tiene un mayor costo que la cascarilla de arroz. Para este trabajo la factibilidad industrial es viable.



### 3.3 Recomendaciones

- Para futuros trabajos se recomienda realizar el estudio y experimentación de la aplicación de la cascarilla de arroz pulverizada para la fabricación de productos de un solo uso, considerando la viabilidad para procesarlo por extrusión.
- Para pruebas basadas en parámetros estandarizados, como es la prueba de degradación, se recomienda colocar la muestra en una malla que no intervenga en el proceso de descomposición del material, pero permita extraerlo y pesarlo, para determinar el porcentaje de desintegración.
- Para este tipo de material compuesto, se recomienda realizar presión sobre el material para una mejor compactación y no se presenten espacios vacíos o porosidades internas.
- Para la obtención de probetas en materiales cuya mezcla final contenga humedad o su apariencia sea viscosa, se recomienda el uso de moldes de acero galvanizado y desmoldante como es el aceite de consumo doméstico, para evitar la adherencia del material al molde, y la oxidación de este. Además, estos moldes deben estar sobredimensionados, ya que en el transcurso de curado la mezcla final va comprimiéndose para formar una superficie compacta.
- Los moles de acero galvanizado pueden ser utilizados para un curado de la mezcla a altas temperaturas, y que no requiera de un proceso de manufactura donde se aplique presiones altas, ya que esto provocaría la ruptura del molde.
- El curado de la experimentación para la obtención de la matriz polimérica se realizó a condiciones ambientales, sin embargo, los resultados no eran favorables debido a la baja ventilación y el tiempo de curado, por lo tanto, se recomienda utilizar equipos de laboratorio como el horno mufla.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. G. S. M. R. R. & J. L. M. Barrios, «Compósitos biodegradables elaborados a partir de madera de fresno,» Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 6, nº 28, pp. 26-41, 2015.
- [2] EMASEO, «[www.emaseo.gob.ec](http://www.emaseo.gob.ec),» 2017. [En línea]. Available: <http://www.emaseo.gob.ec/plastico-tarda-100-anos-descomponerse-reutilizalo/>. [Último acceso: 2021 08 26].
- [3] O. M. N. O. -. 2021., «[www7.quito.gob.ec](https://www7.quito.gob.ec),» 2021. [En línea]. Available: [https://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](https://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). [Último acceso: 2021 08 26].
- [4] M. & S. M. Pérez, «Fundamentos de la mecánica de los materiales compuestos,» de Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación, Barcelona, España, OmniaScience, 2014, pp. 19-50.
- [5] F. Versino, Artist, Materiales compuestos biodegradables con usos agrónomos a partir de raíces tuberosas. [Art]. Universidad Nacional de la Plata, 2017.
- [6] V. Caguana, Artist, Evaluación de la achira (*canna indica*) para la elaboración de vajilla desechable biodegradable. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2018.
- [7] J. M. G. & R. G. Torn, «Degradation of biodegradable single-use plates and waste bags in terrestrial and marine environments,» WIT Transactions on Ecology and the Environments, vol. 251, p. 54, 2021.
- [8] A. García, Artist, Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. [Art]. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA - FEPADE, 2015.
- [9] K. Encalada, Obtención y caracterización de un material termoplástico a partir de polivinil alcohol y almidón de achira, Quito: Tesis de pregrado. Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [10] A. Quichimbo, Plan de marketing turístico para la revalorización del almidón de achira en la parroquia Lauro Gueerero, provincia de Loja, Quito: Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador, 2018.
- [11] M. U. C. G. R. & Y. P. Bonete, Estudio de cuatro tubérculos y raíces tuberosas no tradicionales de la sierra centro de Ecuador y su potencial de uso en platos de autor, Quito: Qualitas. Vol. 12: 37-67, 2016.
- [12] C. d. León, Caracterización y comportamiento físico químico del almidón de la achira (*Canna edulis ker*) con relación al almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*)., Guayaquil: Tesis de pregrado. Universidad de Guayaquil., 2015.
- [13] Z. Quicaña, Extracción y caracterización del almidón de achira, Ayacucho: Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2014.
- [14] L. Novoa, Proyecto de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de almidón de achira en la provincia de Loja, Quito: Tesis pregrado. Universidad San Francisco de Quito, 2006.
- [15] CORPOICA, «El almidón de achira o sagú (*Canna edulis, Ker*). Manual Técnico para su elaboración,» Tibaitatá, Colombia., 2003.
- [16] Camari, Camari, [En línea]. Available: <https://www.camari.org/site/index.php/catalogo/alimentos/harinas/almidon-de-achira-detail>. [Último acceso: 2022].
- [17] S. P. G. & G. D. Velásquez, «Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevo productos,» Informador Técnico, vol. 80, nº 1, pp. 77-86, 2016.
- [18] M. Espinoza, Artist, Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fbras de

