



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA GOMA  
DE LAS SEMILLAS DEL GUARANGO (*Caesalpinia spinosa*)  
PARA USO EN EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** MARÍA JOSÉ NARANJO SAGÑAY

**DIRECTOR:** Ing. MARCO RAUL CHUIZA ROJAS Mgs.

Riobamba - Ecuador

2024

**©2024, María José Naranjo Sagñay**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, María José Naranjo Sagñay declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de diciembre de 2023



**María José Naranjo Sagñay**

**0604135236**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA GOMA DE LAS SEMILLAS DEL GUARANGO (*Caesalpinia spinosa*) PARA USO EN EL EMBALAJE DE ALIMENTOS**, realizado por la señorita: **MARÍA JOSÉ NARANJO SAGÑAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Segundo Hugo Calderón, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2023-12-19
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 _____	2023-12-19
Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser, Mgs. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 _____	2023-12-19

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación dedico a mi madre, por su apoyo durante toda la carrera, por sus consejos. A mi hermana que siempre ha estado predispuesta, ayudándome de forma incondicional y dándome ánimos en los días más difíciles de mi vida. A mi hija Evelyn, quien ha sido el motivo más grande para alcanzar este título profesional.

María

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por regalarme la oportunidad de culminar mis estudios profesionales. A mis docentes: Ing. Marco Chuiza, Ing. María Augusta Guadalupe y a la Dra. Gina Álvarez por sus conocimientos impartidos y su valiosa ayuda durante el desarrollo de tesis. Gracias a mis amigos, quienes han estado predispuestos y alentándome para que finalice mi trabajo de titulación y a todos mis compañeros quienes me han acompañado durante mi carrera universitaria.

María

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY/ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Identificación del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Justificación de la investigación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Antecedentes de la investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Marco conceptual .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5.1. <i>Bioplásticos</i> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5.1.1. <i>Tipos de plásticos biodegradables</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5.2. <i>Componentes para la elaboración del bioplástico</i> .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.2.1. <i>Polímeros</i>.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5.2.2. <i>Disolvente</i> .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.2.3. <i>Plastificante</i> .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.3. <i>Técnicas utilizadas para la elaboración de las películas</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.3.1. <i>Por eliminación del disolvente</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.3.2. <i>Por gelación térmica</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.3.3. <i>Por solidificación</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.3.4. <i>Por el método de “casting”</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.4. <i>Requerimientos de las películas biodegradables</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.5. <i>Guarango</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.5.1. <i>Generalidades</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.5.2. <i>Morfología del guarango</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.5.5.3. <i>Estructura de la semilla</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5.5.4. <i>Requerimientos edafoclimáticos</i> .....</b>	<b>14</b>

1.5.5.5.	<i>Clasificación taxonómica</i> .....	16
1.5.5.6.	<i>Composición química del guarango</i> .....	16
1.5.5.7.	<i>Aplicaciones del guarango</i> .....	17
1.5.5.8.	<i>Goma de guarango</i> .....	17
1.5.5.9.	<i>Estructura química de la goma de guarango</i> .....	18
1.5.5.10.	<i>Extracción de la goma de guarango</i> .....	19
1.5.5.11.	<i>Procesamiento Industrial</i> .....	20
1.5.5.12.	<i>Especificaciones de pureza exigidas comercialmente para la goma de guarango</i> .....	20
1.5.5.13.	<i>Compatibilidad</i> .....	20
1.5.5.14.	<i>Deformación por esfuerzo cortante</i> .....	21

## CAPITULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	22
2.1.	<b>Hipótesis y especificación de las variables</b> .....	22
2.1.1.	<i>Hipótesis general</i> .....	22
2.1.2.	<i>Hipótesis específicas</i> .....	22
2.2.	<b>Identificación de variables</b> .....	22
2.3.	<b>Enfoque de investigación</b> .....	23
2.4.	<b>Nivel de Investigación</b> .....	23
2.5.	<b>Diseño de investigación</b> .....	23
2.6.	<b>Población de estudio</b> .....	24
2.7.	<b>Recolección de la muestra</b> .....	24
2.7.1.	<i>Cálculo del tamaño de la muestra</i> .....	24
2.8.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	24
2.9.	<b>Obtención de la goma de guarango</b> .....	25
2.9.1.	<i>Técnica de extracción de la goma de guarango</i> .....	25
2.10.	<b>Técnica para la caracterización de la goma extraída</b> .....	26
2.11.	<b>Técnica de obtención del bioplástico</b> .....	30
2.11.1.	<i>Caracterización del bioplástico</i> .....	31

## CAPITULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	35
3.1.	<b>Resultados de la caracterización de la materia prima</b> .....	35
3.1.1.	<i>Propiedades físicas y organolépticas de la goma de guarango</i> .....	35
3.1.2.	<i>Resultado del rendimiento de la extracción de la goma de guarango</i> .....	36



3.1.3.	<i>Análisis de la varianza del rendimiento de la goma del guarango</i>	37
3.1.4.	<i>Resultados de la caracterización de la goma del guarango</i>	38
3.1.4.1.	<i>Contenido de humedad y materia seca</i>	38
3.1.4.2.	<i>Contenido de ceniza</i>	38
3.1.4.3.	<i>Solubilidad</i>	39
3.1.4.4.	<i>pH</i>	39
3.1.4.5.	<i>Temperatura de gelatinización</i>	40
3.1.4.6.	<i>Granulometría</i>	40
3.1.4.7.	<i>Viscosidad Brookfield</i>	41
3.1.4.8.	<i>Análisis microbiológicos de la goma del guarango</i>	41
3.2.	<b>Resultados de la elaboración del bioplástico</b>	42
3.2.1.	<i>Análisis sensorial del bioplástico</i>	43
3.2.2.	<i>Análisis de validación de los bioplásticos</i>	44
3.2.2.1.	<i>Cálculo del porcentaje de humedad</i>	44
3.2.2.2.	<i>Cálculo del porcentaje de solubilidad</i>	45
3.2.2.3.	<i>Cálculo de la permeabilidad al vapor de agua (WVP)</i>	45
3.2.2.4.	<i>Cálculo de la velocidad de transmisión de vapor (WVTR)</i>	46
3.2.2.5.	<i>Resultados del ensayo de permeabilidad</i>	48
3.2.2.6.	<i>Resultados del ensayo de espesor</i>	49
3.2.2.7.	<i>Análisis microbiológicos del bioplástico</i>	50
3.3.	<b>Biodegradabilidad</b>	50
3.3.1.	<i>Biodegradabilidad en agua</i>	50
3.3.2.	<i>Biodegradabilidad en el aire</i>	51
3.3.3.	<i>Biodegradabilidad en la tierra</i>	51
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>52</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>53</b>
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Clasificación de polímeros de origen natural .....	7
<b>Tabla 1-2:</b> Clasificación taxonómica del guarango .....	16
<b>Tabla 1-3:</b> Composición Química del guarango.....	16
<b>Tabla 1-4:</b> Especificaciones de pureza para la goma de guarango.....	20
<b>Tabla 2-1:</b> Identificación de variables.....	23
<b>Tabla 2-2:</b> Extracción térmica mecánica de la goma de guarango.....	25
<b>Tabla 2-3:</b> Técnica de extracción de la goma de las semillas de guarango.....	25
<b>Tabla 2-4:</b> Ensayos para la caracterización de la goma del guarango.....	26
<b>Tabla 2-5:</b> Técnica de obtención del bioplástico.....	30
<b>Tabla 2-6:</b> Ensayos para la caracterización de la goma del guarango.....	31
<b>Tabla 2-7:</b> Ensayos microbiológicos.....	33
<b>Tabla 3-1:</b> Características físicas de la semilla del guarango .....	35
<b>Tabla 3-2:</b> Características organolépticas de la semilla del guarango .....	35
<b>Tabla 3-3:</b> Características organolépticas de la goma del guarango .....	35
<b>Tabla 3-4:</b> Variables utilizadas para la extracción de la goma de guarango .....	36
<b>Tabla 3-5:</b> Resultados del rendimiento de extracción por el diseño factorial 2k .....	36
<b>Tabla 3-6:</b> Hipótesis del análisis de varianza.....	37
<b>Tabla 3-7:</b> Resultados del análisis de varianza .....	37
<b>Tabla 3-8:</b> Resultados de humedad y materia seca .....	38
<b>Tabla 3-9:</b> Resultados de ceniza.....	38
<b>Tabla 3-10:</b> Resultados de solubilidad.....	39
<b>Tabla 3-11:</b> Resultados de pH.....	39
<b>Tabla 3-12:</b> Resultados de la temperatura de gelatinización.....	40
<b>Tabla 3-13:</b> Resultados de granulometría .....	40
<b>Tabla 3-14:</b> Resultados de viscosidad.....	41
<b>Tabla 3-15:</b> Resultados microbiológicos de la goma del guarango .....	41
<b>Tabla 3-16:</b> Cantidades utilizadas en la elaboración del bioplástico .....	42
<b>Tabla 3-17:</b> Ensayos de las biopelículas a partir de la goma de guarango.....	42
<b>Tabla 3-18:</b> Análisis sensorial de las biopelículas de goma del guarango .....	43
<b>Tabla 3-19:</b> Análisis sensorial de los bioplásticos de goma del guarango.....	43
<b>Tabla 3-20:</b> Resultados del porcentaje de humedad.....	45
<b>Tabla 3-21:</b> Datos para calcular la permeabilidad de las bioplástico.....	46
<b>Tabla 3-22:</b> Resultados de la velocidad de transmisión de vapor .....	47
<b>Tabla 3-23:</b> Resultados de la permeabilidad al vapor de agua.....	48

<b>Tabla 3-24:</b> Resultados del espesor de las bioplástico .....	49
<b>Tabla 3-25:</b> Resultados de los ensayos de tracción.....	49
<b>Tabla 3-26:</b> Resultados de los análisis microbiológicos del bioplástico.....	50
<b>Tabla 3-27:</b> Resultados de biodegradabilidad en el agua.....	50
<b>Tabla 3-28:</b> Resultados de biodegradabilidad en el aire .....	51
<b>Tabla 3-29:</b> Resultados de biodegradabilidad en tierra.....	51

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Características, ventajas y desventajas de películas biodegradables .....	11
<b>Ilustración 1-2:</b> Guarango ( <i>Caesalpinia spinosa</i> ).....	11
<b>Ilustración 1-3:</b> A: flores, B: hojas, C: vainas y D: semillas .....	12
<b>Ilustración 1-4:</b> Estructura de la semilla de tara o guarango .....	14
<b>Ilustración 1-5:</b> Distribución de poblaciones de guarango en el Ecuador .....	15
<b>Ilustración 1-6:</b> Goma de la semilla de guarango .....	17
<b>Ilustración 1-7:</b> Estructura química de la goma de guarango .....	19
<b>Ilustración 2-1:</b> Diagrama de Flujo de la extracción de goma de la semilla de guarango .....	26

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** EXTRACCIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO

**ANEXO B:** EXTRACCIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO

**ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO

**ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO

**ANEXO E:** ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

**ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

**ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

**ANEXO H:** VIDA ÚTIL DE FRUTAS CUBIERTAS CON EL BIOPLÁSTICO

**ANEXO I:** ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS DE LA GOMA DE GUARANGO

**ANEXO J:** ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS DEL BIOPLÁSTICO

**ANEXO K:** ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DEL BIOPLÁSTICO

## RESUMEN

La producción de materiales de embalaje de alimentos representa una gran amenaza para el ambiente a nivel mundial, debido a que la materia prima usada para su fabricación no se deriva de recursos renovables, por lo que no son biodegradables, además su demanda anual sigue incrementando, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue obtener bioplástico a partir de la goma de las semillas del Guarango (*Caesalpinia spinosa*) para uso en el embalaje de alimentos. La metodología que se implementó fue el diseño factorial 2k, tanto para el proceso de extracción de la goma, como para la formulación del bioplástico. se procede a iniciar un proceso de extracción térmico-mecánico con 50g, mediante cuatro tratamientos, el cual consistió en tostar y moler las semillas, empleando tiempos de tostado de 30 y 60 s y tiempos de molido de 90 y 120 s. Luego, el resultado de la molienda se tamizó con la finalidad de separar la cascara, el endospermo (goma) y germen. Finalmente se pulverizó la goma obtenida. Se realizó la caracterización de la goma, en base a especificaciones técnicas. El bioplástico se obtuvo mediante cuatro formulaciones, donde se varió la composición de la goma y de la glicerina, manteniendo constante la proporción de agua destilada. Se caracterizó el bioplástico mediante pruebas fisicoquímicas, biodegradabilidad y ensayos mecánicos en base a la NTE INEN 2635. La goma se obtuvo con un rendimiento de 18,96% con el tratamiento T3, del mismo modo presentó excelentes características organolépticas, ausencia de microorganismos y gran capacidad de gelificación propiedad requerida para la formación de bioplásticos. El bioplástico con mejor resistencia mecánica (75,33 % de elongación) fue el T2. El ensayo de biodegradabilidad determinó que, el bioplástico se descompone un 100% en el agua. En conclusión, el bioplástico elaborado con semillas de guarango mostró características sensoriales similares a las de un film y cumple con los requisitos para envolturas biodegradables según la Norma EN 13432.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <BIOPLÁSTICOS>, <GOMA DE GUARANGO>, <GUARANGO (*Caesalpinia spinosa*) >, <ENVOLTURA DE ALIMENTOS>, <BIODEGRADABILIDAD>.

2019-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY/ABSTRACT

The production of food packaging represents a great threat to the environment worldwide because the raw material used for its manufacture is not derived from renewable resources, so they are not biodegradable, also its annual demand continues to increase; therefore, the objective of this research was to obtain bioplastic from the gum of the seeds of Guarango (*Caesalpinia spinosa*) to be used in food packaging. The methodology implemented was the 2k factorial design, both for the extraction process of the gum and for the formulation of the bioplastic. A thermal-mechanical extraction process was initiated with 50g, by means of four treatments, which consisted of roasting and grinding the seeds, using roasting times of 30 and 60 s and grinding times of 90 and 120 s. Then, the result of the grinding was sieved to separate the husk, endosperm (gum) and germ. Finally, the gum obtained was pulverized. The gum was characterized according to technical specifications. The bioplastic was obtained by means of four formulations, where the composition of the gum and glycerin was varied, keeping the proportion of distilled water constant. The bioplastic was characterized through physicochemical tests, biodegradability and mechanical tests based on NTE INEN 2635. The gum was obtained with a yield of 18.96% with the T3 treatment; it also presented excellent organoleptic characteristics and great gelling capacity, a property required for the formation of bioplastics. The bioplastic with the best mechanical strength (75.33% elongation) was T2. The biodegradability test determined that the bioplastic decomposes 100% in water. In conclusion, the bioplastic made from guarango seeds showed sensory characteristics similar to those of a film.

**Key words:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <BIOPLASTICS>, <GUARANGO GUM>, <GUARANGO (*Caesalpinia spinosa*) >, <FOOD WRAPPING>, <BIODEGRADABILITY>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la producción de plástico se ha incrementado de forma desmedida. Se dice que esta es la era del plástico, ya que el uso de plástico ha incrementado a nivel mundial, tanto en las grandes ciudades como en áreas remotas, y sumado a esto el consumismo de una sobrepoblación, factores que no favorecen la preservación del medio ambiente. Hay que tener en cuenta que un consumo excesivo de plásticos genera residuos de difícil tratamiento, en primer lugar, porque no son degradables, es decir, no se descompone fácilmente cuando se desecha y además tarda de 150 a 1000 años dependiendo del grosor, el material utilizado para fabricar el plástico y las condiciones ambientales a las que está expuesto (Caballero, 2016).

Ecuador genera aproximadamente 4 millones de toneladas de desechos al año, de lo cual de los desechos que pueden ser reciclados, únicamente entre un 15% y 25% termina en el sistema de gestión de residuos y lo demás termina en los vertederos sin ser reciclados, por lo que actualmente el plástico es responsable en gran parte de los residuos contaminantes que se acumulan en nuestro planeta contribuyendo con el calentamiento global (Vintimilla, 2020).

