



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA

**INFORME DE INVESTIGACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE MAGISTER EN AGROINDUSTRIA**

**MODALIDAD
TRABAJO DE TITULACIÓN**

TEMA:

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS
MEZCLADOS CON PLASTIFICANTE PARA LA OBTENCIÓN DE
UN BIOPOLIMERO RESISTENTE Y BIODEGRADABLE**

AUTORES:

**DIANA ISABEL MURILLO GARCIA
JIMENA CAROLINA TACO RIVERA**

TUTOR:

ING. JULIO VINICIO SALTOS SOLORZANO Ph.D.

CALCETA, DICIEMBRE 2020

DERECHOS DE AUTORÍA

JIMENA CAROLINA TACO RIVERA y DIANA ISABEL MURILLO GARCIA, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



JIMENA CAROLINA TACO RIVERA



DIANA ISABEL MURILLO GARCIA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR


Ing. Julio Vinicio Saltos Solórzano Ph.D.,certifica haber tutelado el trabajo de titulación **APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS MEZCLADOS CON PLASTIFICANTE PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO RESISTENTE Y BIODEGRADABLE** por Jimena Carolina Taco Rivera y Diana Isabel Murillo García, previo la obtención del título de Magister en Agroindustria, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Ing. Julio Vinicio Saltos Solórzano Ph.D.

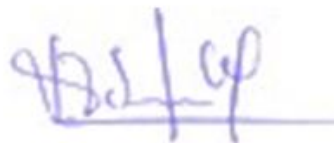
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS MEZCLADOS CON PLASTIFICANTE PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO RESISTENTE Y BIODEGRADABLE** que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **JIMENA CAROLINA TACO RIVERA** y **DIANA ISABEL MURILLO GARCIA**, previo a la obtención del título de Magister en Agroindustria, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



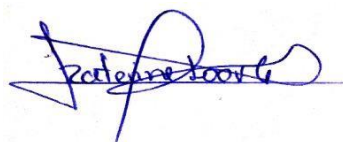
ING. NELSON MENDOZA GANCHOZO, Mg.

MIEMBRO



ING. FRANCISCO DEMERA LUCAS, Mg

MIEMBRO



ING. ROSANNA LOOR CUSME, Mg.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A Dios, su amor y su bondad no tienen fin, por permitirnos levantarnos día a día, sonreír antes todos nuestros logros que son el resultado de tu ayuda, a ti que accedes a mejorarnos como seres humanos y de crecer en diversas maneras.

A nuestras familias y persona especiales en nuestras vidas no soy nada más y nada menos que un solo conjunto, seres queridos que tuvieron puesta la confianza en nosotras, contando con su apoyo en todo momento.

A nuestros formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por transmitirnos el mejor conocimiento y dedicación que los ha regido, lo que nos ha permitido lograr importantes objetivos académicos.

Este nuevo logro es en gran parte de ustedes; hemos logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio parecía una tarea titánica e interminable.



JIMENA CAROLINA TACO RIVERA



DIANA ISABEL MURILLO GARCIA

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este ya que me motivaron constantemente alcanzar mis anhelos.

Tú, quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo, te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesite, por aportar considerablemente en el proyecto. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, sino por los buenos momentos en los que convivimos.

Son unas grandes personas, y me encanta tenerles a mi lado como amigos Carol y Luis.



DIANA ISABEL MURILLO GARCIA

DEDICATORIA

A ti **Doménica**, tú que eres mi orgullo y mi gran motivación, libras mi mente de todas las adversidades que se presentan, y me impulsas a cada día superarme para ofrecerte siempre lo mejor. No es fácil, eso lo sé, pero tal vez si no te tuviera, no habría logrado tantas grandes cosas.

Quiero que sepas que todas las horas que estuve lejos de ti, no hubo un segundo que no estuvieras en mis pensamientos. Eres mi tema preferido en mis conversaciones de estos largos viajes semana a semana, cada que me despedía de ti sonriendo, por dentro algo me presionaba el corazón, pero mi valor de madre me hacía tener que irme de casa feliz, como si nada pasara. Todas las llamadas infinitas que realizamos me emocionaba, sobre todo cuando me arrullabas desde lejos, y me hacías dormir, escuchar esas palabras me daban fortaleza que pronto llegaría a verte y solo ser tu y yo.

Eres como mi cable a tierra, como la dopamina que mi cuerpo necesita para seguir. No fue fácil dejarte mi Dome, pero confío en esta frase que me repito constantemente: "los proyectos constan de tiempo, trabajo y dedicación", mientras tanto, disfruto, vivo y valoro cada momento de mi vida en la tuya.

Llegó el fin de este largo camino de conocimientos adquiridos, este trabajo de investigación te lo dedico a ti, solo le pido a Dios vida y sabiduría para caminar juntas hasta el fin.



JIMENA CAROLINA TACO RIVERA

CONTENIDO GENERAL

| | |
|--|----------|
| DERECHOS DE AUTORÍA..... | ii |
| CERTIFICACIÓN DE TUTOR..... | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| DEDICATORIA..... | vii |
| CONTENIDO GENERAL..... | viii |
| CONTENIDO DE TABLAS..... | x |
| CONTENIDO DE FIGURAS..... | x |
| CONTENIDO DE ANEXOS..... | xi |
| CONTENIDO DE ECUACIÓN..... | xi |
| RESUMEN..... | xii |
| PALABRAS CLAVE..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| KEY WORDS..... | xiii |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.1 Planteamiento y formulación del problema..... | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 3 |
| 1.3 Objetivos..... | 4 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 4 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.4 Hipótesis..... | 4 |
| CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 5 |
| 2.1 Desechos agrícolas..... | 5 |
| 2.1.1 La cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>)..... | 6 |
| 2.1.2 La cebolla..... | 6 |
| 2.2 El almidón como materia prima para bioplástico..... | 8 |
| 2.3 La celulosa como materia prima para bioplástico..... | 9 |
| 2.3.1 Biopolímero..... | 10 |
| 2.3.2 El almidón..... | 11 |
| 2.3.3 La celulosa..... | 11 |
| 2.3.4 Agua destilada..... | 11 |
| 2.3.5 Ácido acético..... | 11 |
| 2.3.6 Glicerina..... | 12 |
| 2.4 Características físico-mecánicas del biopolímero..... | 12 |
| 2.4.1 Características mecánicas..... | 12 |
| 2.5 Condiciones de operación del biopolímero..... | 14 |
| 2.5.1 Temperatura..... | 14 |
| 2.5.2 Humedad..... | 14 |
| 2.5.3 Cantidad del polímero..... | 15 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO..... | 16 |
| 3.1 Ubicación..... | 16 |
| 3.2 Duración de la investigación..... | 16 |
| 3.3 Factores de estudio..... | 16 |
| 3.4 Niveles del factor..... | 16 |
| 3.5 Tratamientos..... | 17 |
| 3.6 Diseño experimental..... | 17 |
| 3.7 Unidad experimental..... | 18 |
| 3.8 Manejo del experimento..... | 18 |
| 3.8.1 Descripción de proceso de almidón de cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>)..... | 18 |
| 3.8.2 Diagrama de proceso para la obtención de almidón de cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>)..... | 20 |
| 3.8.3 Descripción de proceso de celulosa de los catáfilos externos de cebolla.... | 21 |
| 3.8.4 Diagrama de proceso para la obtención de celulosa de los catáfilos externos de cebolla..... | 23 |
| 3.8.5 Descripción de proceso de obtención del biopolímero..... | 24 |
| 3.8.6 Diagrama de proceso para la obtención del biopolímero..... | 26 |
| 3.9 Variables dependientes..... | 27 |
| 3.9.1 Espesor..... | 27 |
| 3.9.2 Resistencia de tensión..... | 27 |
| 3.9.3 Elongación..... | 27 |
| 3.9.4 Determinación el tiempo de biodegradabilidad del biopolímero..... | 27 |
| 3.10 Análisis estadísticos..... | 29 |
| CAPÍTULO IV RESULTADO Y DISCUSIÓN..... | 30 |
| 4.1 Características físico mecánicas del polímero..... | 30 |
| 4.1.1. Factor A..... | 30 |
| 4.1.2. Factor B..... | 32 |
| 4.2. Biodegradabilidad..... | 36 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 40 |
| 5.1. Conclusiones..... | 40 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 42 |
| ANEXOS | 46 |

CONTENIDO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Detalle de los Tratamientos..... | 17 |
| Tabla 2. Esquema de ANOVA bifactorial A*B..... | 17 |
| Tabla 3 Prueba de Hipótesis para la variable de espesor para el factor A..... | 30 |
| Tabla 4 Subconjuntos homogéneos basados en Espesor del Factor A..... | 31 |
| Tabla 5 Prueba de Hipótesis para la variable de espesor para el factor B..... | 31 |
| Tabla 6 Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis para muestras independientes..... | 32 |
| Tabla 7 Resumen de prueba de hipótesis..... | 33 |
| Tabla 8 Resistencia de tensión..... | 34 |
| Tabla 9 Subconjuntos homogéneos basados en Resistencia a la tensión..... | 35 |
| Tabla 10 Prueba de Tukey en la variable de Elongación..... | 36 |
| Tabla 11 Subconjuntos homogéneos basados en Elongación..... | 37 |
| Tabla 12 Datos de biodegradabilidad aerobia en 5, 10, 15 y 20 días..... | 37 |
| Tabla 13 Datos de biodegradabilidad anaerobia en 5, 10, 15 y 20 días..... | 38 |
| Tabla 14 Resultados de los análisis físicos mecánicos de propiedades de espesor..... | 53 |
| Tabla 15 Resultados de los análisis físicos mecánicos de propiedades de resistencia de tensión...53 | |
| Tabla 16 Resultados de los análisis físicos mecánicos de propiedades de elongación..... | 53 |

CONTENIDO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Anatomía del bulbo..... | 7 |
| Figura 2 Diagrama de proceso para la obtención de almidón de cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)..... | 20 |
| Figura 3 Diagrama de proceso para la obtención de celulosa de los catáfilos externos de cebolla...24 | |
| Figura 4 Diagrama de proceso para la obtención del biopolímero..... | 26 |
| Figura 5 prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis para muestras independientes..... | 32 |
| Figura 6 Declive del biopolímero a los 5, 10, 15 y 20 días..... | 38 |
| Figura 7 Declive del biopolímero a los 5, 10, 15 y 20 días..... | 38 |

CONTENIDO DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Proceso de obtención del almidón de cáscara de plátano (Musa paradisiaca)..... | 47 |
| Anexo 2 Proceso para la obtención de celulosa de los catáfilos externos de cebolla..... | 49 |
| Anexo 3 Obtención del Biopolímero..... | 50 |
| Anexo 4 Análisis a los Biopolímeros..... | 51 |
| Anexo 5 Resultados de los análisis físicos mecánicos..... | 53 |

CONTENIDO DE ECUACIÓN

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 Porcentaje de almidón:..... | 19 |
| Ecuación 2 Porcentaje de elongación:..... | 27 |
| Ecuación 3. Tiempo de biodegradabilidad del biopolímero..... | 28 |

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*), catáfilos externos de cebolla y concentración de plastificante sobre las características (físicas-mecánicas) de un biopolímero. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial AxB con tres réplicas por tratamiento de 100 ml, con porcentajes de almidón 10%, 20%,30%; y de celulosa 5%, 10%, 15%. Las variables determinadas en el polímero fueron espesor, resistencia a la tensión, elongación y biodegradabilidad. El ANOVA reveló que la prueba de (ShapiroWilk) no cumplió con el supuesto de normalidad, su significancia es menor a 0,05 procediendo a realizar el ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallisutilizando subconjuntos homogéneos, indicó estadísticamente el tratamiento T6 (10 ml de ácido acético y 5 ml de glicerina para 20 % de almidón y 10% de celulosa), presentó buena resistencia a la tensión los tratamientos T4,T5,T6, con un valor de 0,821 MPa; para la variable elongación a la ruptura, la concentración óptima de glicerina fue la correcta, las película físicamente elaborada no presentan significancia, las muestras realizadas podrían estar cumpliendo con las variables de respuesta estudiadas. El espesor del polímero fue de 0,233 mm. La biodegradabilidad en condiciones anaerobias el tratamiento T4 mostró una pérdida de peso de 2,71% y en condiciones aerobias el tratamiento T6 mostró una pérdida de peso de 1,94% al término de veinte días.Los resultados del estudio indicaron la cantidad de mezcla proporcional de los residuos orgánicos y adición de plastificante, influye favorablemente sobre sus características físicos mecánicas para la obtención del biopolímero.

