Contenido

1 INTRODUCCIÓN 8
2 JUSTIFICACIÓN 9
3 MARCO REFERENCIAL 11
3.1 ANTECEDENTES 11
4 MARCO TEÓRICO 15
4.1 Tubérculo. 15
4.2 Yuca (*Manihot esculenta*) 15
4.3 Almidón de yuca *(Manihot esculenta).* 16
4.4 Fruta. 17
4.5 Plátano macho *(Musa paradisiaca.* 17
4.6 Almidón. 18
4.7 Limitaciones del almidón. 21
4.8 Almidón Modificado. 21
4.9 Gelatinización. 22
4.10 Desestructuración. 24
4.11 Plastificantes 25
4.12 Glicerina 25
4.13 Rellenos. 26
4.14 Fibras. 27
4.15 Plástico biodegradable. 27
4.16 Criterios de biodegradabilidad. 28
4.16.1 Propiedades mecánicas. 28
4.16.2 Velocidad de degradación. 28
4.17 Mecanismos de degradación 28
4.17.1 Fotodegradación 28
4.17.2 Degradación mecánica 28

4.17.3 Degradación térmica 28
4.17.4 Degradación química 29
4.17.5 Degradación mediante microorganismos (bacterias, hongos o algas). 29
4.18 Polímeros 30
4.19 Polímeros Biodegradables. 30
4.20 Polimerización 32
Tipos de polimerización 32
4.20.1 Polimerización por condensación 32
4.20.2 Polimerización por adición 32
4.21 Bolsas plásticas 32
4.22 Proceso de fabricación de bolsas plásticas. 33
5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 34
5.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 34
6 OBJETIVOS 35
6.1 Objetivo general 35
6.2 Objetivos específicos 35
7 HIPOTESIS 36
8 METODOLOGÍA 37
8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 37
8.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 37
8.3 POBLACIÓN 37
8.4 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS, OBTENCIÓN DE LOS ALMIDONES Y CARACTERIZACIÓN 38
8.4.1 Recolección de residuos 38
8.4.2 Proceso de extracción 38
8.4.3 Limpieza 39
8.4.4 Adecuación 39

8.4.5 Pesaje 40

8.4.6 Disminución de tamaño en 3 cm. 41

8.5 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LA YUCA *(Manihot esculenta).*Y PLÁTANO *Musa paradisiaca L.)* (Adaptado del método A.O.A.C 930.15/90). 41

8.5.1 Procedimiento. 41

8.5.2 Desintegración del tejido vegetal 42

8.5.3 Tamizado 43

8.5.4 Sedimentación 44

8.5.5 Secado 44

8.5.6 Empaque 45

8.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS ALMIDONES OBTENIDOS 45

8.6.1 Determinación de humedad (Adaptado del método A.O.A.C 930.15/90) 45

8.6.2 Medición de pH. 47

8.6.3 Densidad aparente (técnica smith, 1963) 47

8.6.4 Granulometría y tamizado técnica (isi, 1999) 48

8.6.5 Cálculos e interpretación de los resultados 49

8.7 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS BIOPELICULA A PARTIR DE MEZCLAS DE ALMIDONES Y PLASTIFICANTE 49

8.7.1 Descripción 49

8.7.2 Pesaje de los almidones 49

8.7.3 Medición de glicerina y agua 50

8.7.4 Preparación de la solución 50

8.7.5 Gelatinización 50

8.7.6 Moldeo 50

8.7.7 Secado 51

8.7.8 Separación de biopelicula 51

8.8 PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD Y TENSIÓN A LAS DIFERENTES BIOPELICULAS 52

8.8.1 BIODEGRADABILIDAD 52

8.8.2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN PARA PLASTICOS EN FORMA DE PELÍCULAS 53

8.9 DISEÑO EXPERIMENTAL 56

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 57

9.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES 57

9.1.1 Prueba de humedad 58

9.1.2 pH 58

9.1.3 Granulometría y tamizado 59

9.1.4 Densidad aparente 59

9.2 PRUEBA DE BIODEGRADACIÓN Y TENSIÓN 60

9.2.1 PRUEBA DE BIODEGRADACIÓN 60

9.2.2 PRUEBA DE TENSIÓN 62

9.3 TRATAMIENTO ÓPTIMO PARA ELABORACIÓN DE LA BOLSA. 63

10 CONCLUSIONES 65

11 RECOMENDACIONES 66

12 BIBLIOGRAFÍA 67

13 ANEXOS 72

13.1 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para elasticidad por mezcla de almidón .. 72