- bagazo de caña de azúcar. [Art]. Universidad de Cuenca, 2015.
- [19] D. Ponce, Artist, Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable reforzada con fibra natural. [Art]. Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [20] E. O. A. & T. L. Calderón, «Fabricación de material biodegradable a base de polímeros termoplásticos combinados con fibras cortas de lino,» FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, vol. 1, nº 1, pp. 2 - 6, 2019.
- [21] F. G. A. O. P. R. G. & V. D. García, Artist, Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz.. [Art]. Universidad de Piura, 2019.
- [22] ASTM-International, «D3039/D3039M - 17,» 2017.
- [23] L. Ávila, Artist, Efecto de la adición de ácido cítrico y proteína de lactosuero en la elaboración de películas basadas en almidón de Canna indica L. [Art]. Universidad Nacional de Colombia, 2018.
- [24] E. C. A. & G. J. Ariza, «Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua,» Revista ION (Investigación, Optimización y Nuevos procesos en Ingeniería), vol. 26, nº 1, 2013.
- [25] L. B. B. & P. M. Torres, «Características de la glicerina obtenida del proceso de la reacción del metóxido de sodio en la producción biodiesel,» Revista de Energía Química y Física, vol. 6, nº 18, pp. 19-20, 2019.
- [26] R. Mannise, «Ecocosas,» [En línea]. Available: <https://ecocosas.com/eco-ideas/vinagre-blanco-propiedades/>. [Último acceso: 04 08 2022].
- [27] J. Sierra, Artist, Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. [Art]. Universidad de Sucre, 2009.
- [28] «Climate-Data.org,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/quito-1012/t/agosto-8/>. [Último acceso: 2022 08 12].
- [29] O. M. N. 022-2021. [En línea]. Available: [https://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](https://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).
- [30] J. & M. E. Posada, «Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales.,» Informador Técnico, vol. 86, nº 1, pp. 94-110, 2021.
- [31] ASTM-International, «D256-10,» 2018.
- [32] Bimedis. [En línea]. Available: <https://es.bimedis.com/a-item/hornos-de-mufla-dentsply-vulcan-3-550-pd-1608606>. [Último acceso: 20 05 2022].