PALABRAS CLAVE

Biopolímero, cáscara de verde, celulosa, plastificante, residuos orgánicos.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of banana peels (*Musa paradisiaca*), external onion cataphiles and plasticizer concentration on the (physical-mechanical) characteristics of a biopolymer. A Completely Random Design was applied with AxB factorial arrangement with three replications per 100 ml treatment, with starch percentages 10%, 20%, 30%; and cellulose 5%, 10%, 15%. The variables determined in the polymer were thickness, resistance to tension, elongation and biodegradability. The ANOVA revealed that the test of (ShapiroWilk) did not comply with the assumption of normality, its significance is less than 0.05 proceeding to perform the non-parametric Kruskal-Wallis ANOVA using homogeneous subsets, statistically indicated treatment T6 (10 ml of acetic acid and 5 ml of glycerin for 20% starch and 10% cellulose), the treatments T4, T5, T6 showed good resistance to tension, with a value of 0.821 MPa; for the variable elongation at break, the optimal glycerin concentration was correct, the physically processed film did not show significance, the samples made could be complying with the response variables studied. The thickness of the polymer was 0.233 mm. Biodegradability under anaerobic conditions treatment T4 showed a weight loss of 2.71% and under aerobic conditions treatment T6 showed a weight loss of 1.94% at the end of twenty days. The study results indicated the amount of proportional mixing of organic residues and the addition of plasticizer, which favorably influences their physical-mechanical characteristics for obtaining the biopolymer.

KEY WORDS

Biopolymer, green peel, cellulose, plasticizer, organic waste.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La producción agrícola es una actividad frecuente, en el contexto global la mayoría de los países necesita en gran medida la producción de productos como las leguminosas, bulbos, raíces, tubérculos entre otros, cada día que pasa, la producción de residuos va creciendo exageradamente, originando contaminación a recursos naturales agua, suelo, aire (Postigo, 2019).

En Ecuador, donde se vive una actividad comercial muy agitada y se venden diferentes productos tanto de origen orgánico y el inadecuado manejo de los residuos sólidos actualmente constituye una problemática de alcance nacional, ya que los servicios básicos de aseo urbano en el país, en términos de cobertura, eficiencia y calidad, no han logrado atender a la mayoría de la población en forma satisfactoria, elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos de almidón de yuca *Manihotesculenta*, (Menoscal& Rodríguez 2017).

En el 2014 el Instituto Nacional de Estadística y Censos en Ecuador reporta la recolección de 11203, 24 toneladas diarias de residuos sólidos; siendo la región Costa con mayor recolección, registró alrededor de 6229,92 toneladas diarias, convirtiéndose un problema, ya sea por la falta de conciencia de la población generando un impacto ambiental y social poniendo en peligro la salud del ser humano.

Los residuos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos se generan en grandes cantidades sin darles un proceso especial o manejo adecuado que busquen aprovechar el alto potencial que tienen y que de una u otra forma permitan minimizar todo el problema ambiental que producen (López, 2009).

En Santo Domingo de los Tsáchilas, el inadecuado manejo de los residuos orgánicos agrícolas constituye un problema de alcance provincial. Los desechos que son recolectados se disponen en rellenos sanitarios, pero no se cuenta con la tecnología para procesar y evitar la contaminación, lo que genera un impacto ambiental en la calidad de vida de sus habitantes (GADSDT, 2015).

Los residuos de la cosecha del plátano (*Musa paradisiaca*) son ricos en almidón, el cual puede extraerse para su comercialización directa o para otras aplicaciones, como el tratamiento de aguas o la polimerización. El almidón tiene numerosas aplicaciones en la industria papelera, textil, farmacéutica (como excipiente), de adhesivos, alimentos (como espesante), tratamiento de agua (coagulante) y polímeros. El contenido de almidón en el fruto del plátano (*Musa paradisiaca*) es de aproximadamente 70-80% en base seca, mientras que la piel puede contener hasta 50% (Pizá, Rolando, Ramírez, Villanueva, Zapata, 2017).

La obtención de biopolímeros a partir de fuentes renovables animal y vegetal, de las cuales se extraen: almidón, celulosa, gluten, caseína, colágeno y quitosano, en la actualidad los polímeros sintéticos son causantes del deterioro ambiental, siendo los más demandados por los consumidores, gracias a su versatilidad y costo (Charro, 2015).

El bioplástico es un polímero que se caracteriza por poseer propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlo y adaptarlo a diferentes formas y aplicaciones por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo, la celulosa, la cera y el caucho natural (hule) o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas, polvo o en disolución (Campos, González, & Reyes, 2009).

Mediante esta investigación, se pretende obtener un biopolímero utilizando almidón de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) y celulosa de residuos de catáfilos externos de cebolla con plastificante como la glicerina, con una amplia gama de propiedades útiles para aplicaciones de biopolímero, cuya ventaja es darle un valor agregado a los residuos orgánicos.

Por lo antes expuesto, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿Cómo influye la mezcla de residuos orgánicos agrícolas cáscaras de verde (*Musa paradisiaca*) y catáfilos externos de cebolla) con la adición de plastificante para la obtención de un biopolímero para el uso agroindustrial?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La investigación tiene como objetivo desarrollar un biopolímero, con base al aprovechamiento de los residuos orgánicos agrícolas para la elaboración de un biopolímero biodegradable para uso agroindustrial siendo este amigable con el medio ambiente cuyos procesos de producción no son tóxicos y que se pueden sacar provecho de sus residuos o de la sobreproducción.

Según lo dispuesto en la Constitución del Ecuador 2008, que incorpora el principio del buen vivir o SumakKawsay (Título VI: Régimen de Desarrollo) en el artículo 278 literal 2 establece “Producir, intercambiar y consumir bienes y servicios con responsabilidad social y ambiental” (Facultad de Jurisprudencia Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2008)

La obtención de biopolímeros a partir de fuentes renovables animal y vegetal, de la cuales se extraen: almidón, celulosa, gluten, caseína, colágeno y quitosano, en la actualidad los polímeros siendo los más demandados por los consumidores, gracias a su versatilidad y costo (Charro, 2015).

El bioplástico es un polímero que se caracteriza por poseer propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlo y adaptarlo a diferentes formas y aplicaciones por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo: la celulosa, la cera y el caucho natural (hule) o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas, polvo o en disolución (Campos, González, & Reyes, 2009).

Mediante esta investigación, se desarrolló un biopolímero utilizando almidón de residuos de plátano (*Musa paradisiaca*) obtenido de las diferentes plantas

procesadoras de chifles y celulosa de residuos de catáfilos externos de cebolla recolectada del mercado de Santo Domingo de los Tsáchilas con plastificante como la glicerina, con una amplia gama de propiedades útiles para aplicaciones de bioplástico, cuya ventaja es darle un valor agregado a los residuos orgánicos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*), catáfilos externos de cebolla y concentración de plastificante sobre las características de calidad (físicas-mecánicas) de un biopolímero.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la mezcla proporcional de los residuos orgánicos y la adición de plastificante que favorezca las características físicas-mecánicas del biopolímero.
- Evaluar a nivel de laboratorio la biodegradabilidad del biopolímero que resulte con mejores características físicas-mecánicas

1.4 HIPÓTESIS

Con la mezcla de almidón, celulosa y la adición de plastificante se obtendrá un biopolímero biodegradable para el uso de envases primarios para la protección de alimentos en la etapa de post cosecha.

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESECHOS AGRÍCOLAS

La contaminación al ambiente por materiales plásticos en la actualidad es uno de los problemas ambientales más predominantes que afecta a la población mundial y principalmente nuestros océanos. Paradójicamente, dicho impacto está estrechamente relacionado principalmente a las actividades antropogénicas y la cultura de cada habitante (Flores, 2018).

La mayor parte de los polímeros sintéticos se fabrican a partir de una composición petroquímica y cuyos desechos subsisten en el medio ambiente generando un nivel elevado de contaminación con eventuales daños para la vida silvestre. Los residuos plásticos constituyen del 20% al 40% en tamaño de los desperdicios sólidos municipales en los países industrializados. La principal demanda de plásticos producidos se halla en el área de empaque, del cual se derivan como clientes recurrentes: el empaque para alimentos, luego está la industria farmacéutica y finalmente el empaque para cosméticos, por esta razón esta área de procesamiento presta total atención a los empaques biodegradables (Guamán, 2019).

En Ecuador, la problemática relativa al inadecuado manejo de los residuos sólidos actualmente constituye un problema de alcance nacional, ya que los servicios básicos de aseo urbano en el país, en términos de cobertura, eficiencia y calidad, no han logrado atender a la mayoría de la población en forma satisfactoria (Menoscal & Rodríguez 2017).

Santo Domingo de los Tsáchilas muestra la problemática, hasta la fecha no existe aún una gestión de residuos orgánicos; sin embargo, son limitadas por el área o espacio geográfico requerido cuando se propone dar algún tipo de tratamiento como el compostaje (GADSDT, 2015).

Los residuos de la cosecha del plátano (*Musa paradisiaca*) son ricos en almidón, el cual puede extraerse para su comercialización directa o para otras aplicaciones, como el tratamiento de aguas o la polimerización. El almidón tiene

numerosas aplicaciones en la industria papelera, textil, farmacéutica (como excipiente), de adhesivos, alimentos (como espesante), tratamiento de agua (coagulante) y polímeros. El contenido de almidón en el fruto del plátano es de aproximadamente 70-80% en base seca, mientras que la piel puede contener hasta 50% (Pizá, et al., 2017).

2.1.1 LA CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*)

El plátano (*Musa paradisiaca*) es una fruta sana con una calidad de llenado exclusiva, pero sus beneficios no sólo se detienen en su valor nutricional. La cáscara de plátano de uso industrial representa del 35 al 40%, del peso total del fruto, siendo una cantidad considerable de residuos que se podrían aprovechar para la producción de complejos enzimáticos (Melo, 2015). Sus usos provenientes de la cáscara del plátano (*Musa paradisiaca*) son: extracción de pectina, materia prima para bioplástico, compost, fertilizante para las plantas, repelente de pulgones y áfidos (Pizá, 2017).

Las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) poseen un gran potencial, como una fruta básica en la alimentación humana, debido a su bajo precio, rico sabor, disponibilidad en todo el año, quedando la cáscara de plátano como un residuo agroindustrial al cual muchas veces no se le da ningún uso (Ramos, Aguilera, & Ochoa, 2014) considerando que es de alta disponibilidad, fácil consecución y bajo costo (Tejada, Herrera, & Nuñez, 2016).

2.1.2 LA CEBOLLA

En el Ecuador la cebolla ha sido cultivada desde hace varios siglos, aunque se desconoce en qué época fue introducida. Se cosecha principalmente las variedades de cebolla roja y blanca, para el mercado local, y la introducción en estos últimos 5 años de la cebolla perla para exportación; tradicionalmente la región interandina lidera el cultivo. La cebolla, dentro del género *Allium*spp., es la especie más importante utilizada como alimento y en la medicina. Las zonas de mayor producción de cebolla colorada se encuentran en las provincias de Chimborazo y Tungurahua, en donde el promedio de ciclo de cultivo está entre 180 y 270 días a partir de semilla vegetativa y en las áreas templadas y

subtropicales entre 120 a 150 días a partir de semilla sexual. Según los datos del III Censo Nacional Agropecuario existe una superficie sembrada de aproximadamente 6300 hectáreas como cultivo solo y 267 hectáreas como cultivo asociado (López A, 2017).

Las cebollas son un alimento con un escaso aporte calórico porque su contenido en agua es de alrededor del 90%. En la composición de las cebollas se ha de tener en cuenta su apreciable aporte de fibra y su contenido mineral y vitamínico. (Cuenca & Mieles, 2012).

Las catáfilos o hipsofilos, en cebolla llamados comúnmente túnicas, son la parte que generalmente se consume. Entre dos túnicas aparece una tela transparente llamada lámina. Tras el engrosamiento del conjunto de partes enfundadas de las hojas se origina el bulbo como se muestra en la figura 1 (García, 2017).

Las estructuras de reserva formadas en la primera mitad del ciclo vital de la cebolla se llaman bulbos. Estos bulbos se forman en respuesta a un fotoperíodo específico y son el producto de la acumulación de carbohidratos en la base de las hojas. Los bulbos presentan la siguiente estructura de acuerdo a la figura 1.



Figura 1. Anatomía del bulbo.

Fuente: (Modificada de <http://yeriscelispuentes.blogspot.com/2016/04/conocimientos-siembra-la-cebolla-se.html>).

- Tallo, en forma de disco basal.
- Tres catáfilos externos las cuales se originan de hojas con lámina, se secan y sirven de protección.

- Un número variable de catáfilos engrosados, normalmente cuatro, procedentes también de hojas con lámina.
- De tres a cuatro catáfilos engrosados sin lámina, los cuales a su vez envuelven a unas cuatro o cinco hojas verdes que inician su desarrollo.

2.2 EL ALMIDÓN COMO MATERIA PRIMA PARA BIOPLÁSTICO

El almidón es un compuesto de almacenamiento que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. Es un polisacárido sintetizado a partir del dióxido de carbono (CO₂) que toman las plantas de la atmósfera y del agua que toman del suelo, formado por una mezcla de dos sustancias; amilasa y amilopectina(Méndez de la Cruz, 2010).

Existen otras fuentes de donde puede extraerse el almidón; una de esas fuentes es el banano el cual, en su estado verde se compone en su mayor parte de almidón, es un polímero natural con estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007).