13.2 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para Max Force por mezcla de almidón .. 72

13.3 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para alargamiento por mezcla de almidón 73

13.4 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para resistencia por mezcla de almidón ... 73

13.5 Anexo. Resultados de la medición de tensión de las biopelículas. 74

Contenido de tabla

Tabla 1.Composición de la yuca..... 18
Tabla 2.Composición del plátano macho 18
Tabla 3.Caracteristicas de algunos almidones. 20
Tabla 4.Algunas características impartidas a los almidones por modificación. 22
Tabla 5.DSC característicos de distintos almidones. 24
Tabla 6. Principales propiedades físicas y químicas de algunos plastificantes. 26
Tabla 7.Valores totales y rendimiento base seca de la materia prima. 57
Tabla 8. Humedad de los almidones 58
Tabla 9.Resultado de pH de los almidones. 58
Tabla 10.Densidad aparente de almidón de yuca y almidón de plátano. 59
Tabla 11.Degradación de las biopelículas en diferentes ambientes. 60
Tabla 12.Prueba de tensión para cada biopelicula. 62

Contenido de figuras

Figura 1.Corte transversal de la yuca (Ceballos, 2002)..... 17
Figura 2.Corte transversal del plátano (Jacobo, 2015)..... 18
Figure 3.Estructura de la amilosa (Janine y Higgins, 2014)..... 19
Figure 4.Estructura de la amilopectina..... 20
Figure 5. Factores que intervienen en la degradación de un biopolímero (Ardilla et al, 2012)..... 30
Figura 6.Limpieza de la materia prima.(A)residuos de yuca. (B) residuos de plátano. Los autores, 2018 38
Figura 7.limpieza de la materia prima. (A)Yuca (B) Plátano. Fuente. Los autores, 2018. . 39
Figura 8.Adecuación de la materia prima.(A) Restos de yuca. (B) resto de platano fuente los autores 2018..... 40
Figura 9.Adecuación de la materia prima. (C) pulpa de yuca (D) pulpa de plátano. Fuente los autores 2018..... 40
Figure 10.Disminución de tamaño.(A)yuca (B) platano. fuente los autores 2018 41
Figura 11.Lechada obtenida en proceso de molienda. Yuca (A) y plátano(B). fuente los autores 2018 43
Figura 12. Tamizado de las lechadas de yuca y plátano.(A) cernido de fibra de yuca y plátano (B). tamizado fibrilla de yuca y plátano. Fuente los autores 2018 43
Figura 13..Almidon, producto del proceso de sedimentación. (A) yuca y (B) platano. Fuente. Los autores 2018 44
Figura 14.Extendido de los almidones .yuca (A) y (B)platano. Fuente. los autores 44
Figura 15.Almidones empacados en bolsa ziploc. Fuente los autores 2018 45
Figura 16.Crisoles vacíos para muestras de almidón .crisol para almidón de yuca (A). Crisol para almidón de plátano (B). Fuente. Los autores 2018..... 45
Figure 17.secado de los crisoles. (C) secado de los crisoles en el horno. (D) resposado de crisoles en el desecador. Fuente. Los autores 2018..... 46
Figura 18.Crisoles con la muestra de almidón de yuca y plátano. Fuente. Los autores 2018 46
Figura 19.Balón aforado con almidón de yuca y plátano disueltos para medición de pH. Fuente. Lo autores 2018 47