El plástico más utilizado es el sintético o semi sintético proveniente de petróleo obtenido mediante la polimerización, formando largas cadenas mediante la unión de varios monómeros. Además, el plástico se caracteriza por ser ligero, flexible, altamente resistente, de simple fabricación y de bajo costo, razón por la que está en todo lugar, podemos encontrarlo en los envases de los productos, envolturas de alimentos, en el textil de la ropa, juguetes y en multitud de utensilios y objetos (Riera, 2018).

Se prevee que la producción mundial de materiales de embalaje supera los 180 millones de ton/año y aumenta anualmente del mismo modo que también aumenta la demanda del mismo (Masuelli y Garcia, 2017).

Realmente es difícil lograr una conciencia ecológica en las personas, por consiguiente, la producción y utilización de bioplástico a partir de carbohidratos (azúcares y polisacáridos), las proteínas y los lípidos, se convierte en una alternativa de interés para reducir el impacto ambiental y a su vez obtener plásticos incluso 100% degradables con propiedades propias de un plástico convencional igual de resistentes y versátiles (Mederos et al., 2020).

Los recubrimientos a partir de la goma natural ofrecen características prometedoras, convirtiéndose en un producto novedoso para mantener la calidad postcosecha, las propiedades organolépticas y extender la vida útil de frutas y verduras durante el período de almacenamiento, adicionalmente las gomas también actúan como un excelente portador de agentes antioxidantes y antimicrobianos naturales (Pavón 2015).

Las películas biodegradables para alimentos frescos y procesados han cobrado impulso en los últimos años. Esto se debe a que la tecnología es respetuosa con el medio ambiente y puede mejorar la calidad, la bioseguridad y la estabilidad de los alimentos. Estas propiedades se logran



proporcionando una barrera semipermeable de vapor de agua, oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) entre la fruta y la atmósfera circundante (Mederos et al., 2020).

La investigación consta del aprovechamiento de la goma de las semillas del Guarango para la elaboración de bioplástico, obteniendo una alternativa eco-compatible con la finalidad de sustituir polietileno y el polipropileno, materiales utilizados para la elaboración de films utilizado como envoltura de alimentos, que posea propiedades biodegradables, no tóxicos, abundantes y de bajo costo que mantengan la inocuidad y a su vez brinde un realce a la presentación de los productos alimenticios.

Para la obtención de la goma se extrae de la semilla de guarango por un proceso de tratamiento térmico-mecánico, las semillas son tostadas y molidas, luego se separa la cáscara y el germen de la goma, obteniendo splits de goma, producto que posteriormente se muele y tamiza para obtener goma en polvo. Una vez obtenida la goma de guarango se realizó la caracterización mediante pruebas fisicoquímicas.

Finalmente se procederá a realizar las formulaciones añadiendo diferentes composiciones de la materia prima (goma), plastificante (glicerina) mediante el diseño factorial 2k, hasta obtener las películas biodegradables con características óptimas que permitan validar su efectividad en la envoltura de alimentos.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Identificación del problema

En las últimas décadas la contaminación por plástico se ha convertido en un problema mundial, con consecuencias lamentables para la salud, la economía, la biodiversidad y el clima. El plástico representa el 85% de los residuos que llegan a los océanos. Se prevé que para 2040 la cantidad de este material que fluirá hacia el mar casi se triplicarán, entre 23 y 37 millones de toneladas por año. Esto corresponde a aproximadamente 50 kg de plástico por metro de costa en todo el mundo (ONU, 2021).

Se estima que, para el 2030 si no se mejora la gestión de residuos actual, 99 millones de toneladas de residuos plásticos descontrolados terminarán en el medio ambiente (NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2020).

Los microplásticos están ingresando a la cadena alimenticia sin que nos demos cuenta, siendo tóxicos para la salud humana, la vida silvestre, las especies marinas, desde el plancton, moluscos, aves y mamíferos, se enfrentan a riesgos de intoxicación, trastornos del comportamiento, inanición y asfixia. Los corales, los manglares y los pastos marinos además están sofocados por desechos plásticos que les impiden recibir oxígeno y luz, convirtiéndose en zonas muertas. La salud humana también es vulnerable a la contaminación por desechos plásticos en las fuentes de agua, lo que puede causar cambios hormonales, trastornos del desarrollo, anomalías reproductivas y cáncer. Además, el plástico se ingiere a través de alimentos provenientes del mar, bebidas e incluso la sal de mesa, pero también penetra la piel cuando están suspendidos en el aire y pueden ser inhalados cuando están suspendidos en el aire (ONU, 2021).

En Sudamérica, los países que han iniciado la producción de bioplásticos son Colombia, Chile, Argentina y Brasil. En particular, Ecuador hasta el momento no ha registrado empresas especializadas en la producción de bioplásticos (Riera, 2018).

### 1.2. Justificación de la investigación

Como propuestas ecológicas se ha generado el interés en los bioplásticos debido a que poseen propiedades biodegradables, como alternativa para reducir el daño ambiental producido por los polímeros sintéticos, ya que los desechos pueden ser tratados como desechos orgánicos, degradándose en períodos cortos de tiempo, lo que significa que el polímero al estar en contacto

con microorganismos del medio ambiente que se encuentran en el suelo o el agua, permiten la reducción de las moléculas orgánicas a otras más sencillas.

Ecuador es un país con gran producción agrícola. En este sentido, es útil investigar el uso de residuos agrícolas como materia prima para la producción de bioplásticos. Esta es una oportunidad de negocio para el Ecuador y al mismo tiempo promueve el desarrollo de nuevos materiales amigables con el medio ambiente (Riera, 2018).

El presente proyecto se ejecutará en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias en conjunto con el grupo de Investigación GIADE como un aporte a su proyecto “Obtención de bioplásticos a partir de productos agrícolas del Ecuador”.

El guarango es una leguminosa que pertenece a la familia Caesalpinaceae; tiene su origen en la región andina y la podemos encontrar en diferentes provincias del Ecuador tales como: Carchi, Imbabura, Pichincha, Loja y Chimborazo (El TELÉGRAFO, 2022). Considerando que en el cantón Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo, la planta del guarango es poco utilizada y reconocida, se ha visto el interés por el aprovechamiento de la goma extraída de las semillas, como materia prima para la elaboración de un bioplástico.

La goma de guarango al ser un hidrocoloide tiene un alto potencial industrial, tanto por su rendimiento, como por tratarse de un producto orgánico que formará parte de la nueva tendencia que busca reemplazar productos sintéticos por productos naturales (Arguello y Saltos, 2017).

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Obtener bioplástico a partir de la goma de las semillas del Guarango (*Caesalpinia spinosa*) para uso en el embalaje de alimentos.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Extraer goma a partir de las semillas del Guarango (*Caesalpinia spinosa*).
- Caracterizar la goma de las semillas de guarango.
- Implementar un diseño experimental 2k para desarrollar la formulación óptima del bioplástico.
- Validar los bioplásticos obtenidos mediante su caracterización a través de los métodos de ensayo: humedad, solubilidad, espesor, propiedades de tracción de acuerdo con la norma INEN 2635 y biodegradabilidad conforme a la norma EN 13432.

### **1.4. Antecedentes de la investigación**

Los polisacáridos son cada vez más relevantes como materiales de biopolímeros porque son de calidad alimentaria, seguros, biodegradables y renovables. Son formadores de películas y se pueden utilizar como envolturas de alimentos comestibles y biodegradables (Nieto, 2018).

Pavón (2015) sobre el uso potencial de la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para el desarrollo de nuevas películas y recubrimientos comestibles compuestos, se formulan a partir de la goma de tara y mezclas con cera de abeja y goma laca, con adición de glicerol y ácido esteárico, como plastificante y emulsificante, respectivamente. Estas emulsiones se caracterizaron en sus propiedades físicas, químicas, reológicas y de estabilidad. La eficacia de los recubrimientos se evaluó de acuerdo con la pérdida de peso, firmeza, pH, acidez titulable, contenido de sólidos solubles totales, tasa de respiración y evaluación sensorial en las frutillas recubiertas y no recubiertas durante 8 días. El tiempo de vida útil de los frutos recubiertos fue de 10 días, es decir 3 días adicionales a los que no fueron recubiertos.

Pazmiño (2021) tiene como objetivo la elaboración de un bioplástico a partir del mucílago de las pencas del cactus opuntia ficus para la utilización como envoltura de alimentos, iniciando con la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la materia prima, posteriormente se procedió con la extracción del mucílago, Con base en el diseño experimental 2k. A continuación, se procedió a la obtención de los bioplásticos utilizando cuatro tratamientos, cada uno de ellos se utilizó concentraciones variadas de mucílago (73.53% y 74.01%) y una proteína (11.76% y 12.01%), con concentraciones constantes de vinagre, glicerina, para iguales temperatura y tiempo. El bioplástico más óptimo es el T3, ya que presentó las mejores características fisicoquímicas y microbiológica.

En la investigación realizada por Hidrobo (2011), desarrolla un método de extracción de gomas contenidas en las semillas de guarango (*Caesalpinia spinosa*). Ensayando pruebas químicas, físicas, térmicas y mecánicas, a escala de laboratorio, las semillas presentaron uniformidad entre sí, con un peso promedio de 0,25 g por semilla; el diámetro, largo y espesor promedios de las semillas fueron de 7,57; 9,70 y 4,82 mm respectivamente, con referencia al estudio de los métodos de extracción de gomas; se inició con la aplicación del método ácido, con ácido sulfúrico, temperaturas de la solución y tiempos de exposición de las semillas en las soluciones ácidas, alcanzando una extracción del 23,13 % (g goma/100 g semilla). El método físico mecánico consistió en aplicar calor a las semillas, en tostadores de tipo artesanal, para provocar una ligera dilatación en el tegumento, que facilite la separación de la goma, alcanzando un rendimiento del 19,27 % (g goma/100 g semilla).

Se opta por la goma de tara como base para la formación de películas al ser un material novedoso y que presenta propiedades deseables para formación de películas, para generar nuevos productos que proporcionarán valor agregado, siendo esto un incentivo para su cultivo e industrialización y una mejora de la competitividad en el mercado internacional (Hidrobo, 2011).

En conclusión, se adecuará estos procesos a la presente investigación con la goma de la semilla de guarango para elaborar una envoltura bio compatibles con el ambiente.

## **1.5. Marco conceptual**

### ***1.5.1. Bioplásticos***

Son aquellos que están fabricados con materias primas renovables que puede ser completamente degradado por el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental. Entonces, de acuerdo con esta definición, cuando un envase de plástico biodegradable se tira al final de su vida útil quedando bajo la influencia de factores ambientales, comienza a cambiar su estructura molecular y, por lo tanto, sus propiedades físicas y químicas. Los polímeros se convierten así en sustancias simples o microcomponentes como agua, dióxido de carbono y biomasa, que finalmente son absorbidos por el medio ambiente (Mederos et al., 2020).

#### ***1.5.1.1. Tipos de plásticos biodegradables***

- Polímeros de origen natural: se extraen de animales marinos, vegetales. Los principales componentes de los plásticos biodegradables son los carbohidratos (azúcares y polisacáridos), las proteínas y los lípidos (Mederos et al., 2020).
- Polímeros naturales modificados: como el acetato de celulosa (Primebiopol, 2022).
- Polímeros sintéticos: los más importantes son el ácido poliláctico (PLA) y la policaprolactona (PCL), tanto por su facilidad de obtención y procesabilidad (Primebiopol, 2022).
- Polímeros compuestos: celulosa regenerada, el almidón o gomas naturales con polímeros sintéticos como mezclas de almidón y poliestireno, o almidón y policaprolactona (PCL) (Aradilla, 2012).

### 1.5.2. Componentes para la elaboración del bioplástico

Las películas están formadas por tres componentes:

#### 1.5.2.1. Polímeros

Los polisacáridos son carbohidratos complejos formados por un gran número de azúcares simples, los cuales se unen entre sí mediante enlaces glucosídicos (Agrovin, 2021). Entonces son relevantes como materiales de biopolímeros por su de calidad alimentaria, seguros, biodegradables y renovables. Son formadores de películas y se pueden utilizar como envases de alimentos comestibles y biodegradables (Nieto, 2018).

Las proteínas fibrosas de origen animal son insolubles en agua, mientras que las proteínas globulares de origen vegetal son solubles en agua. Las películas y recubrimientos se forman a partir de soluciones o dispersiones de proteína en un disolvente que por lo general se limita a agua o etanol. Las proteínas deben ser desnaturalizadas por calor, ácido, base o un disolvente para que puedan crear estructuras largas necesarias para la formación de películas (Pavón, 2015).

Los lípidos son utilizados en películas o recubrimientos por sus propiedades hidrófobas, propiedad que le confiere buena resistencia a la transmisión de vapor de agua y previenen la pérdida de humedad, mismos que han sido aplicados con éxito para reducir la respiración de diversos productos hortofrutícolas y así ampliar el tiempo de vida útil. Además de aportar brillo. Las ceras son los materiales hidrófobos más utilizados en la elaboración de películas y recubrimientos comestibles (Morales, 2011).

**Tabla 1-1:** Clasificación de polímeros de origen natural

CARBOHIDRATOS		PROTEINAS		LÍPIDOS	
Vegetal	Animal	Vegetal	Animal	Vegetal	Animal
pectinas, celulosas, almidón, alginato, carragenina, goma arábica	quitosano	Zeína, soya, gluten(trigo), maní, arroz.	caseína, gelatina, colágeno, queratina.	Cera de candelilla, laurel, carnauba Resinas y ácidos grasos: ácido esteárico, palmítico, láurico, oleico	Cera de abeja

**Fuente:** (Mederos et al. 2020).

**Realizado por:** Naranjo, María. 2023.

- *Almidones*

El almidón contiene gránulos que poseen dos tipos de moléculas poliméricas, la amilosa que está formada por unidades de cadena lineal de 1,4- $\alpha$ -D-glucopiranosas, y amilopectina formada por una molécula ramificada con unidades de  $\alpha$ -1,6-glucósido. La amilosa presenta excelentes características para formar películas resistentes, incoloras, isotrópicas, inodoras, insípidas. Es posible obtener películas con buenas propiedades mecánicas al adicionar plastificante a los almidones con alta amilosa, sin embargo, el desarrollo mecánico de éstas se ve afectado por la retrogradación, ya que las dobles hélices de la amilosa y amilopectina se entrecruzan dando como resultado el endurecimiento de la película (Solano et al., 2018).

- *Pectina*

La pectina es otro polisacárido utilizado en recubrimientos comestibles. Las pectinas se encuentran principalmente en el centro de la pared celular primaria de la planta. Consta principalmente de dos regiones, una es la región urónica, ancha y regular, formada por unidades de ácido galacturónico relacionadas por enlaces de tipo  $\alpha$ -(1,4), que pueden estar parcialmente metilados. La segunda consiste principalmente en ramnosa con una cadena lateral de azúcar neutra. Las propiedades físicas del gel son el resultado de la formación de una red tridimensional o enlaces cruzados entre las moléculas del polímero (Mederos et al., 2020).

- *Gomas*

Las gomas comestibles provienen de una variedad de fuentes: exudados y semillas de plantas terrestres como galactomananos, algas, biosíntesis microbiana y modificación química de polisacáridos naturales. Los polisacáridos de goma son materiales estructurales que cuando se aíslan, se secan en polvo y se vuelven a disolver en agua, se ha demostrado ampliamente que forman estructuras helicoidales ordenadas que varían según los residuos de azúcar que forman la molécula y los enlaces glucosídicos que unen los monómeros (Nieto, 2018).

Las estructuras tridimensionales que se forman cuando las gomas se disuelven en agua con o sin calentamiento, también son responsables de la resistencia de las películas de goma formadas después del secado. Además, no requieren agentes de reticulación para crear estas estructuras, pero se pueden manipular o mejorar estas estructuras usando reticulantes, sales o plastificantes. Asimismo, si una solución de goma es más viscosa, significa que se crean mejores estructuras tridimensionales en relación con los enlaces de hidrógeno intermoleculares entre las cadenas de polímeros (Nieto, 2018).