Según Guzmán (2015) la estructura del almidón está formada por: 20% de amilosa; 80% de amilopectina dependiendo de la especie. Eso quiere decir que el almidón es una materia prima que tiene propiedades termoplásticas cuando se realiza la disrupción estructural a nivel molecular. La presencia de amilosa en un 70% en almidones de amilo-maíz da una estructura fuerte y más flexible a la película. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente le da a la película bajas propiedades mecánicas (Flores, 2018).

Como consecuencia la adición de polímeros naturales como el almidón al interior del polietileno en forma granular entre un 6 y 30%, es una aproximación en la fabricación de empaques biodegradables. Las películas de almidón y polietileno de baja densidad (LDPE) contienen hasta 30% de almidón, mostrándose como un material parcialmente biodegradable. Otra aplicación del almidón es la

combinación en forma gelatinizada en proporciones entre el 30 y 70% mezclado con polímeros sintéticos (Flores, 2018).

Con el objeto de estudiar los diferentes procesos de obtención de almidón y su composición, algunos estudios indican que dependiendo de la materia prima pueden cambiar las características físicas químicas y los contenidos plastificantes de los productos resultantes, en este sentido se consideran los residuos agrícolas como el plátano, cebolla entre otras.

La utilización de los residuos del plátano (*Musa paradisiaca*) se convierten en una alternativa viable de producción, contienen alto contenido de celulosa y almidón que pueden ser transformados en bioplásticos que se descomponen de manera más rápida, sirviendo a la vez como compost (abono) para el suelo y poder así sustituir a los plásticos tradicionales que están afectando a la biodiversidad (Haro, Borja, & Triviño, 2017).

2.3 LA CELULOSA COMO MATERIA PRIMA PARA BIOPLÁSTICO

La celulosa se forma por unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídicos; tiene una estructura lineal en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos OH de las cadenas de glucosa y originan las fibras compactas que constituyen la pared celular (Gallur, 2010).

Otra materia prima que puede usarse para hacer bioplásticos es la celulosa, principal componente de los tejidos vegetales, y por lo tanto el polímero más abundante en la naturaleza razón por la cual de la celulosa se puede obtener bioplástico quebradizos, poco flexibles y bastante permeables a la humedad. (Argemio, 2019).

Los polímeros basados en celulosa se producen mediante modificación química de celulosa natural. Los principales representantes son el celofán, el acetato de celulosa, el éster de celulosa, la celulosa regenerada para fibras y los biomateriales compuestos de celulosa. En el algodón, la celulosa está disponible en su forma prácticamente pura; por el contrario, en la madera está presente junto con lignina y otros polisacáridos. Los ésteres de celulosa se utilizan en la

fabricación de membranas y otros medios de separación. Los polímeros de celulosa también pueden usarse en procesos de extrusión y moldeo.

La fibra regenerada de celulosa se utiliza mezclada con otras para la fabricación de prendas de vestir y en materiales higiénicos desechables (Valero, Ortegón, & Uscategui, 2013).

2.3.1 BIOPOLÍMERO

El biopolímero fabricado a partir de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*), comparte las características con los elaborados a través de derivados de petróleo y la diferencia entre el plástico que actualmente se fabrica y el producido con base en almidón, el segundo es completamente biodegradable y no tóxico proviene, precisamente, en el origen vegetal de la materia prima, reduciendo nuestra dependencia del petróleo que desde décadas domina nuestra sociedad. El bioplástico tiene su apuesta en el desarrollo sostenible, pues las grandes emisiones de dióxido de carbono durante la producción del plástico convencional se reducen con la producción de bioplásticos entre 0,8 y 3,2 toneladas (Castillo, 2015).

El estudio: “*Potential uses of banana peelings: production of a bioplastic*”, traducido a “Posibles usos de las cáscaras de plátano: producción de un bioplástico”, evaluó la viabilidad de obtener productos tales como hojas de papel y bioplástico a partir de la fibra de banano, teniendo en cuenta la norma TAPPI 494 del manual TAPPI Standards: Regulations and Style Guidelines, y las propiedades del bioplástico. La metodología empleada correspondió a la técnica, se pudo establecer 23,03% de hemicelulosa, 23,02% de celulosa, 29,87% de lignina, 11% de solubles, 12,3% de almidón y 0,78% de cenizas (López J, 2014).

Su aplicación en la fabricación del papel generó un producto poco homogéneo y de bajos esfuerzos mecánicos, principalmente por tener un escaso contenido de holocelulosa y un alto contenido de lignina. En este caso, se recomienda un estudio para observar la viabilidad de usarla en la fabricación de pellets para plástico, por ende, el bioplástico obtenido fue un bio-material con resultados positivos en cuanto a durabilidad y aspecto físico (López J, 2014)

2.3.2 EL ALMIDÓN

El bioplástico, fabricado a partir de almidón de plátano comparte las características con los elaborados a través de derivados de petróleo y la diferencia es que es completamente biodegradable y no tóxico (Castillo, 2015).

2.3.3 LA CELULOSA

La celulosa se utiliza, principalmente, para hacer papel, también se usa para hacer una amplia gama de diferentes plásticos, entre los que se incluye el celuloide, el celofán y el rayón, los primeros plásticos estaban compuestos de materiales orgánicos y no sintéticos y por aquel entonces, la celulosa, era un elemento clave de la incipiente industria del plástico, los bioplásticos han vuelto a suscitar un gran interés por sus diferentes beneficios medioambientales (Seshata, 2014).

2.3.4 AGUA DESTILADA

El agua es utilizada comúnmente como un plastificante para lograr la desestructuración del almidón en las mezclas para obtener almidones termoplásticos. Se utiliza con el objetivo de lograr mejores propiedades mecánicas y de barrera, el agua es el plastificante más abundante y más económico (Charro, 2015).

2.3.5 ÁCIDO ACÉTICO

También llamado ácido etanoico, es un ácido orgánico de dos átomos de carbono. Este es un ácido que se encuentra en el vinagre. Es líquido, incoloro, soluble en agua, alcohol, éter, glicerina, acetona, benceno, y tetracloruro de carbono (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007).

Algunos de los usos del ácido acético es como mordiente en soluciones fijadoras, para la preservación de tejidos y como ingrediente de compuestos adhesivos. Esto quiere decir que en la elaboración de plásticos biodegradables ayuda a que este tenga más resistencia debido a que todas las moléculas se pegan (Godinés, Cabrera, & Santiago, 2017).

2.3.6 GLICERINA

La glicerina USP es una sustancia versátil que, debido a su combinación única de propiedades físicas y químicas, posee más de 1.500 usos finales. Sus características la destacan como un componente muy estable bajo las condiciones típicas de almacenamiento, no es irritante, tiene bajo grado de toxicidad sobre el medio ambiente y, además, es compatible con muchos otros productos químicos. La glicerina sirve como plastificante en los biopolímeros, se produce en la fermentación del azúcar o de aceites y grasas animales o vegetales (Pérez & Redondo, 2014).

El agua, el alcohol polivinílico y la glicerina son materias primas que cumplen una función humectante y plastificante, además este último tiene una acción consolidante disminuyendo la porosidad del bioplástico que se evidencia en forma de burbujas, el Celocell es un material que actúa como espesante y extensor, lo que permite que el producto tenga un mayor rendimiento sin afectar sus propiedades, además le añade al producto final propiedades hidrófobas (Holguin, 2019).

2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DEL BIOPOLÍMERO

2.4.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Estas propiedades dependen del esfuerzo que se aplique, de la temperatura a la que se someta y del tiempo que dure la aplicación. La deformación es la suma de deformación elástica y de la plástica (Iguardia C, 2013).

Las propiedades mecánicas de los materiales, son las propiedades físicas que describen el comportamiento de un material al aplicarle tres tipos de fuerza, tracción (se aplican fuerzas para tratar de alargar un objeto), compresión (aplican fuerza para tratar de acortar un objeto) y torsión (se aplican fuerzas que intentan hacer girar un objeto alrededor de un eje), según el tipo de material se le aplican algunas pruebas mecánicas para evaluar el material, para materiales plásticos estas son algunas pruebas (Holguin, 2019).

Elasticidad: Es la propiedad en la que un material recupera su forma original al cesar el esfuerzo al cual fue sometido.

Plasticidad: Es la propiedad en la cual pierde su forma original al disminuir el esfuerzo al cual se aplicó, esta propiedad indica la capacidad que tiene el material de mantener su forma al someterlo a algún esfuerzo.

Dureza: Es la resistencia que ejerce un material a ser penetrado por otro, esta propiedad brinda información acerca del desgaste en presencia de materiales abrasivos.

Tenacidad: Es la resistencia a la rotura de un material cuando está sometido a esfuerzos lentos de deformación.

Fragilidad: Es la rotura del material por un esfuerzo sin que se produzca una deformación plástica.

Estas propiedades tienen como fin establecer cuan resistente es el material, para establecer los usos a nivel industrial, ya que un polímero flexible o rígido va a tener diferente aplicabilidad. Si bien las propiedades mecánicas de las piezas inyectadas deberían ser similares al material constitutivo, la variación de los parámetros puede modificar en cierta medida estas propiedades. No siempre es posible realizar ensayos de tracción, compresión, etc., sobre las piezas inyectadas, esto dependerá de la geometría y tamaño de la pieza. En algunas ocasiones, se puede hacer una probeta a partir de la pieza, sobre la cual, se pueden realizar algunos ensayos. Para conocer el desempeño de las piezas en uso, se deberán realizar ensayos que simulen su funcionamiento y condiciones de trabajo (Holguin, 2019).

2.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas son aquellas que se base principalmente en la estructura del objeto, sustancia o materia, que es visible y medible. (Significados, 2020)

Tracción: Incremento de la carga aplicada y se representa gráficamente en función de la tensión (Flores, 2018).

Las propiedades mecánicas se pueden medir por ensayo de tracción el cual mide la deformación de la probeta entre dos puntos fijos de la misma medida que

incrementa la carga aplicada, la misma se representa gráficamente en función de la tensión (Narváez, 2016).

Elongación: Se mide la deformación (alargamiento) entre dos puntos fijos de las tiras ante las cargas hasta su punto de ruptura (Meza, 2016).

La elasticidad es una constante de proporcionalidad que depende de la naturaleza del material. Las unidades del módulo de elasticidad en el Sistema Internacional son newton sobre metro cuadrado (N/m^2) (Narvaez, 2016).

Degradabilidad: La degradabilidad del biopolímero y del polietileno de baja densidad (PDBD) de una bolsa plástica en estudio fue estimada por la técnica in situ en el laboratorio del Instituto Superior Tecnológico Calazacón Santo Domingo.

La norma ASTM D 5488-944 define la biodegradabilidad como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos. En general, un polímero es biodegradable si su degradación resulta de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007).

2.5 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL BIOPOLÍMERO

2.5.1 TEMPERATURA

La temperatura relaciona la actividad del agua y el contenido de humedad de equilibrio, permitiendo determinar las condiciones óptimas de almacenamiento y comportamiento frente a la humedad, bajo condiciones específicas (Navia, Ayala, & Villada, 2011).

Para la elaboración de películas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón se realiza distintos ensayos variando sus condiciones de temperatura 60,70, 80°C con el fin de encontrar las mejores condiciones que permiten la obtención de películas estables que no se rompen (Narváez, 2016).

2.5.2 HUMEDAD

Es el parámetro principal para la viabilidad económica porque a mayor contenido de éste mayor consumo energético se presentará, por lo que su valor varía de acuerdo a las condiciones ambientales de la zona (López, 2014).

Los procedimientos de secado son los más recurrentes para estimar la cantidad de humedad en determinados productos, estos se llevan a cabo por calentamiento y en base a normas establecidas. La cuantificación de la cantidad de humedad ejerce una función esencial que permite certificar la calidad de dicho producto a escala industrial (Guamán, 2019).

La medición de la humedad por medio del método de secado por estufa, implica la disminución del peso de la muestra a través de la evaporación del agua. Por tanto, esta metodología se sustenta en la estufa y en la báscula analítica, la cual radica en el acondicionamiento de la muestra, pesaje, secado, enfriado y pesaje hasta valor constante (Guamán, 2019).

2.5.3 CANTIDAD DEL POLÍMERO

Posibilidad de fabricarlos a partir de recursos que, si se manejan adecuadamente y no se agotan. La cantidad del polímero generado, en función de las condiciones específicas de cada proceso productivo, pueden presentar una huella de carbono menor que los plásticos convencionales (Vásquez, 2106).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

El desarrollo de esta investigación se realizó en el Laboratorio de Química y Biología del Instituto Superior Tecnológico Calazacón, el mismo que geográficamente se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas 0°20'0"Latitud Sur 79°10'31.3" Longitud Oeste y una Altitud de 655 msnm, Santo Domingo de los Tsáchilas–Ecuador (PDOT 2030 El futuro de Chilachito, 2015).

3.2 DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación la fase experimental, se realizó en un tiempo de 6 meses.

3.3 FACTORES DE ESTUDIO

Los factores de estudio para el desarrollo del biopolímero son:

- Factor A: Porcentaje de almidón de cáscara plátano (*Musa paradisiaca*).
- Factor B: Porcentajes de celulosa de los catáfilos externos de cebolla.