Figura 20. Probeta con almidón de yuca (A) Probeta con almidón de plátano (B). Fuente. Los autores 2018 47
Figura 21.Almidón retenido en tamiz #10 (A). Almidón retenido en tamiz #10 (B). Los autores 2018 48
Figure 22.Almidón retenido tamiz # 30. (C) Almidón de tamaño de partícula 0.6 µm (D). Los autores 2018. 49
Figura 23.Gelatinización de la solución. Fuente. Los autores 2018 50
Figura 24. Adicón de la mezcla (A); Esparcimiento de la mezcla (B). Fuente. Los autores 2018 51
Figura 25. Secado de biopeliculas (A); biopeliculas secas (B). Fuente. Los autores 2018 . 51
Figura 26. Retirando la biopelicula del molde (A); Biopelicula completamente retirada (B).Fuente. Los autores 2018 52
Figura 27. Diversos ambientes (intemperie, acuoso y solido) (A). Fuente. Los autores 2018 53
Figura 28. Corte de probetas. (A). Fuente. Los autores 2018 54
Figura 29. Probetas de película 100% AP(A). Probetas de película 100% AY (B). Fuente. Los autores 2018 54
Figura 30 . Probetas de película AY 70% AP 30% (C). Probetas de película AY 50% AP50%.(D). Fuente. Los autores 2018 55
Figura 31. Probeta de película 30% AY 70% AP (E). Fuente. Los autores 2018 55
Figura 32. Prueba de tensión. Película 100% AY (F). Película 100% AP. Fuente. Los autores 2018 55
Figura 33. Proceso de degradación de las diferentes películas. Fuentes. Los autores 2018 61
Figura 34.Bolsas plásticas biodegradables en diferentes formas y tamaños (A).Fuente. Los autores 2018 63
Figura 35.Bolsas plásticas con productos en su interior. Alimentos (A) Pastillas (B). Fuente. Los autores 2018 64
Figura 36. Bolsas plásticas con productos en su interior. Alimentos (C) Velas (D). Fuente. Los autores 2018 64

1 INTRODUCCIÓN

Las bolsas plásticas son un objeto cotidiano que suplen una cantidad de necesidades en la sociedad, las llamadas convencionales se han venido desarrollando por parte de la industria química desde las primeras décadas del siglo XX, teniendo un máximo impulso durante la II Guerra Mundial, pero el gran impacto ambiental que están causando en el mundo, el cual se puede extender por decenios, ha llevado a querer implementar nuevos productos que sustituyan los plásticos derivados del petróleo (Pascual, 2016).

La problemática generada por su uso intensivo radica en su baja biodegradabilidad (alta recalcitrancia) y, por consiguiente, en su elevada generación de residuos (Meneses, 2007). Se conoce como "plástico biodegradable"; aquel que está constituido por un material tal, que puede mantener su integridad durante su manufactura y vida útil, pero que, al ser desechado, comienza a degradarse por influencia de agentes medioambientales para obtener como producto final H_2O, CO_2 y sales minerales; si estos agentes son biológicos el termino degradable se transforma en biodegradable (Medina, 2017) siendo una propiedad favorable a diferencia de los materiales sintético.

Por lo anterior, en esta investigación se está implementando el uso de nuevas materias primas como lo son la yuca *(manihot esculenta)* y plátano macho *(musa paradisiaca l),* que representan una alternativa viable en el desarrollo de un polímero biodegradable frente a los polímeros convencionales, a partir de este polímero se elaboraran bolsas plásticas considerada una de las opciones extraordinarias que se puede llevar a cabo para cuidar el medio ambiente, manteniendo la funcionalidad de las bolsas plásticas convencionales donde su principal diferencia será la exclusión de productos químicos controvertidos o que requieran una aprobación reglamentaria, lo que las convierte en una alternativa necesaria en el presente con repercusiones positivas en el futuro, para la preservación del medio ambiente, la disminución de la dependencia con países que explotan el petróleo y a su vez la reducción de residuos considerados desechos.

En Valledupar como en muchas ciudades de Colombia los esfuerzos son mínimos a pesar de que los impactos medio ambientales son críticos, es normal que los consumidores pidan una bolsa por muy pequeña que sea su compra, por la comodidad de llevar sus productos. Algunos hacen mal uso de esta y la gran mayoría es desechada sin control, contaminando tanto la ciudad como el ecosistema natural. (Monsalve y Col 2006)

2 JUSTIFICACIÓN

Los Plásticos Biodegradables pueden ser fabricados a partir de recursos renovables, tanto de origen animal como vegetal, o recursos fósiles. Es la estructura química lo que distingue a un polímero biodegradable de un polímero convencional, y permite que pueda ser destruido por microorganismos, como hongos y bacterias (Castro, 2012). Una alternativa para reducir el uso de polímeros sintéticos en el país, es la utilización de materiales económicos, renovables, no contaminantes del ambiente y biodegradables.

Con el aprovechamiento de los residuos agroindustriales de la yuca *(manihot esculenta)* y plátano macho *(musa paradisiaca)* para extraer almidón, así como de componentes glicéricos y agua se puede llegar a obtener un polímero biodegradable.