#### *1.5.2.2. Disolvente*

- *Agua destilada*

Sustancia líquida cuya molécula se compone en un átomo de Oxígeno y dos de Hidrogeno. Sin embargo, se ha sometido a un proceso de destilación, donde se eliminan las impurezas y los iones del agua, obteniendo una pureza excelente para el sector industrial en donde se usa como un disolvente. El agua destilada contiene un pH de 5,8. El agua, en la formulación de películas puede actuar como plastificante, pero es eliminado fácilmente de la estructura por deshidratación, sin embargo la adición de plastificantes hidrófilos puede reducir la pérdida de agua, aumentar la cantidad de agua ligada y así mejorar las propiedades plastificantes (Pavón, 2015).

#### *1.5.2.3. Plastificante*

En las formulaciones de películas a base de polisacáridos y de proteínas se requieren de plastificantes como el glicerol para aumentar la flexibilidad de los recubrimientos, mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares reduciendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros y además aumenta la movilidad molecular. Los polioles como el glicerol y el sorbitol son los plastificantes más utilizados debido a que ayudan a mejorar las propiedades mecánicas, así como la permeabilidad al vapor de agua, propiedades térmicas y con poca frecuencia el color. El porcentaje de elongación crece por el uso de altas concentraciones de ambos plastificantes.

Se ha observado que una mayor cantidad de glicerol permite mejor flexibilidad, sin embargo, la permeabilidad al vapor de agua disminuye (Bósquez y Vernon, 2005).

- *Glicerina*

Es un alcohol formado por tres grupos hidroxilo (OH), soluble en agua y no tóxico. Es un líquido viscoso incoloro que se utiliza como lubricante. La glicerina y el agua destilada son los plastificantes más utilizados en algunos estudios de polímeros termoplásticos con almidón. La glicerina aumenta la permeabilidad al vapor del producto final debido a su naturaleza hidrófila, que forma fácilmente enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua (Betancourt et al., 2016).



- *Ácido acético*

Es un ácido orgánico de dos átomos de carbono, sus propiedades ácidas le dan el grupo carboxilo, es un líquido incoloro con un olor característico, es miscible en agua. En la formación de películas permite que la estructura del plástico del polímero se estabilice al neutralizar los polímeros irregulares que se encuentran presentes en el almidón, también se usa como un aditivo para evitar la proliferación de microorganismos (Pavón, 2015).

### ***1.5.3. Técnicas utilizadas para la elaboración de las películas***

#### *1.5.3.1. Por eliminación del disolvente*

Durante este proceso, las estructuras moleculares se forman y estabilizan como resultado de interacciones físicas y químicas, en donde el hidocoloide se mezcla en un solvente como agua mismo que contiene aditivos como plastificantes, reticulantes y finalmente el solvente se elimina para formar una capa delgada que finalmente se puede eliminar después del secado (Solano et al., 2018).

#### *1.5.3.2. Por gelación térmica*

El tratamiento térmico durante este proceso puede crear un gel estable con una estructura rígida. Se usa comúnmente en películas y recubrimientos de proteínas y se caracteriza por ser un proceso en el que la desnaturalización por calor desestabiliza las moléculas de proteínas (Carmona et al., 2007).

#### *1.5.3.3. Por solidificación*

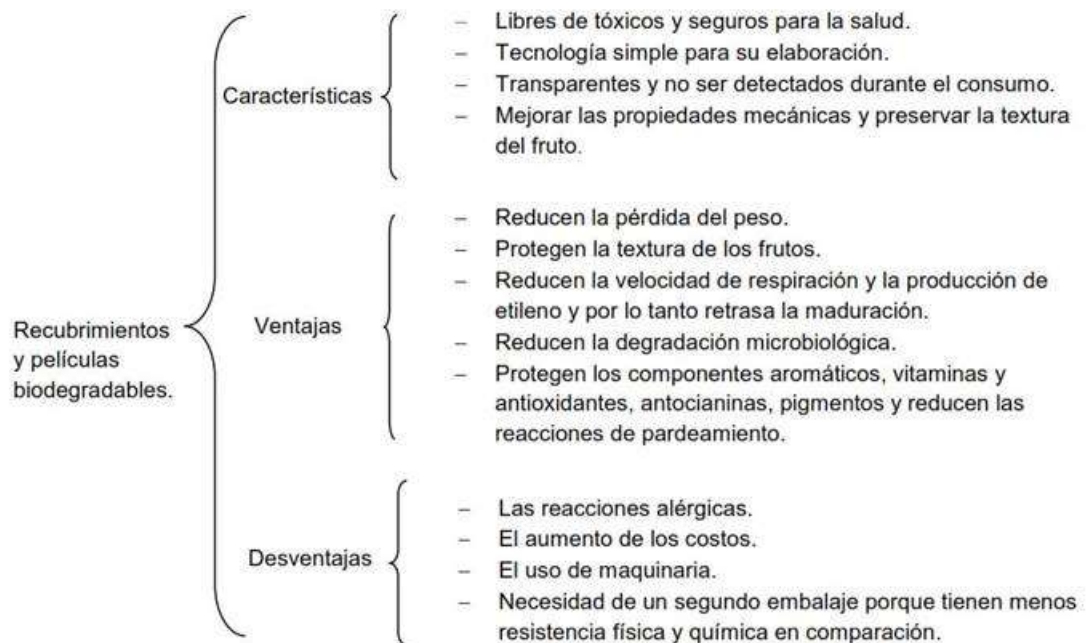
En este método, las macromoléculas se disuelven hasta que son homogéneas con plastificantes y se vierten en una capa delgada sobre un molde (Solano et al., 2018).

#### *1.5.3.4. Por el método de “casting”*

Una vez que los ingredientes de la película se disuelven, el solvente se evapora a temperatura y humedad controladas para formar la película (Solano et al., 2018).

### 1.5.4. *Requerimientos de las películas biodegradables*

Las películas no deben tener sabor, tanto como sea posible o de lo contrario deben tener un sabor compatible con el alimento al cual será recubriendo. Debido a que las películas son usadas tanto como componentes del alimento o como empaques deben reunir las siguientes características.



**Ilustración 1-1:** Características, ventajas y desventajas de películas biodegradables

**Fuente:** (Mederos et al., 2020).

**Realizado por:** Naranjo, María. 2023.

### 1.5.5. *Guarango*

#### 1.5.5.1. *Generalidades*



**Ilustración 1-2:** Guarango (*Caesalpinia spinosa*)

**Fuente:** Naranjo, María. 2023

En Ecuador se le conoce como Guarango, su nombre científico es *Caesalpinia spinosa*. Se lo encuentra en su mayor parte en la región de la Sierra, es una especie relegada sistemáticamente que ha estado a punto de desaparecer por el desconocimiento de las utilidades y ha sido utilizada desde la época prehispánica para la elaboración de tintes, el curtido de pieles e incluso en la medicina popular como astringente, cicatrizante, antidisentérico y en especial contra la amigdalitis en forma de gárgaras (Arguello y Saltos 2017).

El tiempo de cosecha es relativamente corto se cultiva de una manera adecuada con riego y fertilización a los 3 años produce la vaina, se puede cosechar dos veces al año sin mayor inversión, el árbol tiene 60 años de vida útil (Basantes, 2022).

Perú es el mayor productor de guarango del mundo, en el 2008 la exportación de guarango en polvo fue de 42 millones de dólares americanos aproximadamente. También muestra que se tiene una tasa global de demanda insatisfecha del 35,6%, la demanda crecerá un 21,2% y la oferta un 62%. Se espera que esta propuesta se base en la plantación, en lugar del desarrollo de bosques naturales o silvestres por lo que requiere una gestión técnica (Cabello, 2010).

#### *1.5.5.2. Morfología del guarango*

El guarango es un árbol que mide de 2 a 3 metros de altura en la etapa joven, mientras que en la madurez puede alcanzar a medir 12 metros de altura, dependiendo de la fertilidad, nutrientes del suelo y la cantidad disponible de agua. El tallo es corto, cilíndrico, cubierto de corteza fisurada, espinosa, de color gris y con ramas densas y sin ramificar (Pavón, 2015).



**Ilustración 1-3:** A: flores, B: hojas, C: vainas y D: semillas

**Fuente:** (Cabello, 2010).

- *Hojas*

Son compuestos, bipinnados, plumosos, con 6-8 pares de folíolos opuestos. Los folíolos son lisos, de color verde claro por ambos lados cuando son jóvenes y de color verde oscuro cuando son adultos. Las hojas miden de 8 a 12 cm de largo, los folíolos de 2,5 a 3,5 cm de largo y de 1 a 1,5 cm de ancho (Hidrobo, 2011).

- *Flores*

El color que caracteriza las flores es el amarillo o amarillo rojizo, dispuestas en umbelas, de 8-15 cm de largo, cada una con 100 flores, generalmente con 5 pétalos redondos, lóbulos, filamentos agudos o glandulares, estambres blancos, rosados, interrumpidos longitudinalmente, pistilo curvo verde (Cabello, 2010).

- *Frutos*

El fruto o vaina del guarango presenta dos partes principales constitutivas, que son la cáscara externa o pericarpio y las semillas. Sus vainas son de color rojizo-amarillento, mesocarpio arenoso, poroso aproximadamente de 8 a 10 cm de largo y 1,5 a 2,5 cm de ancho, según la calidad de donde crezca el árbol. Dentro de las vainas encontramos de entre 9 a 12 semillas de color pardo oscuro, brillosas, de forma ovoide, ligeramente aplanadas, en estado de madurez son densas, mientras que en estado verde posee un mesocarpio comestible de consistencia transparente y blanda (Fabara, 2012).

#### *1.5.5.3. Estructura de la semilla*

El porcentaje de peso de semillas es de aprox. 35% cáscara, aprox. 24% de endospermo o goma y aprox. 40% cotiledones o cotiledones. Los tres subproductos tienen usos industriales, los cotiledones tienen demanda en el mercado interno y la goma tiene demanda en el mercado internacional (Fabara, 2012).

- *La testa o cáscara*

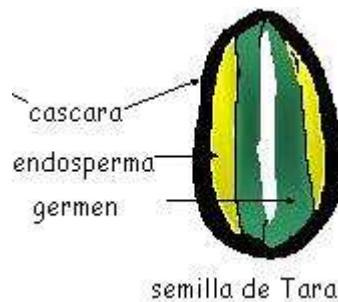
Es la cubierta de la semilla, se forma a partir de los tegumentos del óvulo, que puede ser utilizado como componente de balanceados para animales, o para preparar materiales de tipo aglomerado (Cabello, 2010).

- *Endospermo o goma*

Esta es una reserva de alimento para el desarrollo de los embriones durante la germinación. Dado que las semillas son dicotiledóneas, cada semilla tiene dos endospermas. La goma actúa como capa protectora, espesante, adhesivo, estabilizador, coloide y. Sus ventajas son incoloro, inodoro, muy estable y extremadamente difícil de degradar (Alnicolsa, 2009).

- *El germen o cotiledones*

Tiene un alto valor proteico y es alto en metionina y triptófano, por lo que es adecuado para la alimentación humana y animal. El germen también contiene un aceite con un contenido de ácido libre del 1,4% ácido oleico, comercialmente aceptable por su menor acidez (Hidrobo, 2011).



**Ilustración 1-4:** Estructura de la semilla de tara o guarango

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

#### 1.5.5.4. Requerimientos edafoclimáticos

Es una planta que resiste a la sequía, plagas y enfermedades por lo que se la puede considerar como una especie bastante rústica.

- *Altitud*

El guarango crece en altitudes entre 500 y 3200 msnm, en el lado occidental, en valles, laderas, lomas y cerros, así como en microclimas inusuales por debajo de los 3150 msnm. En Ecuador, Guarango se encuentra a una altitud de 1.500 a 3.000 metros sobre el nivel del mar (Hidrobo, 2011).

- *Precipitación*

Según (Pavón, 2015), indica que la mejor condición para la precipitación anual es de 400-600 mm, pero también hay áreas con una precipitación media anual de 200-750 mm. Los campos con riego intensivo, como el riego por goteo, requieren alrededor de 300 a 2100 metros cúbicos por hectárea por año.

- *Suelo*

Se sabe que el guarango es una planta que no exige mucho de la calidad del suelo, ya que acepta suelos pedregosos, laderas, suelos desérticos y descompuestos, que van desde ligeramente ácidos hasta moderadamente alcalinos. En la mayoría de los casos, se encuentra en suelos marginales para la actividad agrícola (Mancero, 2009).

- *Temperatura*

El guarango es tolerante a la sequía y se adapta bien a temperaturas entre 12 y 18 °C. Se desarrolla favorablemente en los valles interandinos entre los 16 y 17 °C (Arguello y Saltos 2017).

- *Zonas Productivas*

El guarango se distribuye por todo el Ecuador desde la región norte hasta la región sur de la Sierra. En Ecuador, las principales provincias con una gran oferta en el mercado nacional son Imbabura con 250 toneladas al año y Chimborazo con 59 toneladas al año (Larrea ,2010).

Provincia	Lugares
Carchi	Bolivar, Mira, Valle del Chota
Imbabura	Pimampiro, Urcuquí, Ibarra, Atuntaqui, Chaltura, Pablo Arenas, Ambuquí, Chuga, Angochagua, San Roque, Quiroga, Valle del Chota
Pichincha	Guayllabamba, San Antonio de Pichincha, Pomasquí, San Jose de Minas, Perucho, Tumbaco, El Quinche
Cotopaxi	Salcedo
Tungurahua	Ambato, Baños, Patate, Panzaleo
Chimborazo	Riobamba, Guano, Penipe, Alausi, Chunchi, Guasuntos
Bolívar	Guaranda, Chimbo
Cañar	Azogues, Gualleturo, Loyola, Solano, Biblián, Charasol
Azuay	Llacao, Solano, Girón, Oña, La Dolorosa
Loja	Saraguro, Gonzanama, Catamayo, Chuquipata, Celica, Catacocha, Malacatos, Vilcabamba, Nambacola, La Toma, Eguiguren, Las Lagunas

**Ilustración 1-5:** Distribución de poblaciones de guarango en el Ecuador

Fuente: (Nieto y Barona, 2007).

En la provincia de Chimborazo, la asociación Asoprogr entregó un total de 2.500 plantas a 37 beneficiarios en los sectores de Chingazo Alto, Chingazo Bajo, Langos, San Andrés, Puruhuay Pamba, La Libertad y San José de Chocón (Fabara,2012).

- *Época de floración y de fructificación*

Tiene dos épocas de floración y fructificación, la primera época de floración es octubre-enero, y la época de fructificación es marzo-abril. El segundo período de floración es junio-agosto, y el período de fructificación es agosto-octubre (Cruz, 2018).

#### 1.5.5.5. Clasificación taxonómica

**Tabla 1-2:** Clasificación taxonómica del guarango

N°	CARACTERÍSTICA	IDENTIFICACIÓN
1	Reino	Plantae
2	Subclase	Rosidae
3	División	Angiospermatophyta
4	Clase	Magnoliopsida
5	Orden	Scitemidales
6	Familia	Fabaceae
7	Género	Caesalpinia
8	Especie	spinosa

Fuente: (Pavón, 2015).

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

#### 1.5.5.6. Composición química del guarango

**Tabla 1-3:** Composición Química del guarango

Parámetro	Frutos	Semilla	Goma	Germen	Cáscara
Humedad (%)	11,70	12,01	13,76	11,91	10,44
Proteína (%)	7,17	19,62	2,50	40,22	1,98
Cenizas (%)	3,50	3,00	0,52	8,25	3,05
Fibra Bruta (%)	5,30	4,00	0,86	1,05	1,05
Carbohidratos (%)	67,58	56,17	81,31	25,66	83,56

Fuente: (Fabara, 2012).

Realizado por: Naranjo M., 2023.

#### *1.5.5.7. Aplicaciones del guarango*

En la antigüedad, el guarango ha tenido aplicaciones medicinales a través de infusiones a partir de las vainas para curar infecciones e inflamaciones, por sus propiedades bactericidas y fungicidas (Cabello, 2010).