3.4 NIVELES DEL FACTOR

Para el factor porcentaje de almidón de cáscara plátano (*Musa paradisiaca*) se utilizará los siguientes niveles en base a 100 ml de solución:

- $a_1 = 10\%$ Almidón de cáscara de plátano(*Musa paradisiaca*)
- $a_2 = 20\%$ Almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)
- $a_3 = 30\%$ Almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)

Para el factor porcentajes de celulosa de catáfilos externos de cebolla se utilizaron los siguientes niveles en base a 100 ml de solución:

- $b_1 = 5\%$ de celulosa de los catáfilos externos
- $b_2 = 10\%$ de celulosa de los catáfilos externos
- $b_3 = 15\%$ de celulosa de los catáfilos externos

3.5 TRATAMIENTOS

De las combinaciones de los diferentes niveles de cada factor se obtuvieron como resultado los siguientes tratamientos que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Detalle de los Tratamientos.

| Tratamientos% | % de almidón | % de celulosa |
|---------------|--------------|---------------|
| T1 | 10 | 5 |
| T2 | 10 | 10 |
| T3 | 10 | 15 |
| T4 | 20 | 5 |
| T5 | 20 | 10 |
| T6 | 20 | 15 |
| T7 | 30 | 5 |
| T8 | 30 | 10 |
| T9 | 30 | 15 |

Fuente: Taco & Murillo, 2020

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo factorial AxB, con un total de nueve tratamientos, realizando tres réplicas para cada uno. Para el análisis estadístico de las variables en estudio se utilizó el software SPSS versión 21 (libre).

El esquema de ANOVA se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Esquema de ANOVA bifactorial A*B

| Fuente de Variación | Grados de libertad |
|---------------------|--------------------|
| Total | 26 |
| Factor A | 2 |
| Factor B | 2 |
| A * B | 4 |
| Error | 18 |

Fuente: Taco & Murillo, 2020

3.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

Para este estudio se tomaron 100 g de mezcla de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) y celulosa más la adición de la glicerina para la obtención del biopolímero posteriormente se lo extiende en láminas de vidrio 25X25 cm.

3.8 MANEJO DEL EXPERIMENTO

A continuación, en el Laboratorio de Química y Biología del Instituto Superior Tecnológico Calazacón se obtuvo el almidón de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) (Anexo 1) y la celulosa de los catáfilos externos de cebolla (Anexo 2), más la adición de glicerina de marca Loba Chemie.

3.8.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*).

Según la metodología (Castillo, 2015) se procede a la extracción de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). Como se detalla en la Figura 2.

- **Recepción de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*):** Se recolectaron 152,4kg de cáscaras de plátano en estado verde, por tener alto porcentaje de almidón, generadas en su mayor parte de las chiflerías del sector, se procedió con la identificación de la presencia de almidón agregándose gotas de Lugol al reverso de la cáscara (endocarpio) y notando un cambio de coloración de ámbar a azul oscuro, se pudo corroborar la identificación de almidón.
- **Lavado:** Se procedió al lavado de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*), a fin de eliminar todo cuerpo extraño a su composición normal, se lo realizó en una tina plástica con agua potable a una temperatura ambiente de 22°C y una solución de hipoclorito de sodio al 2%.
- **Separación:** Se realizó manualmente el desprendimiento de tiras finas con ayuda de un cuchillo marca Tramontina, se desprendió 20 kg de endocarpio de las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*), de donde se obtendrá el almidón (Anexo 1A).
- **Secado:** El endocarpio desprendido se procedió a secar en un equipo deshidratador marca MEMMERT UN30 la cantidad de 50 kg a una temperatura de 80°C por 24 horas.
- **Molido:** Se realizó en un molino grano Victoria manual de hierro fundido de disco con mayor ajuste para refinar el endocarpio (Anexo 1-B).
- **Tamizado:** Se separó en un tamiz de laboratorio de 0,15 mm de acero inoxidable marca D.beritepermitiendo que el almidón esté completamente libre

de grumos o trozos de la cáscara y obtener un producto refinado, mediante la ecuación 1 se obtuvo un porcentaje de almidón de 4,797%.

Ecuación 1 Porcentaje de almidón:

$$\% \text{ almidón} = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

Peso final: almidón obtenido

Peso inicial: cáscara de plátano

- **Almacenamiento:** Se almacenó 7,310 kg el almidón a una temperatura ambiente de 25°C, en un recipiente hermético (Anexo 1-C).

3.8.2 DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA*)

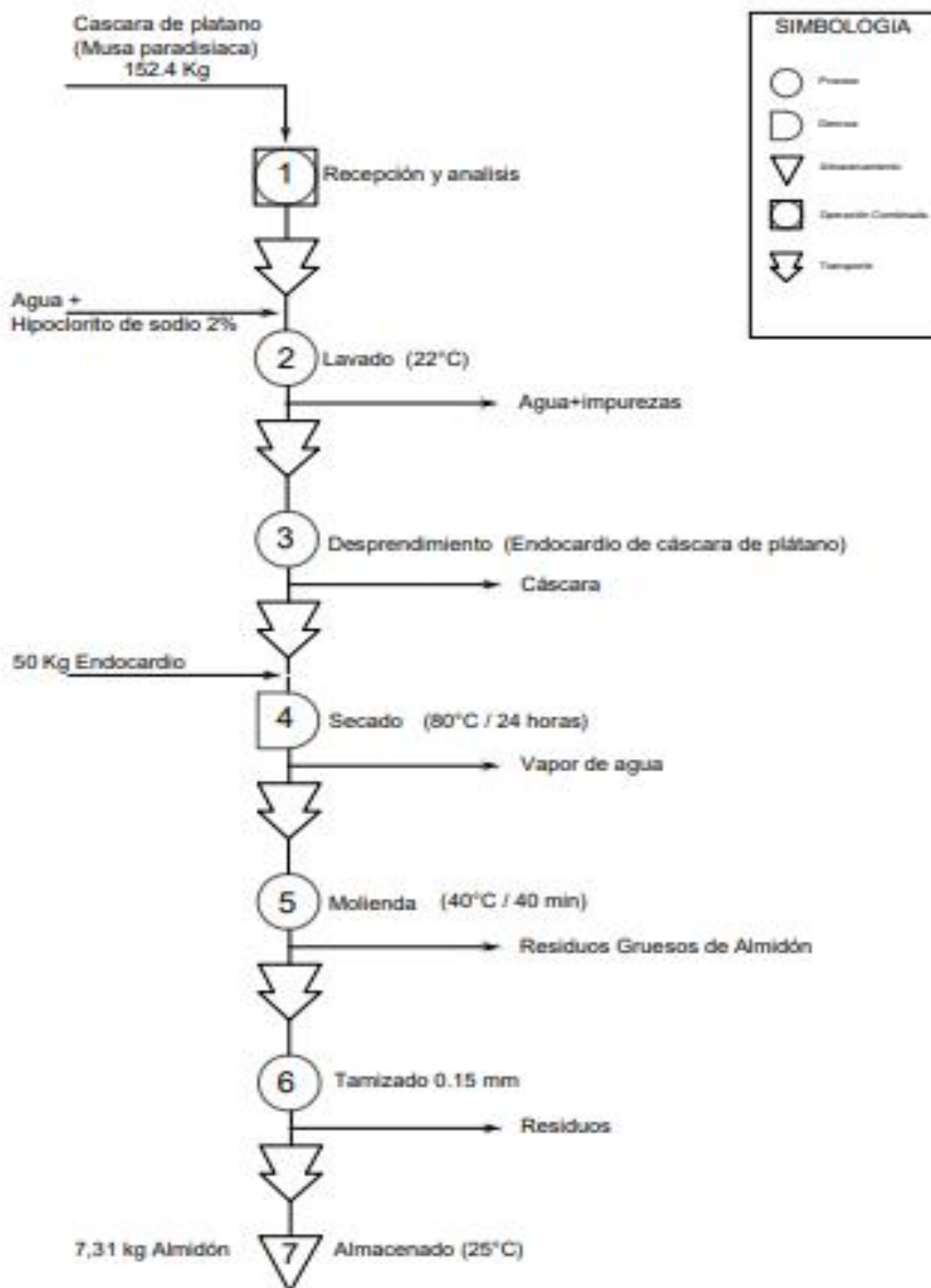


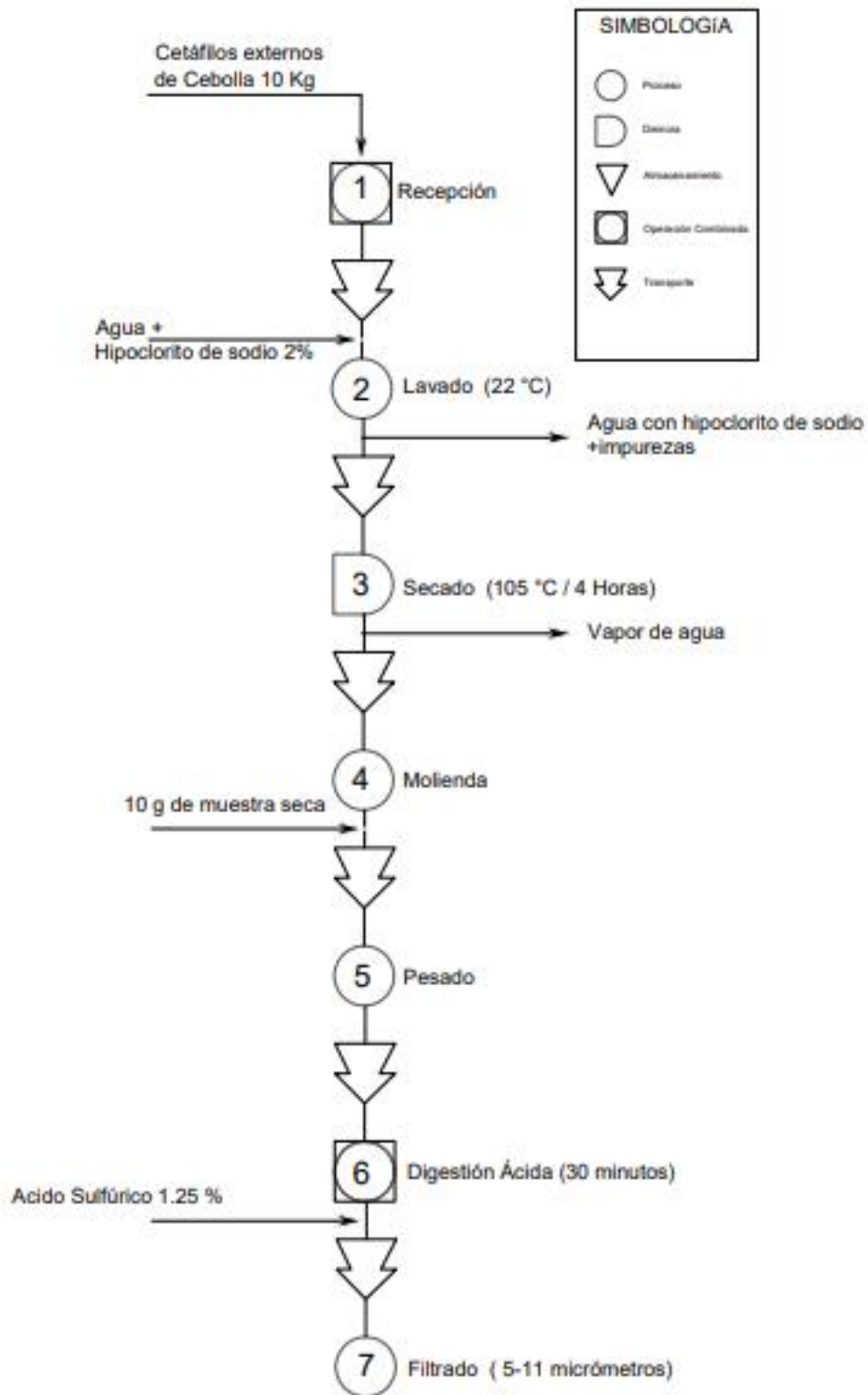
Figura 2 Diagrama de proceso para la obtención de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).
Fuente: Taco & Murillo, 2020

3.8.3 DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE CELULOSA DE LOS CATÁFILOS EXTERNOS DE CEBOLLA

- Se procede a la extracción de la celulosa de los catáfilos externos de cebolla mediante el método de Kennedy modificado. Como se detalla en la Figura 3.
- **Recepción:** Se recolectaron 10 kg de catáfilos externos de cebolla, generados en su mayor parte del mercado municipal de Santo Domingo de los Tsáchilas (Anexo 2-A).
- **Lavado:** Se procedió al lavado de los catáfilos externos de cebolla, a fin de eliminar todo cuerpo extraño a su composición normal, se lo realizó en una tina plástica con agua potable a una temperatura ambiente de 22°C y una solución de hipoclorito de sodio al 2%.
- **Secado:** Se procedió a secar en un equipo deshidratador marca MEMMERTUN30 a una temperatura de 105°C por 24 horas, con el propósito de elaborar un biopolímero (Anexo 2-B).
- **Molido:** Se realizó, en un molino grano Victoria manual de hierro fundido de discos de atricción con mayor ajuste para refinar los catáfilos externos de cebolla, obteniendo un porcentaje de 82,5 %; resultado obtenido por diferencia de peso (peso inicial – peso final) (Anexo 2-C).
- **Pesado:** En una balanza analítica Radwag modelo AS 310.R2, se pesó 10g de muestra seca en un vaso de precipitación de 1000ml, para empezar a enmascarar a celulosa.
- **Digestión Ácida:** En un equipo destilador de nitrógeno Tecnal, se adiciona 1000ml de ácido sulfúrico al 1,25% y colocarla en el extractor de fibra cruda, activando la perilla de calentamiento y se llevó a temperatura de ebullición por un lapso de 30 minutos, dando como resultado la obtención de celulosa y lignina.
- **Filtración 1:** Después del proceso de digestión ácida se lleva la muestra y se filtró a través de un embudo buchner con papel filtro poroso (5-11 um) seco de 45x45cm.