La función del agua como solvente permitirá que las sustancias se mezclen con mayor facilidad, la glicerina se encargara de que el material sea flexible, el almidón por su composición química es un polímero pero este necesita ser tratado y mezclado con otros agentes para que realice su función, dando así como resultado un polímero biodegradable.

En Colombia se ha iniciado un trabajo legal, la resolución *0668* del *28* de abril del *2016* con sello del ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, busca empezar a controlar el uso de bolsas plásticas en el país. Basado en esto se ve la necesidad de realizar una bolsa biodegradable tipo lisa con la función principal de una bolsa convencional. Esta no dispone de aberturas para ser cargada, su forma es perfectamente rectangular, es común que la provean gratuitamente en supermercados, farmacias y otros comercios, para que el cliente pueda cargar los productos (generalmente livianos).

La elaboración de este polímero biodegradable consta de varias etapas fundamentales: la recolección de los residuos agroindustriales de yuca y plátano macho provenientes de la central de Mercabastos de la ciudad de Valledupar, donde actualmente están entrando *27,20* ton de yuca y *163,20* ton de plátano mensualmente, de las cuales el *5%* son perdidas, es decir residuos (Manjarres, 2017). Seguidamente se procederá a hacer la extracción del almidón, posteriormente se harán las mezclas de almidones con los demás componentes, sometiéndolos a temperatura para así homogenizar y rápidamente verter en moldes, dejarlos en reposo

teniendo como resultado el polímero con el que finalmente obtendremos la bolsa plástica biodegradable.

Con este proyecto se busca beneficiar a la sociedad en general dado que de manera indirecta las personas que empleen esta bolsa contribuirán a disminuir el uso de polímeros convencionales así como el impacto ambiental generado por estos.

3 MARCO REFERENCIAL

3.1 ANTECEDENTES

- Menoscal, 2017. Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*manihot esculenta*).

Esta investigación se enfoca en la elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca *(Manihot esculenta)* como alternativa para reducir la contaminación por residuos no biodegradables. Se realizó la selección y proporción de la materia prima a utilizar; debido a su disponibilidad, el residuo de almidón de yuca fue utilizado en mayor proporción (80%, 50%, 30%), además el agua, la glicerina y el vinagre sirvieron como plastificantes a causa de las propiedades adicionales que le proporcionan al plástico. Los materiales formaron 3 mezclas en proporción p/p; 80% residuo de almidón+13% agua+0,3% ácido acético+6,7 glicerina, 50% residuo de almidón+42% agua+0,4% ácido acético+7,6 glicerina y 30% residuo de almidón+61% agua+0,5% ácido acético+8,5 glicerina, las cuales se mezclaron, se sometieron a temperaturas altas (entre los 60 °C y 67 °C) y se colocaron en moldes, preparando 6 unidades experimentales de 100g por cada mezcla, formándose 18 láminas de 15x10 cm. Las láminas se sometieron a condiciones de entierro e intemperie (90 días) realizando observaciones cualitativas dos veces a la semana hasta lograr al menos el 90% de degradación. El tiempo de degradación más alto lo obtuvo el tratamiento 1, que utilizó la mayor proporción de materia prima (80%) con un total de 90,67±0,58 y 59,67±1,53 días a la intemperie y enterradas respectivamente, con un costo de $ 2,82 por unidad experimental.

- Palma y Col, 2017. Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche.

El almidón de plátano (AP) y proteínas del suero (PS) de leche (α-LA, β-LGA y β-LGB) fueron mezcladas para elaborar biopelículas por el método de vaciado en placa. La solubilidad en las biopelículas AP/PS (32.42%) fue mayor que las control, elaboradas con AP (7.2%). La adición de las PS en la biopelícula, mejoró las propiedades mecánicas, ya que aumentaron los valores del módulo de Young y esfuerzo máximo a la ruptura, patrón inverso fue observado en la elongación al rompimiento. La película AP/α-LA mostró mayor incremento en la

temperatura de fusión que las mezclas AP/β-LGA y AP/β-LGB. La estabilidad a la temperatura (ΔH) en las biopelículas fue mejorado por la adición de PS. Los estudios de espectrofotometría mostraron una mayor longitud de banda en 3500 cm–1 en películas de AP/PS indicando un incremento en los grupos –OH, lo que tiene relación con la mayor solubilidad que presentaron estas biopelículas.