## 5. ANEXOS

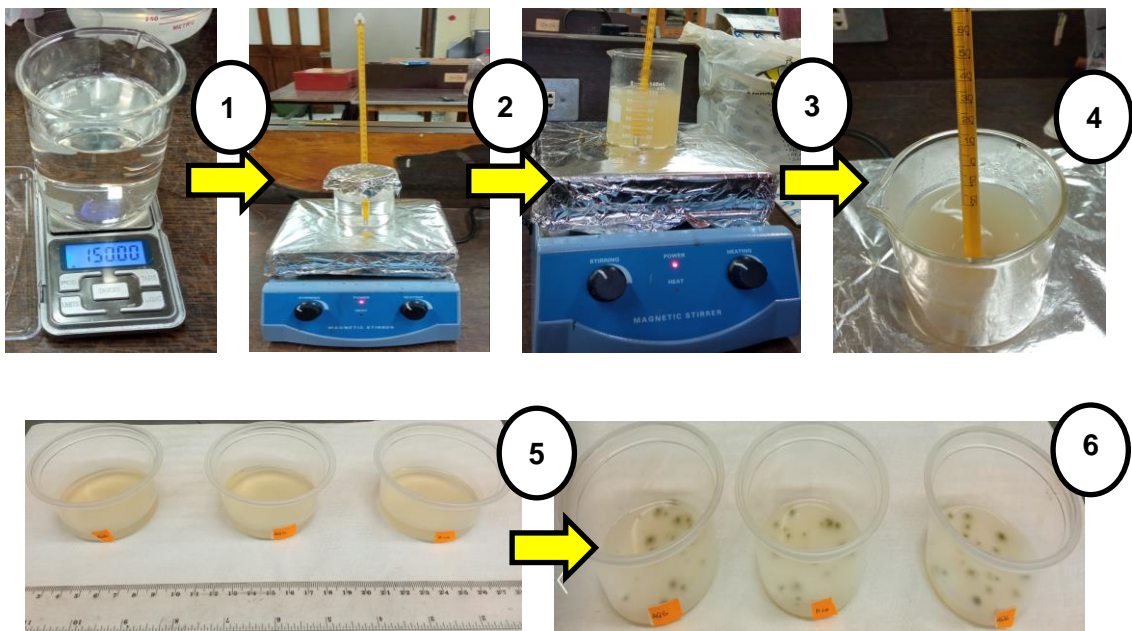
ANEXO I. Variables consideradas para la obtención de la matriz polimérica, la variable estable a considerar es 1 mililitro de vinagre.

VARIABLE	CANTIDAD
Almidón [g]	8 a 10
Citrato de sodio [g]	0 a 1
Agua destilada [ml]	100 a 150
Glicerina [ml]	2 a 4

OrdenEst	Almidón	Citrato	Agua	Glicerina	Tiempo 1 (agua)	Tiempo 2 (agua+almidón)	Tiempo 3 (agua almidón y glicerina)	Temperatura gelatinización o coagulación	Observaciones
1	8	0	100	2	5	5	5	60	
2	10	0	100	2	5	5	5	65	
3	8	1	100	2	5	5	5	68	
4	10	1	100	2	5	5	5	60	
5	8	0	150	2	5	5	5	75	
6	10	0	150	2	5	5	5	65	
7	8	1	150	2	5	5	5	70	No llegó a gelatinizarse
8	10	1	150	2	5	5	5	65	
9	8	0	100	4	5	5	5	65	
10	10	0	100	4	5	5	5	65	
11	8	1	100	4	5	5	5	65	
12	10	1	100	4	5	5	5	65	
13	8	0	150	4	5	5	5	70	No llegó a gelatinizarse
14	10	0	150	4	5	5	5	70	
15	8	1	150	4	5	5	5	75	Parcialmente viscosa
16	10	1	150	4	5	5	5	70	Parcialmente viscosa

## ANEXO II: Proceso para la obtención de la matriz polimérica biodegradable

1. Pesar todos los componentes.
2. Calentar el agua destilada en conjunto con el citrato de sodio durante cinco minutos en el agitador magnético, para la muestra final no se aplica citrato de sodio.
3. Se adhiere almidón de achira al agua destilada por cinco minutos más, debe controlarse la temperatura.
4. Colocar glicerina en conjunto con el vinagre (peso inicial del vinagre 1 ml para todas las muestras), durante cinco minutos, en esta etapa la mezcla comienza a coagularse en aproximadamente 12 minutos desde el inicio de este proceso, a un rango de temperatura entre 60 y 75 °C.
5. El curado o secado se lo realiza a temperatura ambiente de 23°C, el tiempo dependerá del espesor de las muestras, se coloca en recipientes plásticos o cajas Petri.
6. Se visualiza las características que presentan, como son presencia de hongos y fragilidad.
7. En base a su resistencia se disciernen las muestras.
8. Se incrementa el porcentaje de vinagre ya que actúa como un fungicida para la eliminación de hongos, esto en un 3% de la mezcla (agua destilada + (citrato de sodio) + almidón + glicerina).
9. Se repiten los pasos de 1 a 7.
10. Se obtiene la muestra final.