- **Lavado 1:** Una vez filtrada la muestra se realizó lavados sucesivos con tres porciones de 50 ml de agua destilada a 50°C para eliminar el ácido sulfúrico impregnado en la muestra.
- **Digestión Básica:** Se coloca nuevamente la muestra en el vaso de precipitación y se adicionan 100ml de solución de hidróxido de sodio al 1,25% a una temperatura de 80°C durante 30 min.
- **Filtración 1:** Terminada la digestión básica se filtró a través de un embudo buchner con papel filtro (5-11 um) seco.
- **Filtración 2:** Una vez filtrada se realizó lavados sucesivos con tres porciones de 50 ml de agua destilada a 50°C para eliminar el hidróxido de sodio al 1,25%.
- **Secado:** Se terminó el proceso de digestión básica, se colocó en la estufa marca MEMMERT UN30 a 110°C hasta peso constante alrededor de 24 horas.
- **Pesado de Celulosa:** Sacar la muestra y enfriarla, pesarla, el resultado de la pérdida de peso es la fibra cruda la cual contiene la celulosa que se requiere en el proceso, obteniéndose 8,456 g; resultado obtenido por diferencia de peso (peso inicial – peso final).

3.8.4 DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CELULOSA DE LOS CATÁFILOS EXTERNOS DE CEBOLLA.



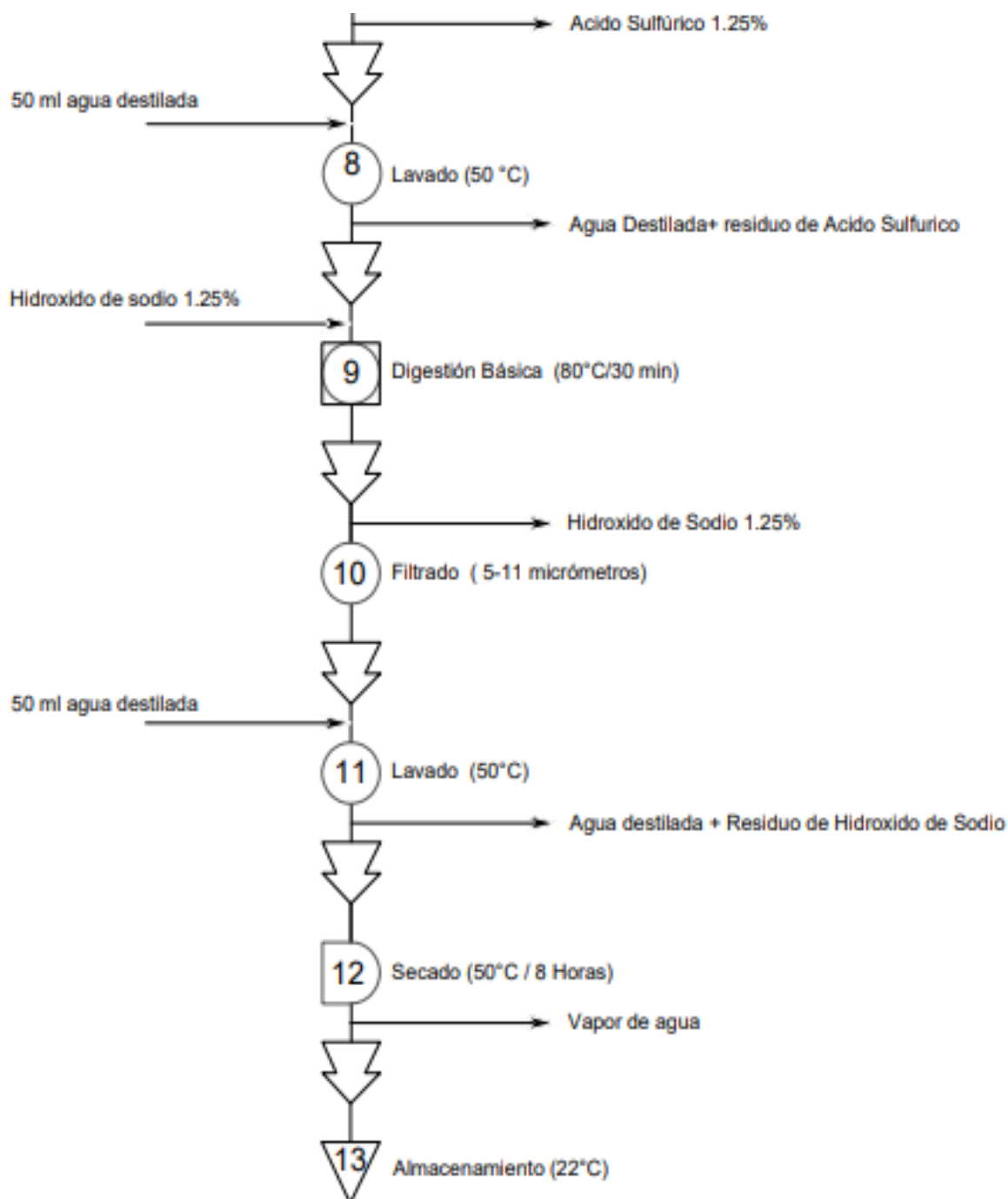


Figura 3 Diagrama de proceso para la obtención de celulosa de los catáfilos externos de cebolla.
Fuente: Taco & Murillo, 2020

3.8.5 DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIOPOLÍMERO

Se procede a la elaboración del biopolímero de las mezclas de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) y catáfilos externos de cebolla con plastificante de acuerdo a lo citado por (Flores, 2018) (Anexo 3).

El proceso de obtención del biopolímero se detalla en la figura 4.

- **Mezclado:** Para la obtención del biopolímero se procede a mezclar el almidón de cáscara de plátano, la celulosa de la cebolla y la plastificante glicerina.
- **Ebullición:** Para obtener la mezcla homogénea se llevó a cabo el calentamiento en las placas calefactoras digitales ThermoScientific a 90-100°C (Ruiz, 2006), hasta conseguir una pasta consistente en un tiempo aproximado de 40 min (Averous, Fauconnier, Moro, &Fringant, 2000).
- **Vertido en placa:** Se vertieron la mezcla aproximadamente 20ml en una lámina de vidrio de 20x20cm, logrando expandirse en toda el área de la lámina (Anexo 3-A).
- **Secado:** El material esparcido en la lámina se procedió a secar por cuatro días al ambiente, se aplicó de acuerdo al método validado según la norma Práctica estándar para acondicionar plásticos para pruebas (D618, 2013) (Anexo 3-B).
- **Desprendimiento:** Se realizó el desprendimiento de forma manual con ayuda de una espátula, se desprendió suavemente por las esquinas para tratar de no romper la lámina de biopolímero.
Una vez obtenido el producto final se llevó al laboratorio para los diferentes análisis físicos, mecánicos; además para evaluar la biodegradabilidad.
- **Almacenamiento:** El polímero obtenido fue almacenado en fundas de ziploc a temperatura ambiente 23°C.

Una vez obtenido el biopolímero se realizan los siguientes análisis (Anexo 4): Espesor (Anexo 4-A), resistencia de tensión (Anexo 4-B), elongación (Anexo 4-C) y biodegradabilidad aerobia (Anexo 4-D).

3.8.6 DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL BIOPOLÍMERO.

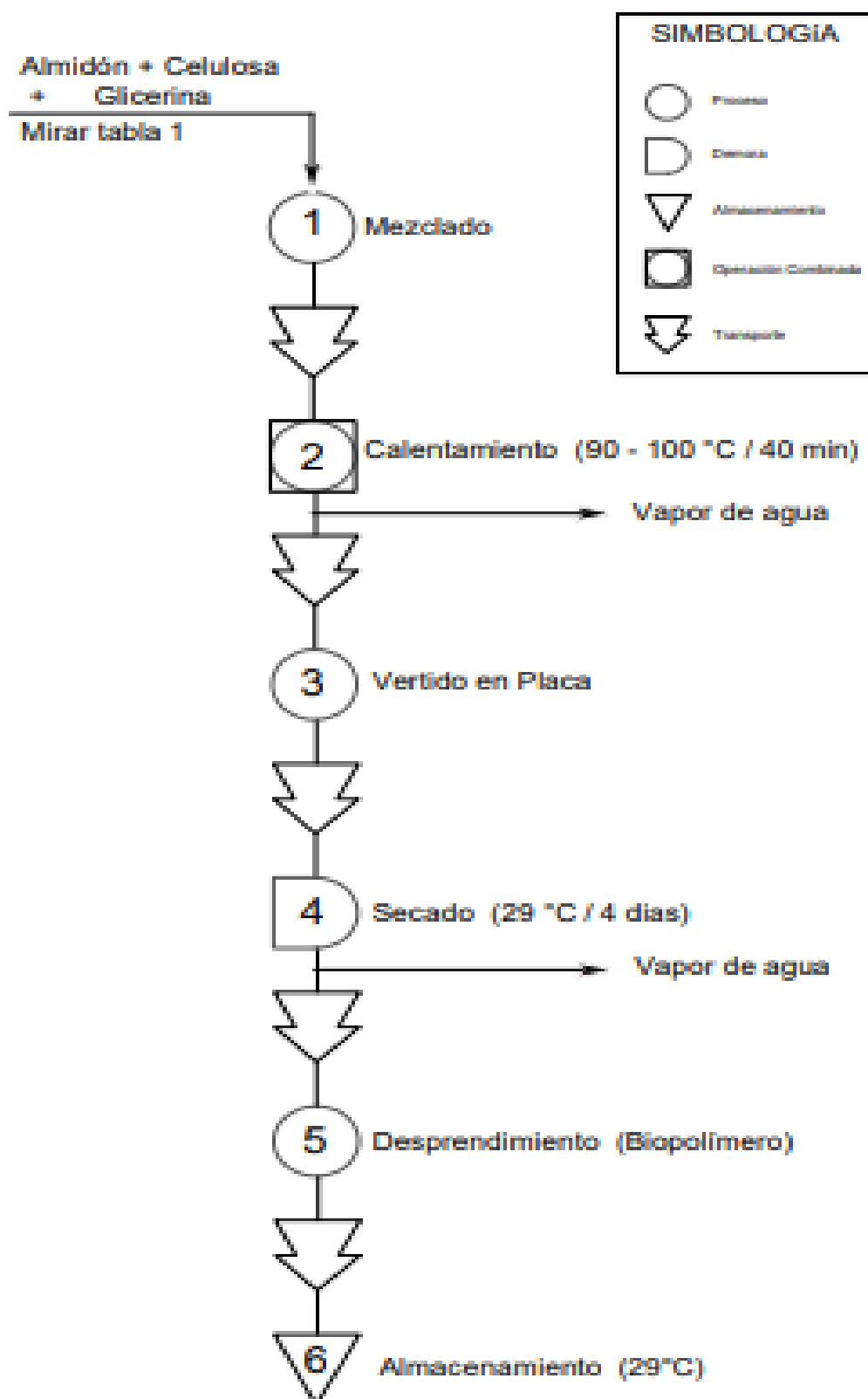


Figura 4 Diagrama de proceso para la obtención del biopolímero.
Fuente: Taco & Murillo, 2020

3.9 VARIABLES DEPENDIENTES

3.9.1 ESPESOR

El análisis se realizó por medida directa en secciones diferentes del polímero en su parte central y extremos, se utilizó un micrómetro (Mitutoyo, Japón) metodología propuesta (Santacruz, Rivadeneira, & Castro, 2015).

3.9.2 RESISTENCIA DE TENSIÓN

La resistencia de tensión se determinó mediante una prueba de tracción utilizando un Texturómetro (Shimadzu EZ-LX, Japón). Se cargaron en el equipo fracciones de láminas de 5 × 2 cm. La velocidad de la cruceta se ajustó a 10 mm/s. La resistencia a la tracción se determinó utilizando el software TRAPEZIUMX de acuerdo a la metodología propuesta (Santacruz, et al., 2015).