- Melo y Col, 2015. Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (*musa paradisiaca spp*) para la obtención de maltodextrina.

En este trabajo se evaluó el efecto del tratamiento enzimático sobre almidón obtenido de pulpa y cáscara de plátano *(Musa paradisiaca spp)* se estableció el efecto de la temperatura de secado en almidón hidrolizado sobre propiedades químicas, físicas y reológicas. Se cuantificó la actividad de agua, el contenido de humedad, el contenido de dextrosa equivalente, azúcares reductores presentes en la maltodextrina por cromatografía líquida de alta eficacia; además se determinaron parámetros de color y reológicos. La hidrólisis enzimática presentó efecto significativo sobre la cantidad de dextrosa equivalente, permitió la obtención de maltotriosa, maltosa y glucosa, compuestos propios de maltodextrina, además, tuvo efecto sobre los parámetros reológicos, evidenciándose el cambio de la estructura del almidón. La temperatura de 130°C fue la que tuvo mayor efecto sobre las variables de actividad de agua, contenido de humedad y cambio de color. Lo anterior demuestra que es posible la obtención de maltodextrina a partir de pulpa y cáscara de plátano por vía enzimática y secado por atomización a temperatura de 130°C.

- Angeles, 2015. Diseño de un proceso industrial para obtener plástico biodegradable (tps) a partir de almidón de yuca (*manihot sculenta*).

El diseño de un proceso industrial para producir plástico biodegradable (TPS, siglas del inglés Thermoplastic Starch) a partir del almidón de yuca *(manihot sculenta)*, ha sido el objetivo principal para el desarrollo del presente trabajo de investigación como una forma de solucionar la problemática de contaminación ambiental generada por los plásticos. Ante la carencia de procesos de éste tipo en la industria peruana y el poco avance en la tecnología de los plásticos biodegradables, se planteó el problema de como diseñar un proceso para producir plástico biodegradable a partir del almidón de yuca. Para lograr el objetivo propuesto y

resolver el problema planteado se siguió la metodología de Richard Turton que permitió resolver los objetivos específicos a cumplir bajo un enfoque sistémico, jerárquico y sostenible del diseño del proceso industrial durante la aplicación de las herramienta de la ingeniería química para el diseño de procesos. De esta manera con la data existente de fuentes bibliográficas de las patentes de investigación existente, se analizaron las entradas y las salidas utilizando un diagrama nube, se determinaron las propiedades físicas de los materiales, la cinética de reacción, termodinámica del proceso, selección, diseño del proceso, diagrama de flujo, diagrama de bloques del proceso, balance de materiales, balance de energía, selección de la maquinaria - equipos, y sistema de control automático del proceso. El diseño sistémico del proceso permitió considerar no solo los elementos internos del mismo sino también factores externos que intervienen como lo es el medio ambiente. El diseño jerárquico del proceso hizo que éste se desarrollara respetando niveles de jerarquía y estableciendo un orden en cada una de las etapas del proceso. El enfoque sostenible contempla un diseño del proceso sostenible en el tiempo utilizando energías renovables solar eólica, la aplicación de una gestión integral de la calidad, ambiente, seguridad y salud ocupacional desde el inicio de su ejecución. El resultado de este trabajo es el diseño de un proceso industrial, con sus diagramas de flujo, balance de materiales y energía, sistema de control automático adecuado para aplicar un sistema de gestión integral.

- Flores y Col, 2007. Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalaínas.

El objetivo de este estudio fue elaborar películas con almidones oxidados de plátano y avena adicionados con betalaínas. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y se realizó ANDEVA de una vía con una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Las películas de almidón oxidado de plátano presentaron valores mayores de tensión a la fractura (5.7 MPa) y módulo de elasticidad (7.2 MPa), pero su porcentaje de elongación fue menor (25 %) en comparación con las películas de almidón oxidado de avena (1.6 MPa en tensión a la fractura, 0.2 MPa módulo de elasticidad, y 127 % de elongación). La adición de betalaínas aumentó el porcentaje de elongación en las películas de almidón sin afectar otras propiedades mecánicas, y además aumentó la permeabilidad al vapor de agua. La difracción de rayos X mostró una posible interacción entre el almidón oxidado de plátano y la betalaí- na. La modificación química por oxidación de los almidones

de plátano y avena confirió propiedades fisicoquímicas y funcionales a las películas para usarse como materiales de empaque y como matrices poliméricas para la incorporación de betalaínas.