## ANEXO III: PARÁMETROS TÉCNICOS DE EQUIPOS

### Horno eléctrico

#### **HORNO ELECTRICO MIXTO INDUSTRIAL INOXTREND RDA-110E en estoc**



Este es un horno de la categoría de hornos en estoc. unidades limitadas te confirmaremos si está disponible en el momento que quieras tramitar tu pedido

### **Características técnicas Inoxtrend RDA-110E:**

- Horno mixto eléctrico
- Construcción en acero inoxidable AISI 304 18/10.
- Mandos analógicos.
- Ventilador en acero inoxidable AISI 316.
- Calentamiento mediante resistencias Incoloy 800.
- Ciclo de enfriamiento rápido.
- Interior acero inoxidable.
- Posibilidades de cocción
  - Convección: 50°C a 270°C
  - Vapor: 50°C a 100°C.
  - Mixta convección + vapor: 50°C a 270°C.
- Entrada de bandejas longitudinal.
- Luz interior.
- Distancia entre guías: 67mm.
- Capacidad para 5 bandejas
  - Medidas bandejas: GN 1/1
  - Dotación: 1 parrilla GN 1/1.
- Potencia: 6KW.
- Voltaje: 3x400 (1x230\*).
- Dimensiones: 710x770x940.
- Dispone de selector de ciclos.
- Válvula de evacuación de vahos.

Ver más hornos industriales

#### **Ficha técnica:**

- Dimensiones (Ancho x Profundidad x Altura): 710x770x940



## Agitador magnético industrial

### DATOS TÉCNICOS

INTERFAZ	Digital
ESTRUCTURA	metálica con pintura epoxi
VELOCIDAD	20 rpm - 1000 rpm
REGULACIÓN DE VELOCIDAD	Digital
TEMPORIZADOR	Si, de 1min a 99h59min
OPERACIONES CONTINUAS	Si
MODO INTERMITENTE	Si
DIMENSIONES (AXXP):	354x77x369 mm
AUTOCALENTAMIENTO DE LA PLACA (MÁXIMA VELOCIDAD/DURACIÓN:1H)	~ 10 °C + Temperatura ambiente
PESO	4 Kg
SISTEMA DE AGITACIÓN	Motor Brushless
CAPACIDAD DE AGITACIÓN (H2O):	50 litros
RANGO DE VELOCIDAD	10 rpm
CONTRARREACCIÓN	Tecnología SpeedServo
INVERSIÓN DEL SENTIDO DE LA AGITACIÓN	Si, de 5s a 99min55s
FUNCIÓN DE BLOQUEO	Si
APAGADO AUTOMÁTICO DE LA PANTALLA	Si, después de 10 seg
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	5-40°C
POTENCIA	10 W

## Triturador

MODELO	MG-766S (ÚNICO)	MG-766D (DOBLE)	MG-766T (TRIPLE)
Dimensión (L X An X Al)	630x320x700mm	650x520x850mm	650x750x850mm
Voltaje / Potencia	110, 220V / 1HP	110, 220V / 1HP + 1/2HP	110, 220V / 1HP + 1/2HP + 1/2HP
Peso	35kg	45kg	60kg
Forma Y Tamaños	Forma irregular	Forma irregular	Forma irregular
Función	Aplastar, Partículas, Puré, Pícar	Aplastar, Partículas, Puré, Pícar	Aplastar, Partículas, Puré, Pícar
Capacidad	200 ~ 400 kg por hora	400 ~ 600 kg por hora (dos tubos)	600 ~ 800 kg por hora (tres tubos)
	Depende de los ingredientes y tamaños reales.		