3.9.3 ELONGACIÓN

Se depositaron las muestras en un soporte, luego se procedió a colocar varias pesas a las muestras y se mide la longitud que se desplazó la muestra con cada pesa y calcular el % de elongación con la siguiente ecuación 1.

Ecuación 2 Porcentaje de elongación:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{[(\text{longitud final} - \text{longitud inicial})]}{\text{longitud inicial}} \times 100 \quad (1)$$

3.9.4 DETERMINACIÓN EL TIEMPO DE BIODEGRADABILIDAD DEL BIOPOLÍMERO

Los biopolímeros son inherentemente biodegradables, para que puedan formar parte del ciclo de renovación de la naturaleza, casi siempre tienen oxígeno o nitrógeno en su cadena, esta es la cualidad principal por la que son biodegradables (Godinés, Cabrera, & Santiago, 2017).

Para la determinación de biodegradabilidad se realizó el siguiente proceso

- Pesar las muestras en una balanza analítica.

- Colocar las muestras en recipientes con tapa para el proceso de degradación anaerobio y sin tapa para degradación aerobia.
- Tomar pesos con una balanza analítica los días 5, 10, 15 y 20.
- Obtener el porcentaje de biodegradabilidad aerobia y anaerobia mediante la siguiente ecuación 2 (Iguardia C, 2013).

Ecuación 3. Tiempo de biodegradabilidad del biopolímero.

$$\% \text{ perdida de peso} = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} \times 100 \quad (2)$$

“La norma ASTM D-5488-94D define biodegradable como capaz de sufrir descomposición a dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, siendo el mecanismo predominante la acción enzimática de microorganismos, que puede medirse mediante ensayos estándar, en un periodo especificado de tiempo, que refleja las condiciones de eliminación disponibles (Guamán, 2019).

El suelo que se utilizó para los ensayos de biodegradabilidad se recolectó del terreno cercano al lugar de experimentación del Instituto Superior Tecnológico Calazacón siendo este arcillo-limoso característico de Santo Domingo de los Tsáchilas. Se utilizaron recipientes herméticos para poder garantizar que las condiciones del suelo se mantengan constantes, así también como las condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

Datos del ensayo de biodegradabilidad.

Se realizaron los ensayos de biodegradabilidad anaerobia y aerobia en 20 días. Las películas bajo condiciones de biodegradabilidad se revisaron diariamente y se tomaron los pesos a los cuatro, diez, quince y veinte días.

- **DESINTEGRACIÓN**

Se comprueba si el material es capaz de degradarse físicamente, hasta fragmentos más pequeños o tamaños menores de 2 mm (Lizaga, 2011).

3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Las variables determinadas en el polímero fueron espesor, resistencia a la tensión, elongación, para el análisis estadístico de las variables en estudio se utilizó el software SPSS versión 21 (libre) y se efectuaron las siguientes pruebas:

- a) A todas las variables en estudio se les efectuó los supuestos del ANOVA: de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad (Levene).
- b) Como no se cumplieron los supuestos (% de almidón y celulosa) del ANOVA se procede a realizar pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis.

CAPÍTULO IV RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL POLÍMERO

Los ensayos corresponden al ancho en mm de espesor de la lámina del biopolímero, la resistencia de tensión es la medida, la elongación es una unidad de tracción. Resultado que se visualiza en el anexo 5.

Las variables espesor, resistencia a la tensión, elongación no cumplieron con el supuesto de normalidad mediante la prueba (ShapiroWilk) (anexo 6), debido a que la significancia es menor al 0,05 procediendo a realizar el ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis. El test de Kruskal-Wallis, también conocido como test H, es la alternativa no paramétrica al test ANOVA de una vía para datos no pareados.

La prueba de Shapiro-Wilk es una de las más consolidadas y con mayor potencia estadística entre las existentes actualmente.

4.1.1. FACTOR A

El espesor proporciona un indicador del grosor de un elemento, es decir, que tan grueso o ancho es una capa de material.

En la Tabla 3 se muestran los resultados para la variable espesor, el factor A incide sobre las variables evaluadas.

Tabla 3 Prueba de Hipótesis para la variable de espesor para el factor A

| | Hipótesis nula | Test | Sig. | Decisión |
|---|---|--|-------|----------------------------|
| 1 | La distribución de Espesor es la misma entre las categorías de Factor A | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,021 | Rechazar la hipótesis nula |
| 2 | La distribución de Resistencia a la tensión es la misma entre las categorías de Factor A. | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,000 | Rechazar la hipótesis nula |
| 3 | La distribución de Elongación es la misma entre las categorías de Factor A. | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,000 | Rechazar la hipótesis nula |

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.

Fuente: Taco & Murillo, 2020

Además, se observa en la Tabla 3 que existe diferencia estadística significativa para todas las variables debido a que su p-Valor es menor a 0,05.

En el factor A incide sobre las variables evaluadas procediendo a realizar la prueba de subconjuntos homogéneos que se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4 Subconjuntos homogéneos basada en Espesor del Factor A

| Espesor del factor A | Subconjuntos | |
|----------------------|--------------|--------|
| | 1 | 2 |
| Muestra | a1 | 11,000 |
| | a2 | 11,00 |
| | a3 | 20,000 |
| | | 1,423 |

Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la Tabla 5 se muestran los resultados para la variable espesor, el factor A incide sobre las variables evaluadas

Tabla 5 Subconjuntos homogéneos basados en Resistencia a la tensión.

| Resistencia de tensión | Subconjunto | | |
|------------------------|-------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Muestra ¹ | a 3 | 5,000 | |
| | a 1 | 14,000 | |
| | a 2 | | 23,000 |

Los subconjuntos homogéneos se basan en significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05

Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la tabla 5 se muestran los subconjuntos homogéneos basados en la resistencia a la tensión, la propiedad de interés en el almidón natural radica en su semicristalinidad, por tal razón la amilopectina el elemento imperioso que coadyuva a la cristalización en la mayoría de los almidones. Las propiedades comercialmente significativas del almidón, que hacen referencia a su flexibilidad y a su resistencia mecánica, aquellas que se rigen en la fuerza y en la naturaleza de la zona cristalina, y además del nexo entre la amilopectina y la amilosa, del mismo modo se contempla la clase de planta, el nivel de ramificación, la fracción del peso molecular y el procedimiento de estructuración de los tipos de componentes en el polímero (García, 2015).

Tabla 6 Subconjuntos homogéneos basados en Elongación

| Elongación | Subconjunto | |
|------------------------------|-------------|--------|
| | 1 | 2 |
| Muestra¹a3 | | |
| a1 | 5,778 | 16,222 |
| a2 | | 20,000 |

Los subconjuntos homogéneos se basan en significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.

Fuente: Taco & Murillo, 2020

El factor A (almidón), al ser combinado con la glicerina favoreció a las variables en estudio por tanto no existe diferencia estadística significativa.

En el caso de la elongación a la ruptura la concentración óptima de glicerina fue la correcta las películas físicamente elaboradas no presentaron significancia. En este caso se concluye que las muestras realizadas podrían estar cumpliendo con las variables de respuesta estudiadas.

El almidón es el carbohidrato más abundante después de la celulosa, en su estado nativo está compuesto por gránulos cristalinos insolubles en agua. Está compuesto por un polímero lineal (amilosa), un polímero ramificado (amilopectina) y están unidos entre sí por enlaces de hidrógenos. La aplicación de almidón en la fabricación de bioplásticos se basa en propiedades químicas, físicas y funcionales de la amilosa para formar geles y su capacidad para formar películas (Chariguamán, 2015).

4.1.2.FACTOR B

Tabla 7 Prueba de Hipótesis para la variable de espesor para el factor B

| | Hipótesis nula | Test | Sig. | Decisión |
|---|---|--|-------|---------------------------|
| 1 | La distribución de Espesor es la misma entre las categorías de Factor B | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,187 | Retener la hipótesis nula |
| 2 | La distribución de Resistencia a la tensión es la misma entre las categorías de Factor B. | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,152 | Retener la hipótesis nula |
| 3 | La distribución de Elongación es la misma entre las categorías de Factor B. | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,619 | Retener la hipótesis nula |

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.

Fuente: Taco & Murillo, 2020

Se observa en la Tabla 7 que no existe diferencia estadística significativa del factor B para las variables en estudio, el rol de la celulosa en la formación de las películas de biopolímero es mejorar las propiedades físicas mecánicas.

El factor B no incide sobre las variables, espesor, resistencia a la tensión y elongación.

De acuerdo con Escobar (2009), las láminas de bioplástico deben contener un espesor entre $0,010 \text{ mm} \pm 0,120$ y la norma INEN 2542, permite hasta un máximo de 0,2 mm. Siendo así que este parámetro fue uno de los que se consideraron para determinar la aplicación de las láminas de bioplástico. Por lo tanto, el espesor obtenido en las láminas del biopolímero fue un resultado conforme a este parámetro de control.

En la industria de los revestimientos, la medida más crítica es la del espesor de la película seca, brinda un reporte esencial con respecto a la vida útil del material, la competencia del producto acorde a los objetivos previstos y el aspecto que presenta, aparte de garantizar la certificación de estatutos internacionales (Elcometer, 2020).

Tabla 8 Resumen de prueba de hipótesis

| | Hipótesis nula | Test | Sig. | Decisión |
|---|--|--|-------|----------------------------|
| 1 | La distribución de Espesor es la misma entre las categorías de Tratamientos. | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,291 | Retener la hipótesis nula |
| 2 | La distribución de Resistencia a la tensión es la misma entre las categorías de Tratamientos | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,002 | Rechazar la hipótesis nula |
| 3 | La distribución de Elongación es la misma entre las categorías de los tratamientos. | Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes | 0,040 | Rechazar la hipótesis nula |

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es 0,05.

Fuente: Taco & Murillo, 2020

La resistencia a la tensión es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas. Para la resistencia a la tracción, el esfuerzo es la relación de la carga sobre el área de la sección transversal inicial y se expresa comúnmente en Pa (pascales). La extensión o aumento en longitud se expresa en porcentaje del largo inicial (Charro, 2015).

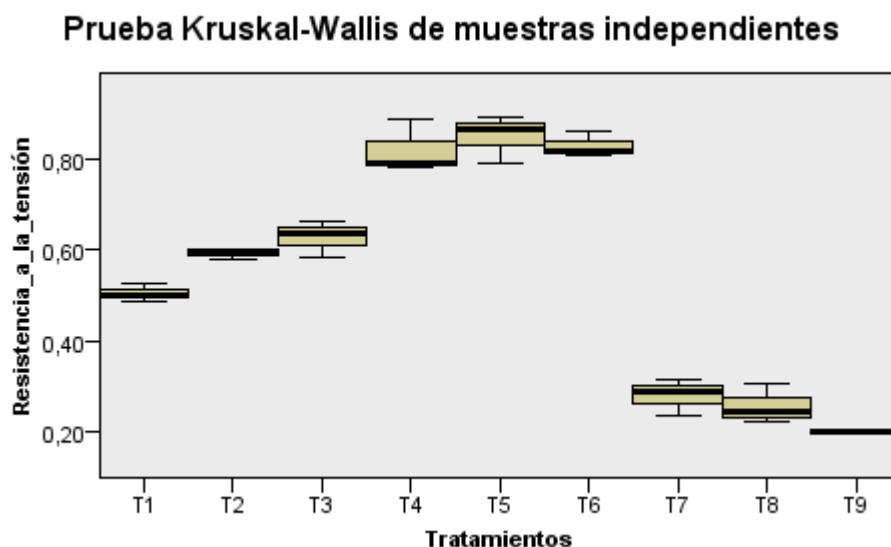


Figura 5 Resistencia de tensión

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la figura 5, de resistencia de tensión los tratamientos T4, T5 y T6 presentan mayor resistencia, los valores indican que las concentraciones adecuadas de almidón y celulosa influye directamente en la formulación, la resistencia de Tensión es un parámetro muy importante en los recubrimientos, esto proporciona seguridad a las superficies de recubriendo de los alimentos.

La deformación a la ruptura está relacionada con la longitud inicial de la película en la prueba para determinar la resistencia a la perforación. Esta prueba nos indica cuanto puede resistir el bioplástico antes de sufrir una ruptura a una cierta fuerza aplicada por un cierto tiempo, manteniendo su estructura original durante un alargamiento (Chariguamán, 2015).

De acuerdo con la norma INEN 2637, el ensayo de tracción permite la determinación de un punto final de la degradación, es decir el punto frágil para películas y láminas de polietileno/polipropileno degradable. La propiedad de alargamiento por tracción puede variar con el espesor de la probeta, el método de preparación, la velocidad de ensayo, el tipo de mordazas empleadas, y la forma de medir la extensión de ensayo. Por lo tanto, este ensayo muestra la resistencia a la tracción y la deformación a la rotura que el material en cuestión tiene la capacidad soportar (Guaman, 2019).

En la Figura 6, se puede observar la mejor elongación que presentan las muestras analizadas.