- Flores y Col, 2007. Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano.

Se elaboraron películas con almidón oxidado de plátano y glicerol usando la gelatinización térmica y vertido en placa; se evaluó el color, la solubilidad en agua y el comportamiento térmico de las películas. Los almidones oxidados presentaron mayor blancura que los nativos y este mismo patrón se observó en las películas elaboradas. Las películas presentaron valores altos de luminosidad L* (93), aumentando cuando los niveles de oxidación del almidón se incrementaron. La solubilidad en agua aumentó cuando la temperatura y el nivel de oxidación del almidón se incrementaron. Concentraciones altas de hipoclorito en la oxidación provocaron mayor despolimerización del almidón. La adición de aceite de girasol a la solución filmogénica produjo el valor más bajo de solubilidad (17.6%), el cual puede asociarse al carácter hidrofó- bico del aceite. La adición de glicerol en las películas disminuyó la temperatura de transición vítrea (37.7 a 24.5 °C), lo que puede explicarse como un efecto plastificante. Las películas elaboradas con el almidón oxidado presentaron mayores valores de temperatura de fusión al aumentar la concentración de cloro. La entalpía (asociada al fenómeno de fusión) disminuyó (175.6 a 68.9 J g−1) al aumentar el nivel de oxidación del almidón. El almidón oxidado de plátano es una alternativa para preparar películas con potencial como material de empaque.

- Meneses y col, 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.

En la presente investigación se elaboró un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca con base en la implementación de la metodología Taguchi como herramienta de diseño de experimentos. El almidón dulce de yuca se mezcló, variando las condiciones, según lo indicado por el diseño de experimentos, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes. Las diferentes mezclas se sometieron a procesos comunes para los polímeros convencionales en un molino

abierto, inyectora, y una prensa de vulcanización. El proceso experimental arrojó como resultado seis muestras poliméricas con características adecuadas, que se sometieron a la medición de sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y de biodegradabilidad.

- Ruiz, 2005. Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca.

En este trabajo se evalúan las condiciones para la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca, se determinan las condiciones para su procesamiento mediante extrusión y se realiza su caracterización. El polímero biodegradable se obtiene al preparar diferentes mezclas de almidón modificado de yuca con glicerina como plastificante y agua, las cuales se procesan en un molino abierto, hasta producir bandas con un espesor reducido, que se cortan en tiras, se muelen para obtener escamas pequeñas que luego se alimentan a una extrusora de monohusillo. Las muestras se secan antes de la extrusión donde las variables a controlar son: el perfil de temperatura, torque, y velocidad de rotación del husillo. Se evalúan algunas características mecánicas y fisicoquímicas mediante ensayos de Tensión, Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA), Análisis Infrarrojo por Transformadas de Fourier (FTIR) y morfología.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Tubérculo.

Un tubérculo es un tallo o raíz generalmente subterráneo, aunque también puede ser aéreo, modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Son ricos en hidratos de carbono, principalmente almidón e inulina (Pérez y col, 2015).

4.2 Yuca (*Manihot esculenta*)

La yuca (*Manihot esculenta)* pertenece a la familia *Euphorbiaceae*. Esta familia está constituida por unas 7 200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos que producen una secreción lechosa. Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica. El nombre científico de la yuca fue dado originalmente por Crantz en 1766. Posteriormente, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca

dulce M. aipi. Sin embargo, Ciferri (1938) reconoció prioridad al trabajo de Crantz en el que se propone el nombre utilizado actualmente (Aristisábal y Col, 2007).

En Colombia se cultiva en diferentes regiones, desde el nivel del mar hasta 2000m de altura; el 80% de la producción nacional se utiliza para el consumo humano directamente y el 20% en la producción de almidón y harina. La yuca es cultivada por pequeños productores con rendimiento muy bajos y muy poco en grandes extensiones (Jaramillo, 2015).

Una típica raíz arrancada en época adecuada para la extracción de almidón, tendrá la siguiente composición:

Tabla 1.Composición de la yuca

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE
Almidón	62-74%
Proteína	3%
Agua	15%
Fibra	2%
Otros	6%

Fuente: Meré, 2009.