En los últimos años ha cobrado mayor importancia el uso de los frutos del guarango por los taninos que se encuentran mayormente en las vainas del fruto y gomas que se encuentra en la semilla. Los taninos son considerados como una alternativa al uso del cromo en el proceso de curtiembre de cuero, además proporciona resistencia y flexibilidad al cuero tratado (Narváez et al., 2009, p. 9).

Los taninos son utilizados adicionalmente en la industria de plásticos, adhesivos y galvanizados, así también como clarificadores de vinos y cervezas, como sustitutos de la malta para dar cuerpo a la cerveza y como parte de pinturas por su acción anticorrosiva (De la Cruz, 2004, p. 70).

En la industria farmacéutica como depurativos del colesterol, para aliviar malestares de la garganta, sinusitis, infecciones vaginales y micóticas, inflamación de ojos, heridas crónicas, caries dentales, dolor de estómago, diarreas, cólera, reumatismo y resfriado. Otras áreas de aplicación de los taninos son la cosmetología, perforación petrolífera, fabricación de resinas, manufactura de papel, protección de metales y producción de pinturas, por su efecto anticorrosivo, como antioxidante en la industria del aceite mediante el uso ácido gálico obtenido de la hidrólisis de los taninos (Hidrobo, 2011).

#### *1.5.5.8. Goma de guarango*



**Ilustración 1-6:** Goma de la semilla de guarango

**Realizado por:** Naranjo, María. 2023.

La goma del guarango es un polímero de origen natural, que se obtiene a través de la molienda de los splits de la goma, principalmente está conformando por polisacáridos de alto peso molecular compuestos de galactomananos en un 80% (Cabello, 2010).



Las gomas pueden ser extraídas por vía seca tratamiento térmico-mecánico o por vía húmeda, una vez procesado se obtiene un polvo blanco o blanco-amarillento, sin olor y sin sabor y que no aporta valor nutritivo en los alimentos, pero mejora la consistencia y textura de estos, por lo que tiene una buena aceptación (Anilcolsa,2009).

La goma cuando se mezcla con agua forma un gel viscoso, en donde la viscosidad de la solución depende de la longitud de la cadena que contiene galactomanano, tiene gran potencial de aplicación como película, ya que solo se requiere agua para su formación. Las estructuras tridimensionales que se forman cuando las gomas se disuelven en agua, también son responsables de la resistencia de las películas formadas. No se necesitan agentes reticulantes para crear estas estructuras, pero se pueden mejorar fácilmente utilizando reticulantes, sales o plastificantes (Nieto, 2018).

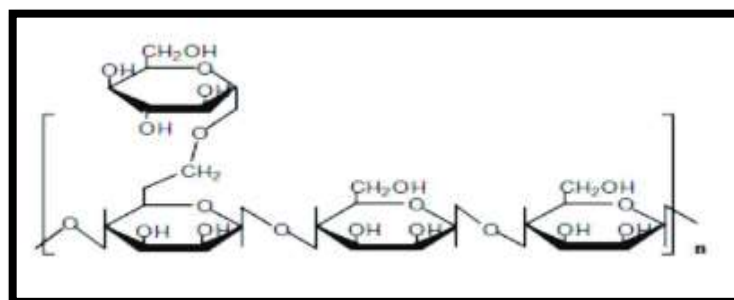
La goma del guarango se clasifica en el Codex Alimentarius de 2010 con el SIN (Sistema de Numeración Internacional) número 417. En Europa figura como E-417 (Hidrobo, 2011).

La goma de tara es el espesante acuoso más eficiente que se conoce. Las soluciones de goma de tara son no newtonianas, clasificada como pseudoplásticas. Se vuelven fluidas de forma reversible, cuando se aplica calor, pero se degradan irreversiblemente cuando se aplica alta temperatura y por largos periodos de tiempo. Las soluciones son bien resistentes a la degradación por esfuerzo cortante (Basurto, 2010).

#### 1.5.5.9. Estructura química de la goma de guarango

La goma del guarango es un biopolímero formado por monómeros de galactosa y manosa, es decir un galactomanano. Por la relación de galactosa-manosa sus propiedades son intermedias entre las de la goma garrofín y las de la goma guar. La relación entre las unidades de galactosa y manosa para la goma del guarango es de 1:3, mientras que en las otras dos gomas es de 2:3 y 1:4 respectivamente (Villanueva, 2007, p. 18).

La goma del guarango tiene peso molecular considerable, 0,2 a 2 MDa. Esta goma está compuesta en su mayoría de polisacáridos dispuestos en cadenas lineales de manosa y galactosa, en la Ilustración 1-7 se observa la unidad monomérica de la goma del guarango, donde una galactosa se sustituye cada tres unidades de manosa (Pavón, 2015).



### **Ilustración 1-7:** Estructura química de la goma de guarango

**Fuente:** (Cabello, 2010).

#### *1.5.5.10. Extracción de la goma de guarango*

La goma se extrae de la semilla de guarango por dos métodos: por la vía húmeda y la vía seca mediante un proceso térmico-mecánico.

- *Extracción por método químico*

En la obtención por vía húmeda las semillas son hidratadas en soluciones de ácidos o bases fuertes. Según (Martínez,2007), concluyó que la extracción de la goma con ácido sulfúrico y sosa resultó en rendimientos del 35%. En este método se evaluaron diversos parámetros como: la relación agua-semilla, el pH, el tiempo de agitación y la temperatura. A pesar de que la vía húmeda presenta mayores rendimientos no es viable a escala industrial, por su costo y los desechos que se producen (Cabello, 2010).

- *Extracción por método físico mecánico*

En la obtención por tratamiento térmicomecánico las semillas son tostadas y molidas, estos procesos separan la cáscara y el germen de la goma. Posteriormente esta goma se seca, se muele y tamiza para obtener goma en polvo, con un rendimiento del 24% (Cabello 2010).

Según (Hidrobo, 2011) se probaron dos tipos de tostadores con la finalidad de dilatar el tegumento, una tostadora de granos y un tostador tipo túnel rotatorio. Además, se consideró un experimento testigo, sin tostado. Por otro lado, se utilizó un molino descascarador, tipo piedra de esmeril, para el fraccionamiento de la semilla, después del tostado, y luego se probaron tamices, para la separación de las partes (tegumento, endospermo y germen).

El proceso de tostado se llevó a cabo en una tostadora de granos, de tipo artesanal. De 4 tratamientos, variando el tiempo de permanencia de las semillas en la tostadora, a una temperatura constante de 70 °C. Estos tiempos fueron: 30, 60, 90 y 120 s, con agitación constante, enfriadas a temperatura ambiente. La molienda de semillas sin tostar y tostadas, se realizó en un molino descascarador tipo piedra de esmeril, seguido de la separación mediante una torre de tamices. Una vez que las partes constitutivas de las semillas fueron clasificadas, estas se pesaron y la fracción correspondiente a la goma se pre-molió, debido a su dureza, en un molino de martillos. La molienda final de la goma se hizo en un molino de café, provisto de una cuchilla giratoria de acero inoxidable, obteniendo la goma en polvo (Fabara, 2012).

#### 1.5.5.11. *Procesamiento Industrial*

En el procesamiento comercial de la goma de Tara, se utiliza una variedad de métodos para separar eficazmente el endospermo de la cáscara y del germen o embrión. La cáscara, el germen y el endospermo se separan por un proceso térmico-mecánico usándose una molienda diferencial ya que hay una diferencia en la dureza de cada componente, utilizando molinos de martillos, de roce o de rodillo. Luego se clasifica e ingresa a un selector óptico, obteniendo una limpieza del 98%. Terminando finalmente la limpieza a un 100%. El endospermo separado contiene 80% de galactomananos, se muele finalmente a un tamaño de partícula fino. Las características de la goma de tara por lo general son propiedad de los productores (Anilcolsa, 2009).

#### 1.5.5.12. *Especificaciones de pureza exigidas comercialmente para la goma de guarango*

**Tabla 1-4:** Especificaciones de pureza para la goma de guarango

Parámetro	Valor
Humedad	Max 15%
Ceniza	Max 1,5%
Fibra	Max 2%
Proteína	Max 3%
Grasa	Max 0,5%
Color	Blanco a Blanco amarillento
Viscosidad	3500-4000 cP
Granulometría	250 $\mu$
	150 $\mu$
	100 $\mu$

Fuente: Fabara, (2012).

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

#### 1.5.5.13. *Compatibilidad*

La goma del guarango es un polímero no iónico compatible con la mayoría de hidrocoloides vegetales como la goma guar, tragacanto, karaya, arábica, el agar, alginatos, carragenatos, algarrobo, pectina, metilcellulosa y carboxy-metilcellulosa. Además, es compatible con casi todos los almidones químicamente modificados, almidones crudos, celulosas modificadas, polímeros sintéticos, y proteínas solubles en agua (Anilcolsa,2009).

#### *1.5.5.14. Deformación por esfuerzo cortante*

La estructura molecular puede degradarse irreversiblemente por rompimiento de la cadena molecular del polímero si se aplican altas velocidades de agitación, por ejemplo, en bombas de transferencia de un tanque a otro. Estos rompimientos están en relación directa con el esfuerzo cortante dado (Anilcolsa,2009).

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.3. Hipótesis y especificación de las variables

##### 2.3.1. *Hipótesis general*

A partir de la goma de las semillas del Guarango (*Caesalpinia spinosa*), se podrá producir bioplástico con características óptimas para uso en el embalaje de alimentos

##### 2.3.2. *Hipótesis específicas*

- El método de extracción termo mecánico es el óptimo para obtener la goma del guarango.
- La goma obtenida de la semilla del guarango cumple con las propiedades deseables para la formación de bioplástico.
- Mediante la variación de la goma de guarango y plastificante, se obtendrá formulaciones adecuadas para la elaboración del bioplástico a nivel de laboratorio, que posea características de flexibilidad y dureza propias de plásticos.
- El bioplástico obtenido a partir de las semillas del guarango cumple con los parámetros de humedad, solubilidad, espesor, permeabilidad, propiedades de tracción de acuerdo con la norma INEN 2635 y biodegradabilidad conforme a la norma EN 13432.

#### 2.4. Identificación de variables

Con base en la respectiva revisión bibliográfica se establece 3 etapas de procesos:

- Proceso termo mecánico para la extracción de la goma, a diferentes tiempos de tostado y molienda.
- Formulación de la goma de guarango con otros aditivos para la obtención de bioplásticos
- Validación del bioplástico para el embalaje de alimentos.

**Tabla 2-1:** Identificación de variables

Nº	Etapas del Proceso	Variables Independientes	Variables Dependientes
1	Extracción de la goma de la semilla de Guarango.	<ul style="list-style-type: none"><li>● Materia Prima (Goma de Guarango).</li><li>● Agua destilada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Temperatura de tostado</li><li>● Tiempo de tostado Y molienda.</li></ul>
2	Formulación de las láminas de bioplástico.	<ul style="list-style-type: none"><li>● Reactivos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Temperatura.</li></ul>
3	Obtención de las láminas de plástico biodegradable.	<ul style="list-style-type: none"><li>● Temperatura.</li><li>● Aditivos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Humedad.</li><li>● Espesor</li><li>● Tracción.</li><li>● Permeabilidad.</li></ul>

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

## 2.5. Enfoque de investigación

La naturaleza del proyecto se basa en el enfoque cualitativo y cuantitativo, constituyéndose a su vez en un proceso de investigación, pues este requiere de materia prima como la goma de Guarango (*Caesalpinia spinosa*), extraída de las semillas de Guarango y sus demás aditivos para la obtención de un Bioplástico.

## 2.6. Nivel de Investigación

El propósito de este análisis dentro de la investigación es realizar un estudio sobre la extracción de la goma de las semillas de Guarango (*Caesalpinia spinosa*), por medio de un tratamiento térmico mecánico para la obtención de bioplásticos, con la ayuda de aditivos para obtener biopelículas con propiedades estructurales óptimas.

## 2.7. Diseño de investigación

Esta investigación es exploratoria y de diseño experimental ya que se centra en analizar e investigar a partir de revisión bibliográfica el mejor método para la extracción de goma de guarango a partir de sus semillas, donde se manipulará variables, dependiendo de estas el éxito de esta investigación, dicha goma se caracterizará mediante los métodos de ensayo físico

químicos para verificar que cumpla con las características óptimas para que junto con otros aditivos contribuyan en la formación de bioplástico para embalaje de alimentos.

El presente estudio se realizará con el diseño factorial 2k, con la finalidad de obtener el método más adecuado para la obtención de la goma y así observar su rendimiento con los diferentes tratamientos, la misma se aplicará para la elaboración del bioplástico para determinar la concentración óptima de la mezcla y obtener un producto con características propias de plásticos convencionales.

## **2.8. Población de estudio**

La población de estudio para esta investigación corresponde al cantón Riobamba perteneciente a la provincia de Chimborazo. El proyecto se desarrollará en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en conjunto con el grupo de Investigación GIADE como un aporte a su proyecto “Obtención de bioplásticos a partir de productos agrícolas del Ecuador”

## **2.9. Recolección de la muestra**

El Guarango, Campeche, Vainillo, Espino, Tara o Taya (*Caesalpinia spinosa*), se encuentra principalmente en Guano un cantón de la provincia de Chimborazo, aunque para este estudio se aprovecha las plantas situadas dentro de la Espoch, lugar donde se obtendrá las semillas de guarango.

### ***2.9.1. Cálculo del tamaño de la muestra***

Se tomará 5 kg de semillas de guarango con la finalidad de obtener una mayor cantidad de goma, obteniendo una muestra diversa y representativa para los ensayos experimentales.

## **2.10. Técnicas de recolección de datos**

Después de una exhaustiva revisión bibliográfica, se elegirá los mejores procedimientos y métodos para la elaboración de bioplástico.

## 2.11. Obtención de la goma de guarango

### 2.11.1. Técnica de extracción de la goma de guarango

**Tabla 2-2:** Extracción térmica mecánica de la goma de guarango

N°	Tratamiento	Variables		Repetición	Peso		Rendimiento	
		Tiempo de tostado	Tiempo de molienda		Semilla	Goma	(g goma/g semilla)	%
1	T1	30 s	90 s	1	50 g			
2								
4								
4								
5	T2	30 s	120 s	1				
6								
7								
8								
9	T3	60 s	90 s	1				
10								
11								
12								
13	T4	60 s	120 s	1				
14								
15								
16								

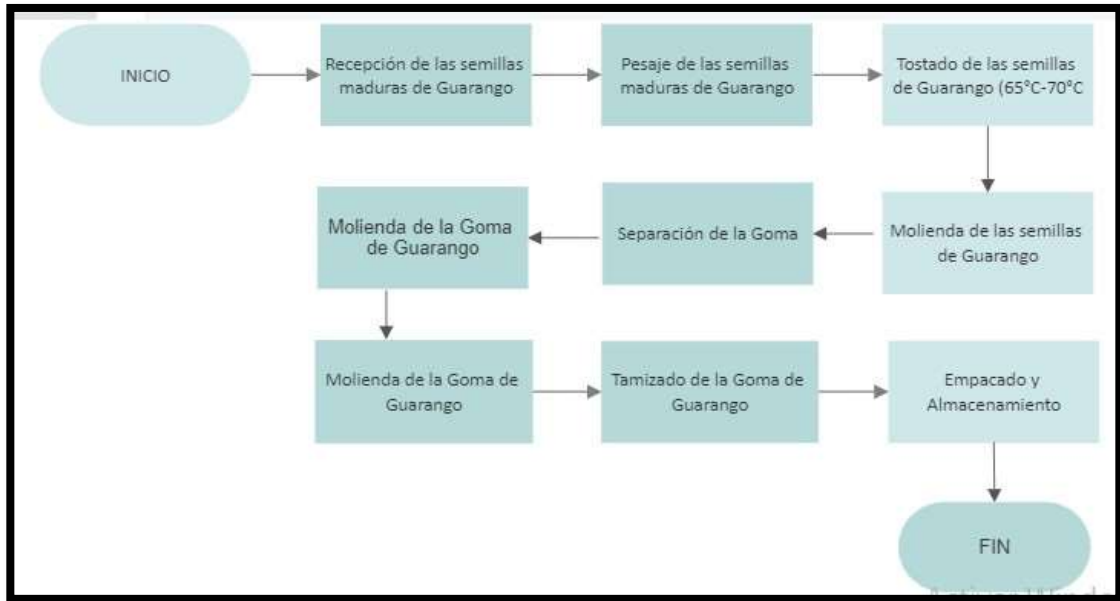
Realizado por: Naranjo, María. 2023.