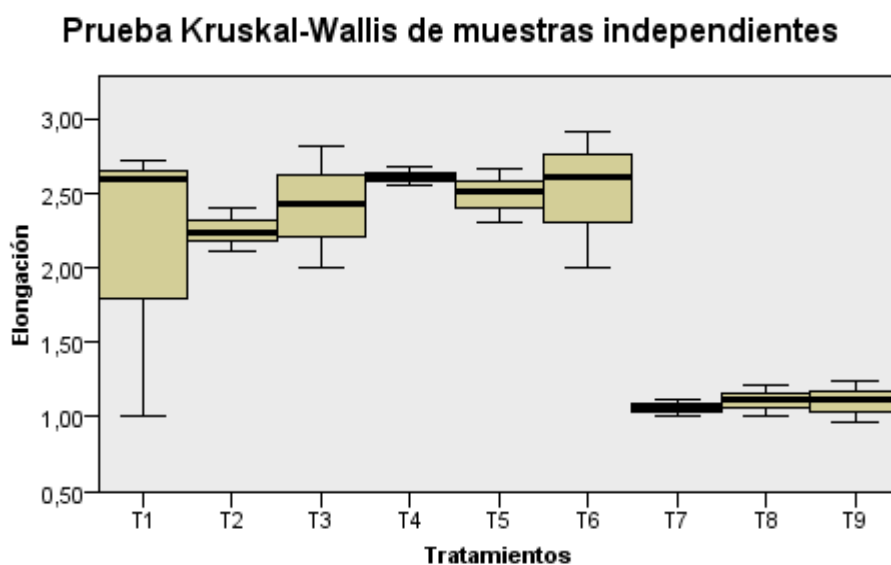


Figura 6 Prueba de Tukey en la variable de Elongación
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.
Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la prueba realizada de elongación se midió la longitud desplazada de cada muestra con base al peso que provocó la elongación, por lo cual se hace una relación entre la longitud final e inicial de cada muestra analizada y presentando esta relación en porcentaje por lo tanto se mide el desplazamiento longitudinal.

Es válido afirmar que la concentración de glicerol es el que proporciona elongación al material, el glicerol funciona como plastificante en la composición brindando mayor movilidad a las moléculas de pectina

La adición de plastificantes como glicerol modifica la estructura de la red formada por el biopolímero, logrando películas con una alta elasticidad (Moncayo, 2013). Sánchez *et al.* (2014) indica el incremento en la concentración de plastificante reduce las fuerzas intermoleculares que aumenta la flexibilidad y se reduce la resistencia de los materiales. Lozano *et al.* (2016) Indica que para aumentar la capacidad de estiramiento de las películas, el glicerol actúa químicamente entre

las cadenas poliméricas moleculares, reduciendo las fuerzas de cohesión y permitiendo el estiramiento de la estructura, en su estudio, la capacidad de estiramiento disminuyó con la adición de extractos pécticos; donde el aumento en la concentración de pectina disminuye la elongación de las películas (López, Osorio, & Checa, 2019).

4.2. BIODEGRABILIDAD

En las tablas se pueden apreciar los pesos iniciales y finales de los biopolímeros, en condiciones aerobias y anaerobias.

En la tabla 9 se presentan los datos de biodegradabilidad en condiciones aerobias.

Tabla 9 Datos de biodegradabilidad aerobia en 5, 10, 15 y 20 días

| Detalle | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
|---------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 5 días | 9,41% | 4,71% | 9,48% | 15,37% | 6,80% | 13,98% | 13,75% | 7,69% | 18,10% |
| 10 días | 6,35% | 4,27% | 9,33% | 12,46% | 4,49% | 11,46% | 12,56% | 5,60% | 10,79% |
| 15 días | 5,74% | 3,96% | 6,94% | 12,15% | 4,30% | 9,26% | 9,29% | 3,42% | 9,90% |
| 20 días | 5,37% | 3,26% | 6,74% | 8,35% | 3,93% | 1,94% | 8,30% | 2,90% | 9,63% |

Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la figura 7 se presenta la curva decreciente del biopolímero en condiciones aerobias a los 5, 10, 15 y 20 días

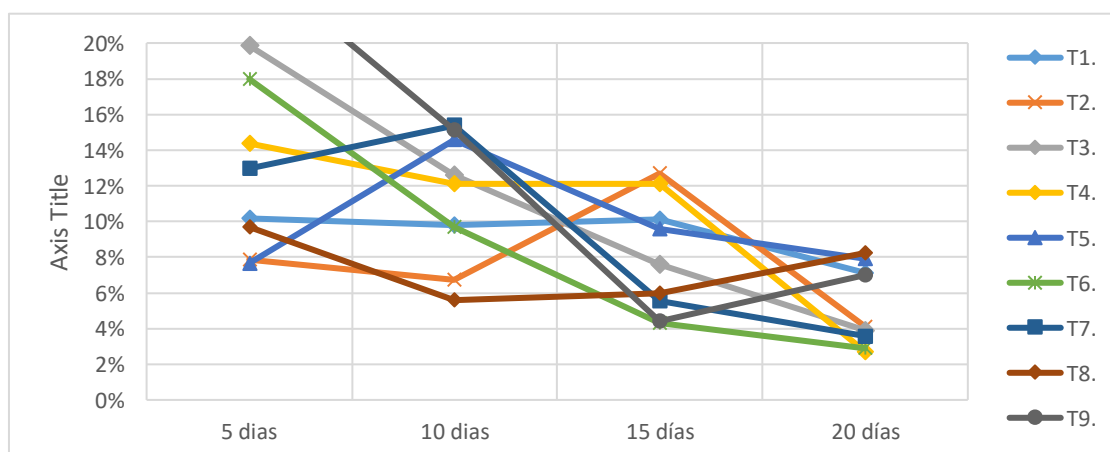


Figura 7 Declive del biopolímero a los 5, 10, 15 y 20 días

Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la tabla 10 se presentan los datos para biodegradabilidad en condiciones anaerobias:

Tabla 10 Datos de biodegradabilidad anaerobia en 5, 10, 15 y 20 días

| Detalle | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 5 días | 10,17% | 7,85% | 19,85% | 14,37% | 7,66% | 17,98% | 12,95% | 9,69% | 24,66% |
| 10 días | 9,78% | 6,71% | 12,57% | 12,12% | 14,57% | 9,67% | 15,37% | 5,59% | 15,10% |
| 15 días | 10,13% | 12,69% | 7,57% | 12,12% | 9,56% | 4,30% | 5,53% | 6,00% | 4,41% |
| 20 días | 7,12% | 4,11% | 3,90% | 2,71% | 7,90% | 2,89% | 3,58% | 8,22% | 7,02% |

Fuente: Taco & Murillo, 2020

En la figura 8 se presenta la curva decreciente del biopolímero en condiciones anaerobias en los días 5, 10, 15 y 20 días.

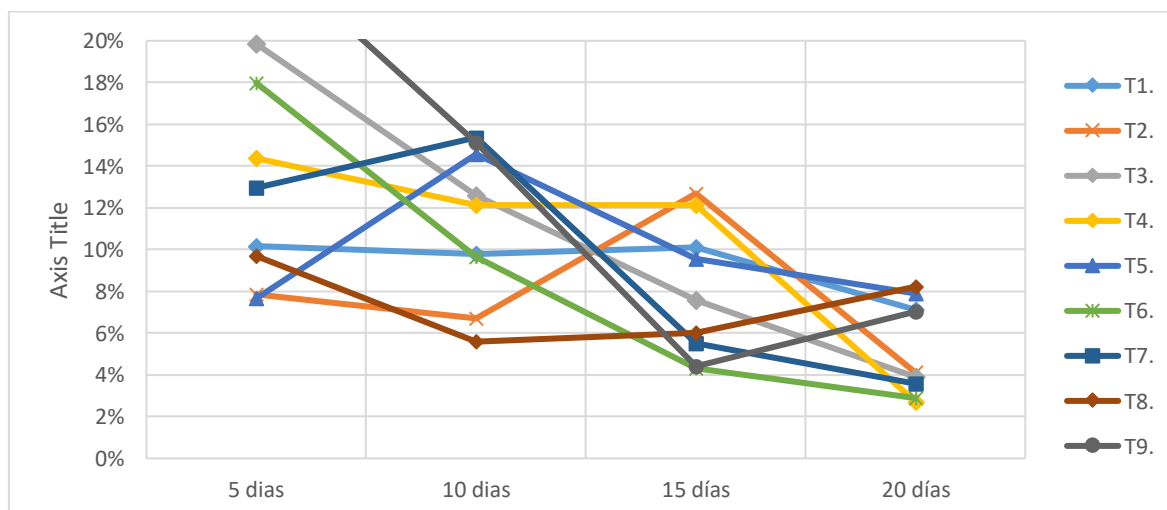


Figura 8 Declive del biopolímero a los 5, 10, 15 y 20 días

Fuente: Taco & Murillo, 2020

Los ensayos realizados de biodegradabilidad presentan curvas ascendentes que indican que los biopolímeros se degradan con el pasar del tiempo. Se concluye que los biopolímeros se degradan mayormente en condiciones aerobias, por el contacto que tienen con el aire y los microorganismos aerobios que ayudan estos a degradar el biopolímero con liberación de CO₂.

La biodegradabilidad en condiciones aerobias nos indica que el mejor tratamiento fue el T6, por lo que presenta un mejor comportamiento de degradación, mientras que en condiciones anaerobias las curvas no presentaron una tendencia normal de declive, debido que libera metano como parte de la degradación, dando como resultado el tratamiento T4.

Son denominados bioplásticos (BPL) los plásticos elaborados parcialmente o por completo de polímeros de materiales provenientes de fuentes renovables. Una característica fundamental de los BPL es la biodegradabilidad lo que implica degradación y destrucción por la acción de los hongos y bacterias, bajo condiciones ambientales determinadas. Como norma general, se puede considerar que un material es biodegradable en medio húmedo cuando se degrada entre 28 y 60 días o en medio seco o en compostaje natural, en 90 días. Actualmente, los grupos de polímeros considerados como BPL son los PLA (Ácido polilácticos); el PHA (polihidroxialcanoato), almidón (y almidones complejos) y otros poliésteres sintéticos, eventualmente de origen petrolífero (Iguardia, C 2013).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La cantidad de la mezcla proporcional de los residuos orgánicos y la adición de plastificante, influye sobre sus características físicas mecánicas para la obtención del biopolímero dando como mejor combinación el 20 % de almidón y 10% de celulosa, con una concentración 10ml de ácido acético, 5 ml de glicerina.
- Los valores indican que las concentraciones adecuadas de almidón y celulosa influye directamente en la resistencia de tensión de los tratamientos T4, T5 y T6 presentando una mayor resistencia.
- De acuerdo a las cantidades utilizadas de glicerina (plastificante), fueron iguales para todos los tratamientos, no hubo una significancia en la elongación, al igual del espesor, debido a que los valores obtenidos no presentan mayor significancia.
- En cuanto a la biodegradabilidad en condiciones anaerobias el tratamiento T4, mostró en veinte días una pérdida de peso de 2,71%, mientras que el tratamiento T6 mostró una pérdida de peso de 1,94%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilización de diferentes concentraciones para la mezcla del biopolímero así mismo se sugiere trabajar con otros plastificantes como por ejemplo el cloruro de polivinilo.
- Se recomienda trabajar con otros almidones como papa y otro compuesto celulósicos como alberjas, que le pueden dar una mejor resistencia en la elaboración de un biopolímero.
- Se recomienda trabajar con diferentes porcentajes de plastificante (glicerina), para mejorar la elongación y espesor del biopolímero.
- Se recomienda realizar análisis de espectrofotometría de infrarrojo a los tratamientos T6 y T4, así mismo establecer condiciones de compostaje para obtener características del comportamiento de degradación.