Existen básicamente dos variedades de yuca (amargas) y (dulces); la dulce es para fines culinarios y la amarga por su alto contenido de glucósidos cianogénicos es más apropiada para el almidón (Jaramillo, 2015). Aunque este no es constante dentro de una variedad y depende también de las condiciones edafoclimáticas del cultivo (Aristisábal y Col, 2007).

4.3 Almidón de yuca *(Manihot esculenta)*.

El almidón de yuca también se conoce como Tapioca y es utilizado en la industria alimentaria como ligante de agua, coadyuvante de emulsificantes, fuente de carbohidratos, espesante y agente texturizante.

En el corte transversal de la raíz adulta de yuca se aprecian dos partes bien definidas que son la corteza y el núcleo; la corteza posee 2 capas: una exterior que es delgada y se encuentra constituida de material suberoso, y una capa interior de mayor espesor, que es fibrosa y posee gránulos de almidón; el núcleo es menos fibroso que la corteza, es bastante rico en almidón, con gránulos de mayor tamaño que los del almidón de la corteza. Considerando partes iguales

del núcleo y de corteza, el almidón contenido en ésta es aproximadamente la mitad del que hay en el núcleo. Este almidón de la corteza es de gran provecho en las fábricas grandes, ya que en ella se procesa toda la raíz una vez retirada la delgada capara exterior que los recubre (Ceballos, 2002).

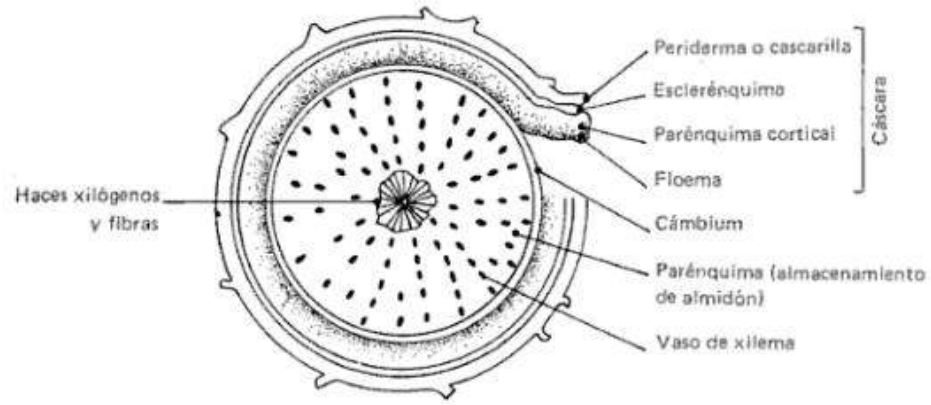


Figura 1.Corte transversal de la yuca (Ceballos, 2002)

4.4 Fruta.

En botánica, el fruto es el órgano procedente de la flor, o de partes de ella, que contiene a las semillas hasta que estas maduran y luego contribuye a diseminarla. Desde un punto de vista ontogénico, el fruto es el ovario desarrollado y maduro de las plantas con flor. La pared del ovario se engrosa al transformarse en la pared del fruto y se denomina pericarpio, cuya función es proteger a las semillas. Con frecuencia participan también en la formación del fruto otras partes de la flor además del ovario, como por ejemplo el cáliz o el receptáculo (Esaú, 1998).

4.5 Plátano macho *(Musa paradisiaca.*

El plátano macho es originario de Asia. Crece de manera natural desde la India hasta China. Se introdujo en África y ahora ya se cultiva en zonas tropicales y subtropicales de América Latina. Es la planta herbácea perenne más alta del mundo y puede llegar a medir unos quince metros.