**Tabla 2-3:** Técnica de extracción de la goma de las semillas de guarango

Método	Procedimiento	Métodos de ensayo
Método térmico mecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción de las semillas maduras de guarango.</li> <li>• Pesaje de las semillas de guarango.</li> <li>• Tostado de las semillas de Guarango a 65 y 70°C.</li> <li>• Molienda de las semillas tostadas.</li> <li>• Separación de la goma.</li> <li>• Molienda de la goma de guarango.</li> <li>• Tamizado de la goma de guarango</li> <li>• Empacado de la goma</li> <li>• Almacenamiento de la goma</li> </ul>	(Hidrobo, 2011)

Realizado por: Naranjo, María. 2023.





**Ilustración 2-1:** Diagrama de Flujo de la extracción de goma de la semilla de guarango

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

## 2.12. Técnica para la caracterización de la goma extraída

**Tabla 2-4:** Ensayos para la caracterización de la goma del guarango

N°	ENSAYO
1	<b>Distribución del tamaño de gránulo</b>
	<b>Materiales y Equipos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Torre de tamices con base y tapa</li> </ul>
	<b>Procedimiento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar cada tamiz vacíos y limpios</li> <li>• Pesar 100 g de muestra de goma de semilla de guarango y transferir al tamiz de la parte superior del grupo de tamices</li> <li>• Agitar el grupo de tamices, hasta que la cantidad de goma de guarango que pasa a través de la parte superior del grupo de tamices sea significativa (aproximadamente 10 minutos)</li> <li>• Remover el tamiz de la parte superior y agitar hasta que la cantidad de almidón a través del siguiente tamiz sea significativa</li> <li>• Continuar de igual forma con los otros tamices hasta que todos sean removidos.</li> <li>• Pesar cada uno de los tamices y el fondo con sus respectivas fracciones de almidón</li> </ul>

	<p><b>Cálculos e interpretación de resultados</b></p> <p><b>Ecuación 1-2:</b> Distribución del tamaño de gránulo</p> $\text{Peso neto individual} = (\text{peso tamiz} + \text{fracción de almidón}) - \text{peso de cada tamiz vacío}$ <p><b>Ecuación 2-2:</b> Gran total para la distribución del tamaño de gránulo</p> $\text{Gran total} = \sum \text{pesos netos individuales}$
	<p><b>Valores de Referencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El 100% o el 95% debe pasar a través de un tamiz de malla 140 (106 <math>\mu\text{m}</math>)</li> </ul>
	<p><b>Método de Ensayo</b> (FAO et al., 2007, p. 61)</p>
2	<p><b>Color</b></p>
	<p><b>Materiales y Equipos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Colorímetro</li> </ul>
	<p><b>Interpretación de Resultados</b></p> <p>Color blanco a blanco amarillento.</p>
	<p><b>Método de Ensayo</b> (Hidrobo 2011)</p>
3	<p style="text-align: center;"><b>Determinación de pH</b></p>
	<p><b>Materiales y Equipos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Medidor de pH</li> <li>Agitador de Laboratorio</li> </ul> <p><b>Reactivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Soluciones de calibración de pH estándar</li> </ul>
	<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Normalizar el medidor de pH a 25°C, sumergiendo los electrodos en solución tampón de pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura.</li> <li>Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón.</li> <li>Con el control correspondiente retornar al equipo a su posición de reposo.</li> <li>Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente.</li> <li>Sumergir los electrodos en la solución que deberán estar a 25°C.</li> <li>La solución es 5g de goma en 25 mL de agua destilada, agitar por 30 minutos a 100 RPM en el shaker.</li> <li>Accionar el control de lectura y leer el pH.</li> <li>El ensayo se realizará por triplicado (1%, 25°C).</li> </ul>
	<p><b>Interpretación de Resultados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Considerar que las muestras cumplen con el requisito, si el pH obtenido se encuentra entre 6,5-6,9</li> </ul>
	<p><b>Método de Ensayo</b> (Hidrobo 2011)</p>

4	<b>Contenido de Humedad y Materia seca</b>
	<p><b>Materiales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza Analítica</li> <li>• Crisoles de Porcelana</li> <li>• Estufa a 80°C constante y ventilación forzada</li> <li>• Desecador</li> <li>• Guantes para alta temperatura</li> <li>• Pinza para crisol</li> </ul>
5	<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar los crisoles previamente tarados (Mr)</li> <li>• Pesar en el crisol vacío 5 gramos de goma (Mh)</li> <li>• Colocar el crisol con la muestra en la estufa a 80°C durante 24 horas</li> <li>• Enfriar los crisoles en el desecador, hasta obtener peso constante (30-40 minutos) (Ms)</li> <li>• Pesar los crisoles con la muestra de almidón seco</li> </ul>
	<p><b>Cálculos e Interpretación de Resultados</b></p> <p>Los ensayos se realizarán por triplicado</p> <p><b>Ecuación 3-2:</b> Cálculo de humedad</p> $\% \text{ de humedad} = \frac{(Mh - Ms)}{100(Ms - Mr)} \times$ <p><b>Ecuación 4-2:</b> Porcentaje de Materia seca</p> $\% \text{ Materia seca} = 100 - \% \text{ de humedad}$ <p>Dónde:</p> <p>Mh = peso del recipiente más la muestra húmeda (gramos)</p> <p>Ms = peso del recipiente más la muestra seca (gramos)</p> <p>Mr = peso del recipiente (gramos)</p>
	<p><b>Valores de referencia</b></p> <p>El contenido de materia seca debe estar entre 87-90 %</p>
	<p><b>Método de Ensayo</b></p> <p>(FAO et al., 2007, p. 62)</p>
	<b>Residuos por calcinación</b>
<p><b>Equipos y Materiales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Mufla</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Campana extractora de gases</li> <li>• Crisoles de porcelana</li> <li>• Desecador</li> <li>• Pinza para crisol</li> <li>• Guantes para alta temperatura</li> </ul>	

	<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarar los crisoles de porcelana</li> <li>• Pesar aproximadamente 1g de goma pulverizada en un crisol de porcelana</li> <li>• Calentar el crisol de porcelana hasta ignición en un reverbero bajo la campana extractora de gases.</li> <li>• Colocar el crisol de porcelana con la respectiva muestra carbonizada en la mufla a 550°C, durante 3 horas y media.</li> <li>• Enfriar el crisol con las cenizas, hasta obtener un peso constante.</li> <li>• Pesar el crisol con las cenizas y calcular la cantidad de cenizas y expresar el resultado como porcentaje de cenizas totales.</li> </ul>
	<p><b>Interpretación de Resultados</b></p> <p>El ensayo se realizará por triplicado.</p> <p>El contenido de residuo por calcinación se deberá obtener utilizando la siguiente ecuación:</p> <p><b>Ecuación 5-2:</b> Residuos por calcinación</p> $R = \frac{m1}{m} \times 100$ <p>Siendo:</p> <p>R= residuo por calcinación</p> <p>m1= masa del residuo en gramos</p> <p>m= masa de la muestra en gramos</p>
	<p><b>Valores de referencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe considerar que la muestra del residuo obtenido no deberá ser mayor a 0,12 por ciento</li> </ul>
	<p><b>Método de Ensayo</b></p> <p>(FAO et al., 2007, p. 91)</p>
6	<p><b>Temperatura de Gelatinización</b></p>
	<p><b>Materiales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Termómetro con escala de 0°C-100°C</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Malla para reverbero</li> <li>• Vaso de precipitación de 100 mL y 500 mL</li> <li>• Pinzas para vaso de precipitación</li> <li>• Probeta</li> </ul> <p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar 2 gramos de goma, mezclar con agua destilada y completar hasta 50 mL</li> <li>• Calentar a baño María</li> <li>• Agitar la suspensión con el termómetro constantemente, hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos</li> <li>• Leer la temperatura de gelatinización</li> <li>• Este ensayo se realizará por triplicado.</li> </ul>

	<p><b>Interpretación de Resultados</b></p> <p>La temperatura de gelatinización se lee directamente del termómetro.</p>
	<p><b>Método de Ensayo</b></p> <p>(FAO et al., 2007, p. 72)</p>
7	<p><b>Viscosidad Brookfield</b></p> <p><b>Materiales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Varilla de agitación</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Vaso de precipitación de 500 mL</li> <li>• Vaso de precipitación de 1000 mL</li> <li>• Viscosímetro Brookfield DV- 1</li> <li>• Caja de Agujas para el Brookfield (Usillo 4)</li> </ul> <p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar una solución al 1% calentar a baño María con agitación hasta 85°C aproximadamente por 10 minutos</li> <li>• Enfriar el gel hasta 25°C</li> <li>• Medir la viscosidad a 25°C, con una velocidad de 20 RPM</li> </ul>
	<p><b>Interpretación de Resultados</b></p> <p>La viscosidad se debe reportar sin decimales en centipoise (cP), informar el método utilizado: la concentración de la suspensión de goma, temperatura, velocidad y número de aguja utilizada.</p> <p>La viscosidad varía entre 106-4535 cP a 25°C y con una velocidad de 10 RPM</p> <p><b>Método de Ensayo</b></p> <p>(Alnicolsa, 2009)</p> <p>Especificaciones técnicas comerciales.</p>

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 2.13. Técnica de obtención del bioplástico

Tabla 2-5: Técnica de obtención del bioplástico

Método	Procedimiento	Métodos de Ensayo
Obtención de las láminas de plástico biodegradables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con las respectivas formulaciones se procede a pesar la cantidad establecida de goma de guarango.</li> <li>• Se añade la goma de guarango y el agua destilada en un vaso de precipitación y se procede a agitar.</li> <li>• Se coloca la solución en un recipiente, previamente calentado y se continúa agitando.</li> <li>• Al llegar a la temperatura de gelatinización de la goma de guarango, se procede a colocar la glicerina. Y se continúa agitando hasta que se forme una capa gelatinosa</li> <li>• Se vierte la mezcla en las cajas Petri y en los moldes de vidrio y posteriormente dejar secar a temperatura ambiente.</li> </ul>	(Charro, 2015, p.7-65).

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 2.13.1. Caracterización del bioplástico

**Tabla 2-6:** Ensayos para la caracterización de la goma del guarango

<b>Humedad</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Estabilizar la estufa durante 15 min hasta alcanzar una temperatura de 105°C-130°C.</li> <li>➤ Introducir una cápsula, calentar durante 1 hora y dejar enfriar.</li> <li>➤ Pesar un pedazo de bioplástico de 2.5 x 2.5 cm y colocarla en la cápsula para ser llevada a la estufa a 130°C durante 1 hora.</li> <li>➤ Enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.</li> <li>➤ Una vez enfriada la muestra reportar el residuo de harina como cantidad de sólidos totales y pérdida de peso (método indirecto).</li> </ul>
<b>Solubilidad</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El contenido inicial de la materia seca (%) y de la humedad se determinarán gravimétricamente secando las muestras de la película a 105°C en una estufa con circulación de aire por 24 horas.</li> <li>• Se debe cortar trozos de película de 2.5x2.5 cm que se pesaran y se colocaran en un vaso de precipitación con 80 mL de agua.</li> <li>• Introducir a una incubadora con agitación a 25°C y 62 rpm.</li> <li>• Secar las películas en una estufa a 105°C, durante 24 horas para la determinación de la materia seca no soluble en agua.</li> <li>• Se deberá restar el valor del peso de materia seca inicial, para obtener el peso de materia seca que se solubiliza en agua durante 24 horas y expresar con un % de materia seca inicial.</li> <li>• Se realizará de 4 a 6 ensayos para cada tipo de película elaborada.</li> </ul>
<b>Espesor</b>
<p><b>Adaptación de la norma INEN 891 1982-11.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir el espesor con un calibrador pie de rey, en diez puntos distribuidos igualmente distribuidos ancho de la lámina y en ángulo recto.</li> <li>• Es recomendable para evitar controversias y confusiones, se deberá condicionar la lámina antes del ensayo, sometiendo la lámina durante 18 horas a una humedad relativa de 75±2% y 20±2°C.</li> <li>• Las láminas deberán ser recortadas en medidas de 2,5cm×2,5cm cada una, se recomienda utilizar 10 películas, el resultado se registrará con el promedio de estas.</li> </ul>
<b>Ensayo de tracción</b>
<p><b>Fundamento:</b> Las probetas deben ser deformadas a lo largo de su eje mayor, con una velocidad constante y aplicando una fuerza determinada hasta que esta probeta se rompa.</p> <p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina Universal de Ensayos- WAW600B.</li> </ul> <p><b>Procedimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Probetas de Bioplástico a partir de goma de guarango.</li> <li>• A una precisión de 0,01mm, medir el ancho y el espesor, proceder a calcular el valor medio de la sección recta.</li> <li>• Se determina la velocidad a realizar el ensayo.</li> <li>• Regular la velocidad al valor designado y conectar la máquina.</li> <li>• Colocar la probeta en la máquina de forma que su alineación sea axial.</li> <li>• Es recomendable que antes de aplicar el esfuerzo, ubicar y ajustar un extensómetro calibrado.</li> <li>• Ajustar un extensómetro calibrado sobre la magnitud de referencia de la probeta (para mayor precisión en la lectura de los valores de respuesta).</li> <li>• Aplicar a la probeta una fuerza para poder deformarla.</li> <li>• Realizar la curva esfuerzo-alargamiento con los datos obtenidos.</li> </ul>

### Biodegradabilidad

- Cortar las películas biodegradables obtenidas de la goma de guarango en medidas 2,5cm×2,5cm.
- Recoger 500g de tierra (con un ligero contenido de humedad), y almacenar en un contenedor (Muscat et al. 2012).
- Una muestra deberá ser enterrada en el interior del suelo a 2cm de profundidad y la otra a una profundidad de 3 cm, durante 15 días.
- El peso de las muestras deberá ser tomadas antes y después del ensayo.
- Tomar imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM), de las muestras antes y después del ensayo, para su introspección visual.
- La prueba de biodegradabilidad se midió mediante la ecuación:

$$\text{Pérdida de peso} = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100$$

Dónde:  $W_0$  y  $W$  son los pesos de las muestras antes y después del ensayo.

Fuente: (Charro, 2015).