## Tamizador

# ZEUS

## TAMIZADORA INDUSTRIAL CIRCULAR



Posibilidad de fabricación para atmósferas explosivas.



### ZEUS FTI-040

La Tamizadora Industrial "ZEUS" FTI-040 es ideal para separación granulométrica de sólido/sólido y líquido/sólido.

- Se fabrica en acero inoxidable AISI 304 o AISI 316, según petición.
- Motor de masas excéntricas que genera un movimiento tridimensional facilitando al máximo el tamizado del producto.
- Permite 4 niveles de tamizado.
- Fondo cónico con salida lateral para descarga de producto.
- Cuerpo con o sin salida, según petición.

#### Opciones:

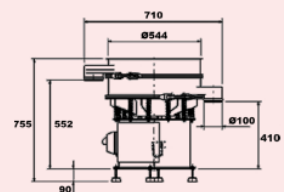
- > Tapa en acero inoxidable.
- > Mirillas en tapa y/o cuerpos.
- > Sistema de ayuda al tamizado: Bolas, anillos rozantes, ultrasonidos, difusores de agua en tapa y/o cuerpos, tajaderas, espiral y centradores.
- > Abrazaderas con sistema de cierra rápido.
- > Bocas de salida con conexión spigot BFM.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- > Larga vida útil de la malla del tamiz
- > Estanca al polvo y a líquidos
- > Conexión eléctrica sencilla
- > Bajo consumo eléctrico
- > Fácil manejo

### INCLUYE:

- > Tamizadora FTI-040 con 1 nivel de trabajo
- > Manual de instrucciones
- > Declaración CE de conformidad





CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS						
	Tensión (V)	Frec. (Hz)	(r.p.m)	Intensidad (A)	Potencia (kW)	Peso (Kg)
FTI-040	400/460	50/60	1500	0.6	0.3	70

www.filtra.com

filtra@filtra.com

ANEXO IV: Dimensiones de las probetas a ser sometida a la prueba de tracción.

 <p>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</p>	<p><b>Cuaderno de registro de datos primarios</b></p> <p>ISO/IEC 17025</p>	<p><b>CÓDIGO:</b> F-PT-07-01</p> <p><b>VERSIÓN:</b> 01</p>	
---	--	--	---

**REGISTRO DIMENSIONAL DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN**

Cliente / Solicitante: <i>Ing. Verónica Sotomayor</i> Proforma No. : Orden de trabajo No.: Responsable: <i>Orlando Campaña</i> Fecha: <i>12/05/2022</i> Condiciones ambientales: T <sub>inicial</sub> : <i>21,2</i> T <sub>final</sub> :      HR% inicial: <i>41,2</i> HR% final:						
Identificación del grupo de muestras ensayado: <i>FCA-6</i>						
Norma de referencia: <i>ASTM D3039</i>						
Id. Muestra	Largo (mm)	Largo promedio (mm)	Largo promedio/2 (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Distancia calibrada (mm)
FCA-6-1	244,62	244,48	122,24	24,73	4,50	50
	244,33			24,75	3,34	
FCA-6-2	261,22	260,97	130,49	25,38	4,32	50
	260,72			27,72	4,86	
FCA-6-3	245,95	245,81	122,90	23,28	4,60	50
	245,66			25,52	4,73	

FPT0701-01
Página de

ANEXO V: Análisis de suelo utilizado para conocer el porcentaje de humedad relativa del suelo utilizado para la prueba de biodegradabilidad del material compuesto a partir de almidón de achira reforzado con fibra de cascarilla de arroz.



## 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 $\geq 0.425$ 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

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	5,38	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			

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 <sub>n</sub> (%)	34,5	34,5

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

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



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