BIBLIOGRAFÍA

- AIMPLAS. (Febrero de 2011). *Instituto Tecnológico del plástico*. Recuperado el 16 de Abril de 2020, de Biopolímeros. Procesabilidad y casos de estudio: easyfairs.com/uploads/tx_ef/Presentación_Chelo_Escri.pdf
- Argembio. (2019). Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología. *Argembio*, <http://www.argembio.org/index.php?action=novedades¬e=200>.
- Campos, P., González, S., & Reyes, N. (2009). *Aplicación en láminas para la germinación de la semilla de pimiento*. Santiago- Chile.
- Castillo, R. (2015). Bioplástico a base de la Cáscara del Plátano. *Journal of Undergraduate Research*.
- Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. Quito- Ecuador.
- Chariguamán, J (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado. Honduras
- Cuenca, N., & Mieles, N. (2012). *Industrialización de la cebolla*. Guayaquil - Ecuador.
- D618, A. (2013). *Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing*, West Conshohocken.
- Escobar, D. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, 33-35.
- El cometer (20-04-2020). <https://www.elcometer.com/es/inspeccion-revestimientos/espesor-de-pelcula-seca.html>.
- Facultad de Jurisprudencia Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2008). *EL BUEN VIVIR Y SU TUTELA JURÍDICA EN LA JURISPRUDENCIA DE LA CORTE CONSTITUCIONAL ECUATORIANA*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, <https://www.uasb.edu.ec/documents/62017/1434654/Buen+Vivir+y+la+Tutela+Jur%C3%ADdica.pdf/b5267960-932b-4b1a-90fe-2508f1b7ebc2>

- Flores, V. (2018). *Aprovechamiento de la cáscara residual de la Musa balbisiana para la obtención de bioplástico en el Mercado APECOLIC - Comas - 2018*. Lima - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- GADSDT. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Santo Domingo de los Tsáchilas*. Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Gallur, M. (2010). *Presente y futuro de los biopolímeros como*. Barcelona-España.
- García, A. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. Santa Tecla: Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.
- García, E. (2017). *Evaluación de la competencia ginogénica de tres genotipos de cebolla (Allium cepa)*. Valencia: Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad de Valencia.
- Godínez, A; Cabrera, D; Santiago, R (2017). Plásticos biodegradables: Derivados a favor del tratamiento de nuestro entorno vital.
- Guamán, J. (2019). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscara de papa para su aplicación industrial*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Haro, A., Borja, A., & Triviño, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia. *Revista Científica Dominio de Las Ciencias*.
- Holguín, J (2019). Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. Colombia
- Iguardia, C. (2013). *Síntesis y caracterización de bioplástico a partir de almidón de banano verde (Musa)*. Guatemala.
- Lizaga, A. (2011). *Guía de criterios de calidad y puntos de control en el diseño de envases y embalajes plásticos*. ESPAÑA.
- López, A. (29 de 11 de 2017). "Análisis del Proceso de Producción y Comercialización de Cebolla". *Superintendencia de Control del Poder de Mercado*. Zapotillo, Loja.
- López, D., Osorio, O., & Checa, O. (2019). Revestimiento de fibras naturales utilizadas en aplicaciones agrícolas. *Información Tecnológica*, 193.
- López, J. (2014). Elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*.
- López, N. (2009). *Propuesta de un programa para el manejo de residuos sólidos en la plaza de mercado Celeste – Córdova*. Colombia.

- Méndez de la Cruz, A. (2010). *Evaluación de la extracción de almidón de banano verde (Musa Sapientum Variedad Gran Enano) Producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos*. Guatemala.
- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un Polímero Biodegradable a partir del Almidón de Yuca. *Revista EIA*, https://www.researchgate.net/publication/237024766_SINTESIS_Y_CARACTERIZACION_DE_UN_POLIMERO_BIODEGRADABLE_A_PARTIR_DE_L_ALMIDON_DE_YUCA.
- Menoscal, R., & Rodríguez, E. (2017). *Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos de almidón de yuca (Manihotesculenta)*. Calceta.
- Meza, P. (2016). *Elaboración de Bioplásticos a partir de Almidón Residual obtenido de peladoras de Papa y determinación de su Biodegradabilidad a Nivel de Laboratorio*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ministerio de Industria, C. y.-O. (2007). Bioplásticos. *Ministerio de Industria, Comercio y Turismo - Observatorio Industrial del Sector Químico*.
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. (2011). *Isotermas de absorción de bioplásticos de harina de yuca, moldeados por compresión*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.
- Narváez, M (2016). Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón. Ecuador
- PDOT 2030 El futuro de Chilachito. (Mayo de 2015). www.santodomingo.gob.ec. Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Pérez, L., & Redondo, R. (2014.). *Producción de Glicerina USP*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Trenque Lauquen.
- Pizá, H. (2017). *Análisis experimental de la Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano para el Diseño de una Línea de Producción Alterna para las Chifleras de Piura, Perú*. Perú: Universidad de Piura.
- Pizá, H., Rolando, S., Ramírez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cascara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chiflerías Piura, Perú*. Perú.
- Postigo, R (2019). Análisis y usos de productos alternativos a base de maíz y cascara de arroz para el proceso de envases biodegradables. Arepa.

- Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). *Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. FoodHydrocolloids, 49, 89-94.*
- Seshata. (2014). La celulosa de cáñamo. *SensiSeeds*.
- Significados (31 de julio 2020) www.significados.com
- Tejada, T., Herrera, A., & Nuñez, J. (2016). *Remoción de Plomo por Biomasa Residuales de Cáscara de Naranja (Citrus sinensis) y zuru de maíz (Zea mays)*,. Colombia: Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica 19 (1):169-178.
- Valero, M., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *Scielo*, 10.
- Vásquez, A. (2106). *Bioplásticos y plásticos biodegradables*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

ANEXOS

Anexo 1.Proceso de obtención del almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).

1-A Desprendimiento



1-B Molido



1-C Almacenamiento



Anexo 2 Proceso para la obtención de celulosa de los catáfilos externos de cebolla**2-A** Recepción de catáfilos externos de cebolla**2-B** Secado**2-C** Molido

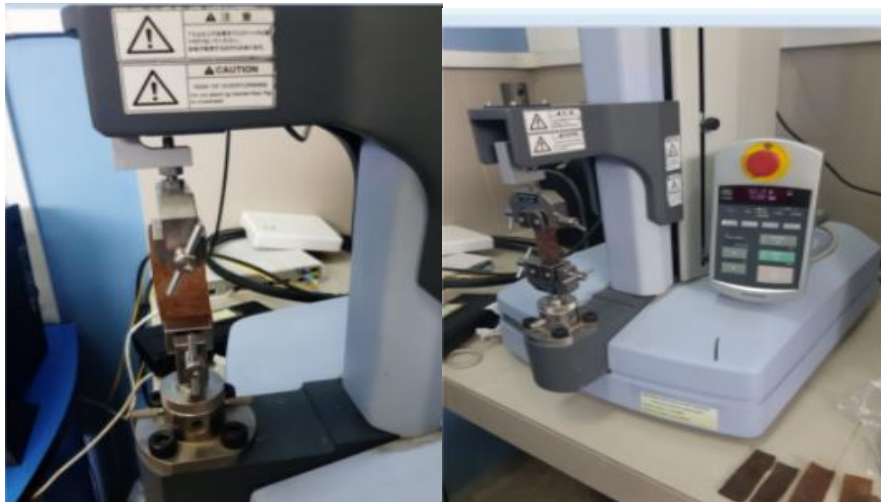
Anexo 3 Obtención del Biopolímero

3-A Vertido en placa



3-B Secado



Anexo 4 Análisis a los Biopolímeros**4-A** Espesor**4-B** Resistencia de Tensión**4-C** Elongación

4-D Biodegradabilidad aerobia



Anexo 5 Resultados de los análisis físicos mecánicos

Tabla 14 Resultados de los análisis físicos mecánicos de propiedades de espesor

| Tratamientos | R1 (mm) | R2 (mm) | R3 (mm) |
|--------------|---------|---------|---------|
| T1 (A1B1) | 0.09606 | 0.50567 | 2.10233 |
| T2 (A1B2) | 0,02360 | 0,02301 | 0,24157 |
| T3 (A1B3) | 0,25001 | 0,02613 | 0,02587 |
| T4 (A2B1) | 0,02587 | 0,02500 | 0,26089 |
| T5 (A2B2) | 0,02685 | 0,02693 | 0,02681 |
| T6 (A2B3) | 0,02710 | 0,02777 | 0,02801 |
| T7 (A3B1) | 0,02870 | 0,02811 | 0,02850 |
| T8 (A3B2) | 0,03100 | 0,03189 | 0,03176 |
| T9 (A3B3) | 0,03200 | 0,03233 | 0,03289 |

Fuente:Taco& Murillo, 2020

Tabla 15 Resultados de los análisis físicos mecánicos de propiedades de resistencia de tensión

| Tratamientos | R1 (Mpa) | R2 (Mpa) | R3 (Mpa) |
|--------------|----------|----------|----------|
| T1 (A1B1) | 0,527 | 0,489 | 0,501 |
| T2 (A1B2) | 0,603 | 0,598 | 0,58 |
| T3 (A1B3) | 0,666 | 0,639 | 0,584 |
| T4 (A2B1) | 0,781 | 0,889 | 0,794 |
| T5 (A2B2) | 0,794 | 0,869 | 0,895 |
| T6 (A2B3) | 0,809 | 0,863 | 0,817 |
| T7 (A3B1) | 0,235 | 0,317 | 0,289 |
| T8 (A3B2) | 0,221 | 0,308 | 0,245 |
| T9 (A3B3) | 0,198 | 0,205 | 0,202 |

Fuente:Taco& Murillo, 2020

Tabla 16 Resultados de los análisis físicos mecánicos de propiedades de elongación

| Tratamientos | R1 (Mpa) | R2 (Mpa) | R3 (Mpa) |
|--------------|----------|----------|----------|
| T1 (A1B1) | 2,587 | 1,004 | 2,716 |
| T2 (A1B2) | 2,402 | 2,239 | 2,111 |
| T3 (A1B3) | 2,003 | 2,421 | 2,819 |
| T4 (A2B1) | 2,608 | 2,554 | 2,675 |
| T5 (A2B2) | 2,664 | 2,508 | 2,301 |
| T6 (A2B3) | 2,909 | 1,996 | 2,605 |
| T7 (A3B1) | 1,058 | 1,117 | 1,001 |
| T8 (A3B2) | 1,005 | 1,113 | 1,211 |
| T9 (A3B3) | 1,237 | 0,958 | 1,117 |

Fuente:Taco& Murillo, 2020



Lab. De Investigación

Facultad Ciencias Agropecuarias

Mañana 11 de febrero del 2020

A Quien Corresponda

Ciudad -

CERTIFICO: Que los análisis presentados en este informe corresponden a la Ing. García Murillo Diana Isabel C.I. 172145885-7 y a la Ing. Tacu Rivera Jimena Carolina C.I. 171667085-4 Estudiantes de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM MFL.). Los análisis fueron realizados en el Lab. De Investigación de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la (ULEAM), siendo estos los siguientes: (Espesor, Resistencia a la Tensión y Elongación, en muestras de Bioplásticos), dichos análisis corresponden al proyecto "APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS MEZCLADOS CON PLASTIFICANTE PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO RESISTENTE Y BIODEGRADABLE".

| Muestra | Espesor (mm) | | | Método de ensayo |
|---------|--------------|---------|---------|---|
| | R1 | R2 | R3 | |
| T1 | 0,02360 | 0,02301 | 0,24157 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T2 | 0,25901 | 0,02613 | 0,02587 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T3 | 0,02587 | 0,02500 | 0,26069 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T4 | 0,02665 | 0,02693 | 0,02681 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T5 | 0,02710 | 0,02777 | 0,02801 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T6 | 0,02870 | 0,02811 | 0,02858 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T7 | 0,03100 | 0,03189 | 0,03176 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T8 | 0,03200 | 0,03233 | 0,03289 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T9 | 0,03415 | 0,03517 | 0,03500 | Santacruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |

Atentamente,

Ing. Marlon Castro García, Mg.
 Téc. Responsable de Lab. De Tecnología de Alimentos
 Téc. Responsable de Lab. De Investigación de Alimentos



www.uleam.edu.ec



Uleam
UNIVERSIDAD DE LA GUAYANA
RICY ALFONSO DE MORALES

Lab. De Investigación

Facultad Ciencias Agropecuarias

| Resistencia a la Tensión (Mpa) | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--|
| Muestra | R1 | R2 | R3 | Método de ensayo |
| T1 | 0,527 | 0,489 | 0,501 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T2 | 0,603 | 0,598 | 0,58 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T3 | 0,666 | 0,639 | 0,584 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T4 | 0,783 | 0,889 | 0,794 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T5 | 0,794 | 0,869 | 0,895 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T6 | 0,809 | 0,863 | 0,817 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T7 | 0,215 | 0,217 | 0,289 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T8 | 0,221 | 0,308 | 0,245 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T9 | 0,198 | 0,205 | 0,202 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |

| Flaqueación (Mpa) | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|--|
| Muestra | R1 | R2 | R3 | Método de ensayo |
| T1 | 2,587 | 1,804 | 2,716 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T2 | 2,402 | 2,249 | 2,111 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T3 | 2,003 | 2,421 | 2,819 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T4 | 2,608 | 2,354 | 2,675 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T5 | 2,664 | 2,508 | 2,391 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T6 | 2,909 | 1,996 | 2,695 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T7 | 1,858 | 1,117 | 1,991 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T8 | 1,905 | 1,313 | 1,233 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |
| T9 | 1,237 | 0,958 | 1,117 | Santa Cruz, Rivadeneira, & Castro (2015) |

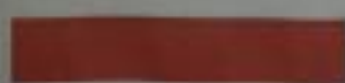
Afirmación:

Ing. Marián Castro García



Téc. Responsable de Lab. De Investigación de Lácteos
Téc. Responsable de Lab. De Investigación de Alimentos

www.uleam.edu.ec



Uleam

Anexo 6 Supuestos del Anova prueba de Normalidad

| | Shapiro –Wilk | | |
|--------------------------|---------------|-----------|--------------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| Espesor | 0,417 | 27 | 0,000 |
| Resistencia a la Tensión | 0,894 | 27 | 0,010 |
| Elongación | 0.833 | 27 | 0,001 |