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

**Tabla 2-7:** Ensayos microbiológicos

N°	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Método de Ensayo
1	Hongos y levaduras	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Autoclave</li> <li>➤ Mechero</li> <li>➤ Balanza analítica</li> <li>➤ Tubos con tapa de rosca estériles</li> <li>➤ Gradillas para tubos</li> <li>➤ Cajas de Petri</li> <li>➤ Erlenmeyer de 250ml</li> <li>➤ Pipetas de 1 y 10ml estériles</li> <li>➤ Incubadora</li> <li>➤ Cámara de siembra estéril</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Goma extraída</li> <li>➤ Agua destilada estéril</li> <li>➤ Agar Sabouraud</li> <li>➤ Agua peptonada</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se pesa 10 g de muestra en un Erlenmeyer con 90 ml de agua peptonada, obteniendo una dilución de <math>10^{-1}</math>, se agita y se deja reposar 10 minutos.</li> <li>2. Se traspara 1 ml de la dilución <math>10^{-1}</math> a un tubo con 9ml de agua peptonada estéril a simple concentración, de la cual se obtiene una dilución <math>10^{-2}</math>.</li> <li>3. Se inocula 1 ml de cada dilución en cajas Petri y se vertió 15 ml de agar Sabouraud.</li> <li>4. Se mezcla por agitación circular y se deja solidificar el agar.</li> <li>5. Se verte las cajas Petri y se deja incubar a temperatura ambiente durante 5 días.</li> <li>6. Interpretación de resultados, se lo realiza contando el número de colonias presentes cada colonia se multiplica por el factor de dilución cual sea el caso y se detalla como UFC/g o unidades formadoras de colonias por gramo de muestra.</li> </ol>	ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997



2	Coliformes totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Autoclave</li> <li>➤ Incubadora</li> <li>➤ Mechero</li> <li>➤ Balanza analítica Explorer Ohaus</li> <li>➤ Baño de agua WNB 7 memmert</li> <li>➤ Tubos con tapa rosca estériles</li> <li>➤ Gradilla para tubos</li> <li>➤ Cajas Petri</li> <li>➤ Pipetas de 1 y 10 ml</li> <li>➤ Erlenmeyer 250 ml</li> <li>➤ Gradillas para tubos</li> <li>➤ Erlenmeyer de 250ml</li> <li>➤ Pipetas de 1 y 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Almidones extraídos</li> <li>➤ Agua destilada estéril</li> <li>➤ Agua peptonada a simple concentración</li> <li>➤ Caldo lactosado bilis verde brillante al 2%</li> <li>➤ Cajas compact Dry</li> </ul>	<p><b><u>Unidades formadoras de colonia</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se pesa 10,00 g de muestra un tubo con tapa rosca (estéril) con 90,00 ml de agua peptonada simple concentración, de la cual se obtiene una dilución <math>10^{-1}</math>.</li> <li>2. Se toma y traspasa 1,00 ml de la dilución <math>10^{-1}</math> a un tubo con 9,00 ml de agua peptonada estéril a simple concentración, obteniendo así una dilución <math>10^{-2}</math>.</li> <li>3. Se toma y traspasa 1,00 ml de la dilución <math>10^{-2}</math> a un tubo con 9,00 ml de agua peptonada estéril a concentración simple, obteniendo así una dilución <math>10^{-3}</math>.</li> <li>4. Se inocula 1,00 ml de cada dilución a tubos en medio macconkey agar a una temperatura no superior a los 45 °C o se lo realiza sembrando un ml en cajas Compact Dry para coliformes totales y <i>E. coli</i>.</li> <li>5. Se agita suavemente la caja Petri hasta homogenizar.</li> <li>6. Dejar gelatinizar e incubar a 37 °C por 48 h.</li> <li>7. Leer los resultados e interpretar.</li> </ol>	<p>ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997</p>
---	--------------------	--	--	---	--

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.3. Resultados de la caracterización de la materia prima

##### 3.3.1. Propiedades físicas y organolépticas de la goma de guarango

**Tabla 3-1:** Características físicas de la semilla del guarango

<b>Semilla del guarango (<i>Caesalpinia spinosa</i>)</b>				
<b>Nº</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>Largo (cm)</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Espesor(cm)</b>
1	0,26	9,80	7,60	4,5
2	0,29	10,10	7,70	5,0
3	0,31	10,10	7,80	5,1
3	0,30	9,60	7,80	5,5
5	0,29	10,10	7,80	4,9
Promedio	0,29	9,94	7,74	5,0

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

**Tabla 3-2:** Características organolépticas de la semilla del guarango

<b>Semilla del guarango (<i>Caesalpinia spinosa</i>)</b>		
<b>Nº</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
1	Olor	Inoloro
2	Sabor	insípido
3	Color	pardo
3	Textura	Lisa y dura

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

**Tabla 3-3:** Características organolépticas de la goma del guarango

<b>Goma del guarango (<i>Caesalpinia spinosa</i>)</b>		
<b>Nº</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
1	Olor	Inoloro
2	Sabor	insípido
3	Color	Blanco cremoso
3	Textura	Polvo

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 3.3.2. Resultado del rendimiento de la extracción de la goma de guarango

**Tabla 3-4:** Variables utilizadas para la extracción de la goma de guarango

Variable	Nivel Bajo	Nivel Alto
Tiempo de tostado	30	60
Tiempo de molienda	90	120

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

El rendimiento de la goma de guarango se calcula mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación 1-3:** Porcentaje de rendimiento de la goma del guarango.

$$\% R = \frac{\text{Peso de goma de guarango obtenido}}{\text{Peso inicial de la semilla}} \times 100$$

En la Tabla 3-5, se indican los resultados del porcentaje de rendimiento de la goma de guarango (*Caesalpinia spinosa*). Los tratamientos que obtuvieron mejores resultados son: T3 y T4 con 19,08% y 18,36% respectivamente.

Experimentaciones realizadas por Pavón (2015), utilizando el mismo método de extracción consigue un rendimiento de la goma de guarango de 19,28% y 18,86 %, obteniendo valores muy similares.

**Tabla 3-5:** Resultados del rendimiento de extracción por el diseño factorial 2k

N°	Tratamiento	Variables		Repetición	Peso		Rendimiento (%)
		Tiempo tostado	Tiempo molienda		Semilla	Goma(g)	
1	T1	30 s	90 s	1	50 g	8,58	17,16
2				8,25		16,50	
4				3		8,40	16,81
4				4		8,55	17,10
5	T2	30 s	120 s	1		8,60	17,20
6				2		8,32	16,64
7				3		8,28	16,56
8				4		8,45	16,90
9	T3	60 s	90s	1		9,48	18,96
10				2		9,46	18,92

11				3		9,34	18,68
12				4		9,39	18,78
13	T4	60 s	120 s	1		9,20	18,40
14				2		9,16	18,32
15				3		9,22	18,44
16				4		9,14	18,28

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 3.3.3. Análisis de la varianza del rendimiento de la goma del guarango

Para el siguiente análisis se tendrá una regla de decisión.

**Tabla 3-6:** Hipótesis del análisis de varianza

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

El valor de probabilidad dado en la siguiente tabla es 0,001, que es menor que el nivel de significancia (0,05), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa de que todas las medias son diferentes.

**Tabla 3-7:** Resultados del análisis de varianza

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	28,73	3	9,58	9,82	0,001	3,49
Dentro de los grupos	11,70	12	0,98			
Total	40,43	15				

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

La Tabla 3-7:3-7 nos indica que no existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos para la obtención de la goma de guarango.

### 3.3.4. Resultados de la caracterización de la goma del guarango

Para la caracterización de la goma del guarango se realizaron 3 repeticiones para cada prueba y se procedió a obtener un promedio para cada uno de los ensayos.

#### 3.3.4.1. Contenido de humedad y materia seca

**Tabla 3-8:** Resultados de humedad y materia seca

Nº	Humedad (%)	Materia Seca (%)
1	13.76	86,24
2	14.26	85,74
3	13,98	86,02
<b>Promedio</b>	<b>13.98</b>	<b>86,00</b>

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

El porcentaje de humedad de la goma de guarango se encuentra dentro de los parámetros requeridos por las especificaciones técnicas comerciales de la goma de guarango (Alnicolsa,2009), en donde indica que el porcentaje humedad máximo permitido es del 15%. Y de acuerdo con el análisis realizado se obtuvo un promedio de 13,98% de humedad, por lo que cumple el requisito de humedad. Si se obtiene un porcentaje superior de humedad existiría la probabilidad de contaminación por hongos y mohos.

#### 3.3.4.2. Contenido de ceniza

**Tabla 3-9:** Resultados de ceniza

Nº	Ceniza (%)
1	0,68
2	0,70
3	0,78
<b>Promedio</b>	<b>0,72</b>

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Con base en las especificaciones técnicas comerciales de la goma de guarango descritas por Alnicolsa (2009), el porcentaje de cenizas debe ser menor al 1.5%, el contenido de cenizas en la goma del guarango obtenidas es del 0,72%. Se determina que cumple con los niveles permisibles para este parámetro.

### 3.3.4.3. Solubilidad

A partir de la ecuación 3-2:

$$\text{Índice de Solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Índice de Solubilidad en agua (ISA)}_{A1} = \frac{1\text{g} \times 30\text{ml} \times 10}{46,669\text{ g}} = 7,2\%$$

**Tabla 3-10:** Resultados de solubilidad

N°	Índice de Solubilidad
1	7,20
2	6,90
3	7,10
<b>Promedio</b>	7,06

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Según Nieto (2018), las gomas de hidrocoloides son de alta viscosidad por ende tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento. La goma es parcialmente soluble en agua fría y totalmente soluble en agua caliente (60 °C).

### 3.3.4.4. pH

**Tabla 3-11:** Resultados de pH

N°	pH
1	6,96
2	6,94
3	6,95
<b>Promedio</b>	6,95

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Para Alnilcosa (2009), los resultados se consideran dentro del parámetro requerido por las especificaciones técnicas comerciales, en donde el valor de pH es de entre 5,0 y 7,0, el pH obtenido en este método (1%, 25°C), se obtiene y pH de 6,95. Valor que se encuentra dentro del rango establecido.

### 3.3.4.5. Temperatura de gelatinización

**Tabla 3-12:** Resultados de la temperatura de gelatinización

N°	Temperatura de Gelatinización (°C)
1	60
2	60
3	60
<b>Promedio</b>	60

**Realizado por:** Naranjo, María. 2023.

### 3.3.4.6. Granulometría

**Tabla 3-13:** Resultados de granulometría

N°	Tamiz (µm)	(%)
1	250	5,35
2	180	4,03
3	100	13,97
4	53	8,98
5	base	68,27
<b>Total</b>	Total	100,00

**Realizado por:** Naranjo, María. 2023.

Las hojuelas de goma obtenida, luego de la molienda se ingresa a la torre de tamices, donde debe pasar por cada tamiz hasta que llegue a un diámetro de partícula que pase el tamiz 100 mesh (Alnilcolsa,2009). Como se puede observar en la Tabla 3-13 la mayor parte de almidón se encuentra retenido en el tamiz 100 µm, sin embargo, se puede volver al proceso de molienda para reducir aún más el tamaño de partícula, ya que el tamaño de partículas es un factor importante para evitar la formación de grumos cuando las moléculas se disuelven en la solución.

### 3.3.4.7. Viscosidad Brookfield

**Tabla 3-14:** Resultados de viscosidad

N°	Viscosidad Brookfield (Cp)
1	5,324
2	5,602
3	5,486
<b>Promedio</b>	5,470

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Se observa en la tabla 3-14 que la goma de guarango tiene 838,16 Cp, valor que indica alta viscosidad. El análisis se realiza a una concentración del 1%. Según Hidrobo (2011), el valor cumple con las especificaciones comerciales la viscosidad que se encuentra entre 5000-6800 Cp aumenta a medida que se incrementa la concentración de goma en la solución, debido a una mayor presencia de soluto en la solución.

### 3.3.4.8. Análisis microbiológicos de la goma del guarango

**Tabla 3-15:** Resultados microbiológicos de la goma del guarango

Determinaciones	Unidades	Método de Análisis	Valor de Referencia	Resultado
Coliformes totales	UFC/ g	Siembra en masa	-	Ausencia
Coliformes Fecales ( <i>Escherichia coli</i> )	UFC/ g	Siembra en masa	< 10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/ g	Siembra en masa	1000-5000	Ausencia

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Los resultados microbiológicos son favorables para la formulación de películas que se usaran para envoltura de alimentos, ya que se tiene la ausencia de coliformes totales, fecales y de mohos y levaduras.



### 3.4. Resultados de la elaboración del bioplástico

Las formulaciones del bioplásticos se presentan en la Tabla 3-16 de acuerdo con: temperatura de gelatinización (60°C), tiempo de fabricación (20min), velocidad de agitación (100 rpm); variables que se mantienen constantes. Tomando en cuenta que cada experimento es realizado 4 veces. La glicerina se usó al 3% volumen.

**Tabla 3-16:** Cantidades utilizadas en la elaboración del bioplástico

No.	CONDICIONES	PARÁMETRO	UNID.	CANTIDAD	
1	<b>Variab</b> les	Goma	g	2,5	2,00
2		Glicerina	g	1,0	1,25
3	<b>Constantes</b>	Agua	ml	50,00	50,00

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

En la Tabla 3-16 se encuentran las concentraciones utilizadas para la elaboración del bioplástico llevadas a cabo por el método casting, los cuales fueron moldeadas en cajas Petri.

**Tabla 3-17:** Ensayos de las biopelículas a partir de la goma de guarango

N°	Tratamiento	Variable	Repetición	Composiciones	
				Goma (g)	Glicerina (ml)
1	T1	CG1: CP1	1	2,50	1,00
2			2		
3			3		
4			4		
5	T2	CG1: CP2	1	2,50	1,25
6			2		
7			3		
8			4		
9	T3	CG2: CP1	1	2,00	1,00
10			2		
11			3		
12			4		
13	T4	CG2: CP2	1	2,00	1,00
14			2		
15			3		
16			4		

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 3.4.1. Análisis sensorial del bioplástico

Para la caracterización fisicoquímica y mecánica de los bioplásticos de la goma del guarango, se realizó un análisis sensorial, resultados que se observan en la Tabla 3-18 y en la Tabla 3-19. En éstos se indica la puntuación final para cada una de las formulaciones realizadas de los diferentes bioplásticos, se obtiene que los tratamientos T2 y T4 fueron los que resultaron óptimos a comparación de los otros.

Las características físicas que deben mostrar los biopolímeros para el uso de envolturas alimenticias son principalmente: buena flexibilidad, firmeza, textura lisa y una adecuada presentación.

**Tabla 3-18:** Análisis sensorial de las biopelículas de goma del guarango

Muestra	Formación de biopelícula	Facilidad de moldeo	Transparencia	Facilidad al desprenderse del molde	Resultado
T1	SI	Aceptable	Buena	Si	Bioplástico flexible, débil
T2	SI	Aceptable	Buena	Si	Bioplástico flexible
T3	SI	Aceptable	Buena	Si	Bioplástico flexible, débil
T4	SI	Aceptable	Buena	Si	Bioplástico flexible

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

**Tabla 3-19:** Análisis sensorial de los bioplásticos de goma del guarango

Muestra	Bioplástico	Transparencia	Factibilidad de moldeo	Forma película	Estabilidad
T1		Blanco transparente	SI	SI	SI

T2		Blanco transparente	SI	SI	SI
T3		Blanco transparente	SI	SI	SI
T4		Blanco transparente	SI	SI	SI

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 3.4.2. Análisis de validación de los bioplásticos

#### 3.4.2.1. Cálculo del porcentaje de humedad

A partir de la ecuación 3-3:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso inicial de la película} - \text{peso final de la película}}{\text{peso inicial de la película}} \times 100$$

$$\% \text{ de humedad T1.1} = \frac{0,054 - 0,015}{0,054} \times 100$$

$$\% \text{ de humedad T1.1} = 72,22\%$$

**Tabla 3-20:** Resultados del porcentaje de humedad.

N°	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de humedad	Promedio (%)
T1.1	0,054	0,015	72,22	71,06
T1.2	0,057	0,018	68,42	
T1.3	0,051	0,014	72,55	
T2.1	0,043	0,018	58,14	61,14
T2.2	0,041	0,016	60,98	
T2.3	0,042	0,015	64,29	
T3.1	0,027	0,008	70,37	74,07
T3.2	0,026	0,009	23,88	
T3.3	0,027	0,007	23,17	
T4.1	0,058	0,006	89,65	89,08
T4.2	0,059	0,007	88,13	
T4.3	0,057	0,006	89,47	

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Para Escobar et al. (2009), menciona en su estudio que el contenido de humedad presente en los bioplásticos varía entre 19,3 - 22,1 %. De manera que los valores obtenidos en todos los tratamientos se encuentran fuera del rango expuesto, esto se debe a la concentración de glicerina en la formulación, ya que el plastificante (glicerina) tiende a absorber la humedad presente en el ambiente debido a la presencia de grupos hidroxilos en su composición.

#### 3.4.2.2. Cálculo del porcentaje de solubilidad

Para este ensayo se realizaron por análisis por triplicado, teniendo como resultado en todas las muestras la solubilidad total del bioplástico en el tiempo que indica el ensayo. Según Trujillo (2014), menciona si el porcentaje de solubilidad en el bioplástico es menor al 70 % sirve para cubrir alimentos. En este se obtiene una solubilidad de 100% de los bioplásticos de los 4 tratamientos, por lo que se deja abierto a futuras investigaciones de buscar y probar algún aditivo que disminuya el porcentaje de solubilidad.

#### 3.4.2.3. Cálculo de la permeabilidad al vapor de agua (WVP)

Ecuación 4-3:

$$WVP = \frac{WVTR \times e}{\Delta p}$$

$$\Delta p = s'(HR_2 - HR_1)$$

Donde:

WVP: permeabilidad al vapor de agua expresada en (g\*h-1 \*m-1 \* MPa-1).

WVTR: tasa de transmisión de vapor de agua (g/h\*m2). s': presión de vapor de agua a la temperatura de ensayo (MPa) T=21°C. e: espesor (m).

HR2: Humedad relativa de la cámara con solución de cloruro de sodio saturada (HR2 = 75%).

HR1: Humedad relativa en el interior de la celda (HR1= 0%).

El valor de presión del vapor es proporcionado por la Tabla A-4; Agua saturada. Tabla de temperaturas página 914, del libro de CENGEL YUNUS.

S' = 0,002392MPa → a 20°C Tabla A-4 del Apéndice 1 (Cengel y Boles 2012).

#### 3.4.2.4. Cálculo de la velocidad de transmisión de vapor (WVTR)

A partir de la ecuación 5-3:

$$WVTR = \frac{Q}{t} \text{ Expresado en } \left( \frac{g}{h \times m^2} \right)$$

$$WVTR_{T1.1} = \frac{(16,812 - 16,809)g / 7h}{0,00031 m^2}$$

$$WVTR_{T1.1} = 1,38 \frac{g}{h \cdot m^2}$$

**Tabla 3-21:** Datos para calcular la permeabilidad de las bioplástico

N°	R Mm	Área $\pi r^2$ (m <sup>2</sup> )	Pi	P1	P2	P3	P4	P5	P6
T1.1	10	0,00031	16,809	16,810	16,807	16,805	16,806	16,808	16,812
T1.2	10	0,00031	16,808	16,809	16,806	16,804	16,805	16,807	16,811
T1.3	10	0,00031	16,708	16,709	16,706	16,704	16,705	16,707	16,711
T2.1	9	0,00025	15,258	15,257	15,256	15,255	15,240	15,258	15,261
T2.2	9	0,00025	14,208	14,207	14,206	14,205	14,195	14,213	14,212
T2.3	9	0,00025	15,107	15,108	15,105	15,104	15,106	15,108	15,110
T3.1	10,5	0,00031	16,130	16,133	16,131	16,131	16,133	16,134	16,138

T3.2	10,5	0,00035	16,120	16,123	16,131	16,121	16,123	16,124	16,128
T3.3	10	0,00031	16,125	16,128	16,126	16,126	16,128	16,129	16,133
T4.1	10	0,00035	15,858	15,857	15,855	15,855	15,861	15,860	15,865
T4.2	10,5	0,00035	15,756	15,755	15,753	15,753	15,759	15,758	15,763
T4.3	10,5	0,00031	15,636	15,635	15,633	15,633	15,639	15,638	15,642

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

**Tabla 3-22:** Resultados de la velocidad de transmisión de vapor

Tratamientos	Repeticiones	Velocidad de transmisión de vapor $\frac{\text{g}}{\text{h. m}^2}$	Promedio $\frac{\text{g}}{\text{h.m}^2}$
T1	1	1,38	1,49
	2	1,38	
	3	1,71	
T2	1	1,38	1,64
	2	1,84	
	3	1,71	
T3	1	3,68	3,54
	2	3,26	
	3	3,68	
T4	1	2,85	2,82
	2	2,85	
	3	2,76	

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

$$WVPT_{1,1} = \frac{1,38 \frac{\text{g}}{\text{h. m}^2} \times (0,00001 \text{ m})}{0,002392 \text{ MPa} (75 - 0)}$$

$$WVT_{1,1} = 0,000077 \frac{\text{g}}{\text{h. MPa. m}}$$

### 3.4.2.5. Resultados del ensayo de permeabilidad

**Tabla 3-23:** Resultados de la permeabilidad al vapor de agua

Tratamientos	Repeticiones	Permeabilidad al vapor de agua	Promedio
		$\frac{\text{g}}{\text{h. MPa. m}}$	$\frac{\text{g}}{\text{h. MPa. m}}$
T1	1	0,00007	0,000083
	2	0,00007	
	3	0,00009	
T2	1	0,00007	0,000260
	2	0,00010	
	3	0,00009	
T3	1	0,00021	0,000200
	2	0,00018	
	3	0,00021	
T4	1	0,00002	0,000200
	2	0,00002	
	3	0,00015	

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Los valores de permeabilidad al vapor de agua indicados en la Tabla 3-23, muestran que el primer tratamiento es el que posee menor permeabilidad al vapor de agua con 0,000083 g/h.MPa.m, de acuerdo con Muscat et al. (2012), la permeabilidad al vapor de agua está directamente relacionada con la estabilidad del producto envasado, siendo un factor muy importante para ser considerada apta para biopelículas del sector de envolturas. En este caso el valor obtenido nos indica que los todos los tratamientos son aptos para el uso en envolturas y conservación de alimentos.

### 3.4.2.6. Resultados del ensayo de espesor

**Tabla 3-24:** Resultados del espesor de las bioplástico

Tratamiento	N°	Espesor (mm)	Promedio
T1	1	0,1	0,15
	2	0,1	
	3	0,2	
	4	0,2	
T2	1	0,1	0,15
	2	0,1	
	3	0,2	
	4	0,2	
T3	1	0,1	0,125
	2	0,1	
	3	0,1	
	4	0,2	
T4	1	0,1	0,15
	2	0,1	
	3	0,2	
	4	0,2	

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

Según la NTE INEN 2542 (Láminas plásticas requisitos), establece un rango máximo de 0,2 mm para las láminas plásticas, por lo que se determina que los bioplásticos de los tratamientos T1, T2, T3, Y T4 cumplen con el espesor establecido.

**Tabla 3-25:** Resultados de los ensayos de tracción

Muestra	Probeta	Módulo de Elasticidad (MPa)	Carga de Fluencia (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	% de elongación
T1	1	0,86306	1,0950	3,4	1,1621	0,86306	75,3346
T2	1	0,83021	1,1956	3,2	1,0990	0,82642	72,5662
T3	1	0,89326	1,0430	3,1	1,0450	0,81236	74,3475
T4	1	0,82246	1,0246	3,3	1,0592	0,80847	73,1554

Realizado por: Naranjo, María. 2023.



### 3.4.2.7. Análisis microbiológicos del bioplástico

Hay que tener en cuenta que las películas biodegradables serán utilizadas como envoltura de alimentos por lo cual es importante que no tengamos contaminación por presencia de hongos, por lo cual se realiza los análisis pertinentes.

**Tabla 3-26:** Resultados de los análisis microbiológicos del bioplástico

Tratamiento	Parámetros	Método de ensayo	Resultado
T1	Coliformes Totales UFC/g	Siembra en masa	<10
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
	<i>Escherichia coli</i> UFC/g		Ausencia
T2	Coliformes Totales UFC/g		<10
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
	<i>Escherichia coli</i> UFC/g		Ausencia
T3	Coliformes Totales UFC/g		Ausencia
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
T4	Coliformes Totales UFC/g		<10
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
	<i>Escherichia coli</i> UFC/g		Ausencia

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

## 3.5. Biodegradabilidad

### 3.5.1. Biodegradabilidad en agua

**Tabla 3-27:** Resultados de biodegradabilidad en el agua

T	0	1
T1		

<b>T2</b>		
<b>T3</b>		
<b>T4</b>		

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 3.5.2. Biodegradabilidad en el aire

**Tabla 3-28:** Resultados de biodegradabilidad en el aire

<b>T</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>DÍA</b>				
		0	7	14	21	28
1	cm2	0,036	0,032	0,026	0,015	0,005
2	cm2	0,036	0,031	0,028	0,018	0,009
3	cm2	0,035	0,030	0,022	0,019	0,014
4	cm2	0,035	0,028	0,022	0,019	0,014

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

### 3.5.3. Biodegradabilidad en la tierra

**Tabla 3-29:** Resultados de biodegradabilidad en tierra

<b>T</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>DÍA</b>				
		0	7	14	21	28
1	cm2	0	7	14	21	28
2	cm2	0	0,12	0,25	0,65	0,80
3	cm2	0	0,22	0,28	0,35	0,76
4	cm2	0	0,20	0,40	0,55	0,60

Realizado por: Naranjo, María. 2023.

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo el bioplástico a partir de la goma de la semilla de Guarango (*Caesalpinia spinosa*), para uso en el embalaje de alimentos. Para validar su uso se realizó una experimentación en fresas frescas, las cuales se conservaron hasta seis días recubiertas con el bioplástico a temperatura ambiente promoviendo la conservación de las propiedades de calidad de las fresas, mientras las fresas sin recubrir se conservaron cuatro días.
- Se extrajo la goma de las semillas del Guarango (*Caesalpinia spinosa*), mediante el método térmico- mecánico con variables de tiempo de tostado (30 y 60 segundos) y el tiempo de molienda (90 y 120 segundos), obteniéndose que el mejor tratamiento es el T3, con un tiempo de tostado de 60 y una molienda de 90 segundos, con un rendimiento de la goma del 18,96%.
- La caracterización la goma de las semillas del Guarango se lo realizó mediante métodos de ensayos, con resultados para humedad del (13,98%), ceniza (0,72%), pH (6,95%), temperatura de gelatinización (60°C), solubilidad (7,6%), viscosidad (5,470 Cp), granulometría (100 um), coliformes fecales (0 UPC/g), levaduras y mohos (0 UPC/g), coliformes totales (0 UPC/g), siendo valores aceptables dentro de las normas para ser utilizado como materia prima en la elaboración de bioplástico
- Se implementó el diseño factorial 2k, en donde se determinó las concentraciones óptimas para la elaboración del bioplástico, siendo el mejor tratamiento el T2, para su formulación se utilizó concentración de goma (2,5 g) y la concentración de glicerina (1,25 mL) y sus constantes siendo el agua (50 mL).
- Los bioplásticos fueron caracterizadas, donde el T2 obtuvo resultados favorables mediante los métodos de ensayo, se manifestó derivaciones asertivas para humedad de (18,29%), solubilidad (33,136%), para el ensayo de tracción un espesor de (0,06 mm), módulo de elasticidad (7,152E+01 MPa), esfuerzo máximo (7,64 MPa), encontrándose dentro del rango estándar de los valores de referencia y así obteniendo características similares a los plásticos convencionales. Dentro de la biodegradabilidad se realizó en agua, aire y tierra durante 28 días, donde se observó la degradación casi total de los cuatro tratamientos en agua el (83,33%), en aire el (36,08%) y en suelo el (100%) por consecuencia de mayor concentración de plastificante.

## **RECOMENDACIONES**

- Tostar las semillas durante 60 segundos, caso contrario la goma es afectada en su color característico y en el poder de gelificación.
- Dejar enfriar las semillas tostadas hasta alcanzar la temperatura ambiente.

## **GLOSARIO**

**Agentes reticulantes:** son moléculas que crean enlaces químicos entre moléculas lineales, haciendo que las moléculas lineales interactúen entre sí, conectados entre sí para formar una estructura de red lo que mejora la resistencia y elasticidad del material polimérico (Marichelvam et al., 2019).

**Antidisentérico:** Que tiene propiedades para combatir la disentería (Riera y Palma, 2018).

**Galactomananos:** Los galactomananos son biopolímeros del tipo polisacárido formados por un esqueleto de manosa con ramificaciones formadas por unidades de galactosa (Marichelvam et al., 2019).

**Hidrocolide:** Los hidrocoloides son todos los compuestos que tienen afinidad por el agua. Estos compuestos se conocen dentro de la industria de alimentos como gomas (Hidrobo, 2011).

**Pseudoplásticas:** son aquellos fluidos que disminuyen su viscosidad al aumentar la velocidad de deformación aplicada (Cabello, 2010).

**Reología:** La reología de fluidos es usada para describir la consistencia de diferentes fluidos, normalmente mediante dos componentes la viscosidad y la elasticidad. Por viscosidad se entiende la resistencia a fluir o el espesamiento y por elasticidad la pegajosidad o estructura (Marichelvam et al., 2019).

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AGROVIN.** *Polisacáridos: qué son y para qué sirve.* [blog]. 2021. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://agrovin.com/polisacaridos-que-son-y-para-que-sirven/>
2. **ARANDILLA, D.** "Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente". *Técnica Industrial* [En línea], 2012, (España), 297, p. 76-80. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.tecnicaindustrial.es/polimeros-biodegradables-una-alternativa-de-f/>
3. **ARGUELLO, S., & SALTOS, W.** "El Guarango en el Cantón Guano de la Provincia de Chimborazo – Ecuador". *Industrial Data* [En línea], 2017, (Ecuador), 20(1), ISSN 1560-9146. [Consulta: 15 agosto 2023]. DOI: 10.15381/idata.v20i1.13508. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/13508>
4. **BASANTES, X.** *El guarango activa la asociatividad en Chimborazo y además se exporta, 2022* [blog]. [Consulta: 17 agosto 2023]. Disponible en: <https://youtopiaecuador.com/economia-e-inclusion/guarango-organico-exportacion-guano-chimborazo/>
5. **BETANCOURT, C., et al.** "Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo". *Cultivos Tropicales* [En línea], 2016, 37(3), ISSN 0258-5936. [Consulta: 20 agosto 2023]. DOI 10.13140/RG.2.1.4329.2403. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1932/193246976001/>
6. **BÓSQUEZ, E., & VERNON, E.** "Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla". *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [En línea], 2005. (México), 4(2), p. 157-162. ISSN: 1665-2738. [Consulta: 5 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62040203>
7. **CABALLERO, C.** *Bienvenidos a la era del plástico.* [blog]. 2016. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/papel/todologia/2016/02/29/56d048ebca47418f6b8b462c.html>
8. **CABELLO, I.** *Monografía: Tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze* [En línea] (Perú): Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. 2010. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://repositorio.promperu.gob.pe/items/7e5fd2a3-9de4-46e7-a4c2-46fbb32d46b2>
9. **CARMONA, J., et al.** "Influencia del pH y de la fuerza iónica sobre la gelificación térmica de proteínas de la yema de huevo". *Grasas y Aceites* [En línea]. 2007, (España), 58 (3), p. 289-296.

ISSN: 0017-3495. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/132460172.pdf>

10. **CENGEL, Y., & BOLES, M.** *Termodinámica*. 7ª ed. México: Mcgraw-Hill. 2012. p. 1042
11. **CRUZ, M., et al.** "Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata L. Foresta Veracruzana* [En línea], 2018, (México) 14(2), p. 31-36. [Consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/journal/497/49728290005/html/>
12. **EL TELÉGRAFO.** *Exportación de guarango a Perú beneficia a familias de agricultores*. [blog]. 2022. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en:  
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/bioemprendimientos-guarango>.
13. **ENRÍQUEZ, M., et al.** "Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [En línea], 2012, 10(1), pp. 182-192. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en:  
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>
14. **FABARA, F., & SANTIAGO, V.** "Estudio de factibilidad para la producción de guarango (*Caesalpinia spinosa*) en el cantón de Guano, Chimborazo, Ecuador" [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, 2012. p. 96. [Consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2350>
15. **HIDROBO UNDA, Gabriela Cristina.** Desarrollo de un método de extracción, a escala de laboratorio, de gomas provenientes de las semillas de guarango (*Caesalpinia spinosa*), para aplicación en la industria alimenticia [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011. p. 134. [Consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4067>
16. **LAVEAGA VITERI, Aitziber.** Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad nacional de educación a distancia, Módulo de química inorgánica e ingeniería química, 2018. pp. 7-10. [Consulta: 2023-08-07]. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga>
17. **MARICHELVAM, M., JAWAID, M., & ASIM, M.** "Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials". *Fibers* [En línea], 2019 (India), 7(4). [Consulta: 13 agosto 2023]. DOI: 10.3390/fib7040032. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-6439/7/4/32>
18. **MEDEROS, Y., et al.** "Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos". *Cultivos Tropicales* [En línea], 2020, 41(3), [Consulta: 13

agosto 2023]. ISSN 0258-5936. Disponible en:  
<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1563/pdf>

19. **MEZA, K., & VARGAS, G.** Evaluación de la actividad antibacteriana in vitro del aceite esencial de hierba luisa (*cymbopogon citratus* (dc) stapf), poaceae en una formulación cosmética con finalidad antiacnéica [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2013. p. 147. [Consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6005>
20. **MEZA RAMOS, Paola Nathali.** Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Agraria la Molina, La Molina, Perú, 2016. p. 116. [Consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2016>
21. **MERÉ, J.** Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. [En línea], (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España, 2009. p. 176. [Consulta: 21 febrero 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/10823>
22. **MUSCAT, D., et al.** "Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers". *Journal of Food Engineering* [En línea], 2012, 109(2), p. 189-201. ISSN 02608774. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.019>
23. **NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY.** *La contaminación por plástico es un problema descomunal, pero no es demasiado tarde para solucionarla.* [blog]. 2020. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2020/10/contaminacion-por-plastico-problema-descomunal-no-es-demasiado-tarde>
24. **NIETO, M.** *Biomateriales* [Blog]. 2018. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.progressbiomateriales>
25. **ONU.** *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente* [blog]. 2021. [Consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
26. **PAVÓN VARGAS, Darío Javier.** Uso potencial de la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para el desarrollo de nuevas películas y recubrimientos comestibles compuestos [En línea] (Trabajo de

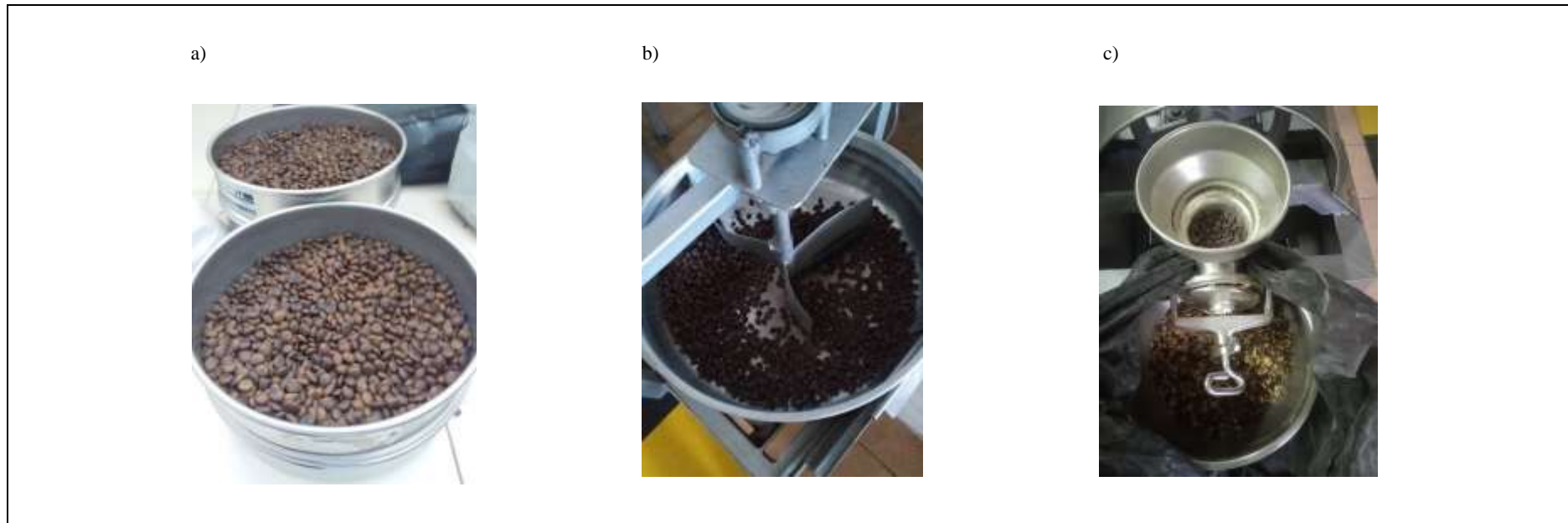


Titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015. p. 174. [Consulta: 19 agosto 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10482>

27. **PRIMEBIOPOL.** *Usos y aplicaciones de los polímeros biodegradables.* [blog]. 2022. [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://primebiopol.com/usos-y-aplicaciones-de-los-polimeros-biodegradables/>
28. **RIERA, M., & PALMA, R.** "Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador". *Avances en Química* [En línea], 2018. 13(3), p. 69-78. [Consulta: 25 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279005/html/>
29. **SOLANO, L., ALAMILLA, L., & JIMÉNEZ, C.** "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados". *Revista especializada en ciencias químico-biológicas* [En línea], 2018, 21(2), [Consulta: 15 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/432/43265176003/html/>
30. **VINTIMILLA, A.** La gestión de residuos plásticos en Ecuador. [blog]. 2020. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://plastiflan.com.ec/la-gestion-de-residuos-plasticos-en-ecuador/>
31. **ZENG, X.** Bioplástico. *Ingenia Materiales* [En línea], 2019, 1(1), pp. 81-82. ISSN 2695-3757. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: [http://polired.upm.es/index.php/ingenia\\_materiales/article/view/3951/4048](http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/3951/4048)

## ANEXOS

### ANEXO A: EXTRACCIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR:  Naranjo Sagñay María José	“EXTRACCIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO”		
a) Materia prima seleccionada b) Tostado de la semilla c) Molienda de la semilla	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por Calificar				
			1	1:1	2023/08/20

**ANEXO B: EXTRACCIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO**

a)



b)



c)



d)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  <b>ELABORADO POR:</b>                   Naranjo Sagñay María José</p>	<p><b>“EXTRACCIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO”</b></p>		
a) Separación de la goma b) Goma en forma de splits c) Molienda de la goma d) Goma pulverizada	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por Calificar				
			2	1:1	2023/08/20

## ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO

a)



b)



c)



d)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE	“CARACTERIZACIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO”		
a) Prueba de humedad b) Prueba de cenizas c) Prueba de densidad aparente d) Prueba de solubilidad	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por Calificar	<b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR:  Naranjo Sagñay María José	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			3	1:1	2023/08/20

**ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO**

a)



b)



c)



d)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  <b>ELABORADO POR:</b>    Naranjo Sagñay María José</p>	<p><b>“CARACTERIZACIÓN DE LA GOMA DEL GUARANGO”</b></p>		
<p>a) Determinación de pH  b) Determinación de la temperatura de gelatinización  c) Determinación de la viscosidad  d) determinación de la granulometría de la goma de guarango</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado      <input type="checkbox"/> Preliminar  <input type="checkbox"/> Certificado      <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Información      <input type="checkbox"/> Por Calificar</p>				
			4	1:1	2023/08/20

## ANEXO E: ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

a)



b)

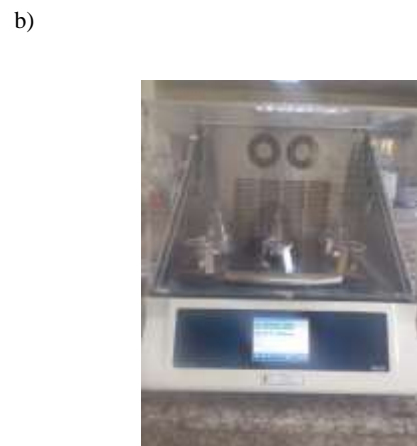


c)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR:  Naranjo Sagñay María José	“ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE LA GOMA DEL GUARANGO”		
a) Preparación del bioplástico b) Vertido de las formulaciones en las cajas petri c) Desmoldado del bioplástico	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por Calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5	1:1	2023/08/20

## ANEXO F: CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE</b>	<b>“CARACTERIZACIÓN DEL</b>		
		<b>CHIMBORAZO</b>	<b>BIOPLÁSTICO DE LA</b>		
a) Ensayo de humedad del bioplástico	<input type="checkbox"/> Aprobado	<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>	<b>GOMA DEL GUARANGO”</b>		
b) Ensayo de solubilidad en agua del bioplástico	<input type="checkbox"/> Certificado	<b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
c) Ensayo de permeabilidad del bioplástico	<input type="checkbox"/> Información	<b>ELABORADO POR:</b>	6	1:1	2023/08/20
d) Medición del espesor	<input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar	Naranjo Sagñay María José			

## ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

a)



b)



c)



d)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Naranjo Sagñay María José	“CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE LA GOMA DEL GUARANGO”		
a) Ensayo de tracción del bioplástico b) Aerobios mesófilos c) Escherichia Coli d) Mohos y levaduras	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por Calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			7	1:1	2023/08/20



**ANEXO H: VIDA ÚTIL DE FRUTAS CUBIERTAS CON EL BIOPLÁSTICO**



<b>NOTAS:</b>		<b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>		<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</b>  <b>ELABORADO POR:</b> Naranjo Sagñay María José	<b>“CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE LA GOMA DEL GUARANGO”</b>		
a) Día 1	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
b) Día 5	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar			8	1:1	2023/08/20
c) Día 7	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por Calificar					

# ANEXO I: ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS DE LA GOMA DE GUARANGO



## INFORME DE ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS

CLIENTE: Sra. María José Naranjo
UBICACION: Roberiba
TIPO DE MUESTRA: Materias prima Goma de Guarango ( <i>Caesalpinia spinosa</i> )
FECHA DE ENTREGA: 15 de agosto del 2023

### Examen Físico

COLOR: blanco cremoso
OLOR: Inolor
ASPECTO: Polvo granular, fino, homogéneo

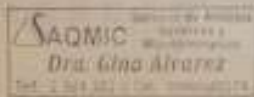
### Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	Valores de referencia	Método de análisis	Resultados
Coliformes Totales	UFC/g		Siembr en masa	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/g	1000- 5000	Siembr en masa	120

\*Valores de referencia para amídonos

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

## ANEXO J: ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS DEL BIOPLÁSTICO



### INFORME DE ANÁLISIS BACTEREOLÓGICOS

CLIENTE: Srta. María José Naranjo
UBICACION: Robermba
TIPO DE MUESTRA: Bioplástico de la goma de Guarango ( <i>Caesalpinia spicosa</i> )
FECHA DE ENTREGA: 15 de agosto del 2023

#### Examen Físico

COLOR: blanco cremoso
OLOR: incoloro
ASPECTO: Polvo granular, fino, homogéneo

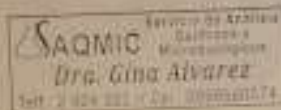
#### Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	Valores de referencia	Método de análisis	Resultados
Coliformos Totales	UFC/g		Siempra en masa	Ausencia
Mohos y Levaduras	UFC/g	1000- 5000	Siempra en masa	Ausencia

\*Valores de referencia para almídonas

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta sólo a la muestra analizada.

**ANEXO K: ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DEL BIOPLÁSTICO**

**ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE GOMA DE GUARANGO LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN**

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
TR2-1	,1000	13,0000	35,4000

Nombre	M Elástico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
TR2-1	--	--	--	--	--
Media	--	--	--	--	--
Desviación	--	--	--	--	--
Estandar					
Maximo	--	--	--	--	--
Minimo	--	--	--	--	--
Rango	--	--	--	--	--
Mediana	--	--	--	--	--
Media JIS	--	--	--	--	--
Coef. Variacion	--	--	--	--	--
3 Sigma	--	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
TR2-1	--	--	--	--	,00619
Media	--	--	--	--	,00619
Desviación	--	--	--	--	,00000
Estandar					
Maximo	--	--	--	--	,00619
Minimo	--	--	--	--	,00619
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,00619
Media JIS	--	--	--	--	,00619
Coef. Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
TR2-1	,57250	25,6250	,44038	72,3870	--
Media	,57250	25,6250	,44038	72,3870	--
Desviación	,00000	,00000	,00000	,00000	--
Estandar					
Maximo	,57250	25,6250	,44038	72,3870	--
Minimo	,57250	25,6250	,44038	72,3870	--
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	--
Mediana	,57250	25,6250	,44038	72,3870	--
Media JIS	,57250	25,6250	,44038	72,3870	--
Coef. Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	--
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	--

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
TR2-1	--	--	--
Media	--	--	--



# ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE GOMA DE GUARANGO

## LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
TR2-1	,1000	15,7000	40,6000

Nombre	M.Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parametro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
TR2-1	--	--	--	--	--
Media	--	--	--	--	--
Desviación Estandar	--	--	--	--	--
Maximo	--	--	--	--	--
Minimo	--	--	--	--	--
Rango	--	--	--	--	--
Mediana	--	--	--	--	--
Media JIS	--	--	--	--	--
Coef.Variacion	--	--	--	--	--
3 Sigma	--	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
TR2-1	--	--	--	--	,01910
Media	--	--	--	--	,01910
Desviación Estandar	--	--	--	--	,00000
Maximo	--	--	--	--	,01910
Minimo	--	--	--	--	,01910
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,01910
Media JIS	--	--	--	--	,01910
Coef.Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
TR2-1	1,35500	30,5858	,86306	75,3346	1,09500
Media	1,35500	30,5858	,86306	75,3346	1,09500
Desviación Estandar	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Maximo	1,35500	30,5858	,86306	75,3346	1,09500
Minimo	1,35500	30,5858	,86306	75,3346	1,09500
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
Mediana	1,35500	30,5858	,86306	75,3346	1,09500
Media JIS	1,35500	30,5858	,86306	75,3346	1,09500
Coef.Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	,00000

Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
TR2-1	30,9027	,69745	76,1149
Media	30,9027	,69745	76,1149



# ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE TR1

## LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
TR1	1,000	15,0000	33,6000

Nombre	M Elastico	PSF_Carga	PSF_Despl	PSF_Esfuerzo	PSF_Deformacion
Parámetro	10, 20 N	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Acep./Rech.	0, 0	0, 0			
Unidades	MPa	N	mm	MPa	%
TR1	--	--	--	--	--
Media	--	--	--	--	--
Desviación	--	--	--	--	--
Estandar					
Maximo	--	--	--	--	--
Minimo	--	--	--	--	--
Rango	--	--	--	--	--
Mediana	--	--	--	--	--
Media JIS	--	--	--	--	--
Coef. Variacion	--	--	--	--	--
3 Sigma	--	--	--	--	--

Nombre	PIF_Carga	PIF_Despl	PIF_Esfuerzo	PIF_Deformacion	Energia
Acep./Rech.	0, 0				0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	J
TR1	--	--	--	--	,00443
Media	--	--	--	--	,00443
Desviación	--	--	--	--	,00000
Estandar					
Maximo	--	--	--	--	,00443
Minimo	--	--	--	--	,00443
Rango	--	--	--	--	,00000
Mediana	--	--	--	--	,00443
Media JIS	--	--	--	--	,00443
Coef. Variacion	--	--	--	--	,00000
3 Sigma	--	--	--	--	,00000

Nombre	Max_Carga	Max_Despl	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion	Rotura_Carga
Acep./Rech.	0, 0			0, 0	0, 0
Unidades	N	mm	MPa	%	N
TR1	49750	20,6440	33167	61,4405	--
Media	49750	20,6440	33167	61,4405	--
Desviación	,00000	,00000	,00000	,00000	--
Estandar					
Maximo	49750	20,6440	33167	61,4405	--
Minimo	49750	20,6440	33167	61,4405	--
Rango	,00000	,00000	,00000	,00000	--
Mediana	49750	20,6440	33167	61,4405	--
Media JIS	49750	20,6440	33167	61,4405	--
Coef. Variacion	,00000	,00000	,00000	,00000	--
3 Sigma	,00000	,00000	,00000	,00000	--



Nombre	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Rotura_Deformacion
Unidades	mm	MPa	%
TR1	--	--	--
Media	--	--	--





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 06/ 05/ 2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> María José Naranjo Sagñay
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Facultad de Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
 <b>Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, Mgs.</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>  <b>Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser, Mgs.</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>