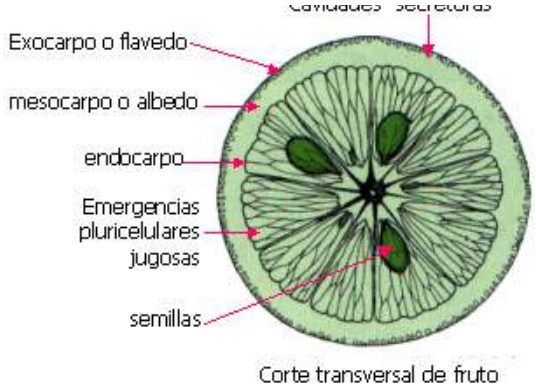


Figura 2.Corte transversal del plátano (Jacobo, 2015)

Es uno de los alimentos básicos en países como Cuba, República Dominicana, Puerto Rico, Venezuela, Colombia o Guatemala. Por fuera es de color verde intenso y es mayor que el plátano común; por dentro, es de color blanco y de textura harinosa. Es menos dulce por su gran cantidad de almidones. Se conoce como plátano macho, plátano verde, plátano para cocer o hartón. Es de la familia de las musáceas. Se han hecho múltiples hibridaciones desde las especies más salvajes que han dado muchísimas variedades de plátanos y bananas (Rullan, 2017).

Tabla 1.Composición del plátano macho

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE
Almidón	70-80%
Proteína	1.7%
Agua	14%
Fibra	2.3%
Otros	7%

Fuente: Jacobo, 2015.

4.6 Almidón.

El almidón es un polisacárido de reserva energética de origen botánico, se puede encontrar en los frutos, semillas, hojas y tubérculos. Su función consiste en ser la reserva de carbohidratos de los vegetales. Es insoluble en agua fría y se presenta en la naturaleza en

forma de gránulos. La procedencia de la fuente vegetal de la cual se obtiene el almidón, dota a éste de diferentes características no solo en el ámbito morfológico y del tamaño de grano, sino también en aspectos de calidad y de su composición (Peñaranda y Col, 2008).

Los gránulos de almidón están compuestos esencialmente por una mezcla de polisacáridos. Las capas externas están formadas por amilopectina y las capas internas por amilosa. En general la estructura del almidón está formada por una proporción del 20% de amilosa y 80% de amilopectina, aunque esta relación depende de la especie vegetal a la que pertenezca (Ruiz, 2005).

Tanto la amilosa como la amilopectina son macromoléculas formadas a su vez por gran cantidad de moléculas de glucosa que se repiten. Estas macromoléculas son polisacáridos formados únicamente por unidades glucosídicas. La amilosa posee una estructura lineal con un leve grado de ramificaciones o entrecruzamientos en forma de hélice. Se compone de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α-1,4 como se observa en la *Figura 3*. La molécula de la amilosa tiene un peso medio molecular de 105 a 106 g/mol (Meré, 2009).

También se caracteriza por sus propiedades hidrofílicas que le confieren una buena afinidad con el agua. Esta propiedad se debe a la presencia de grupos hidroxilos en las moléculas de glucosa que pueden establecer enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua (Meré, 2009).

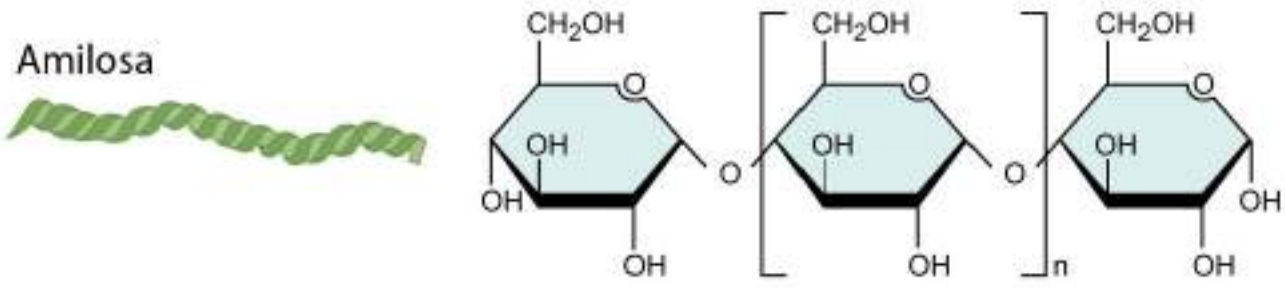


Figure 3.Estructura de la amilosa (Janine y Col, 2014)

El tamaño de la molécula de la amilopectina es mayor que la de la amilosa. La amilopectina se compone por enlaces glucosídicos α-1,6 y α-1,4. Estos enlaces glucosídicos α-1,6 se producen con otras moléculas de glucosa, lo cual provoca que tenga una estructura más ramificada que la amilosa, como se muestra en la *Figura 4*. La molécula tiene un peso medio molecular promedio de 107 a 108 g/mol (Meré, 2009).

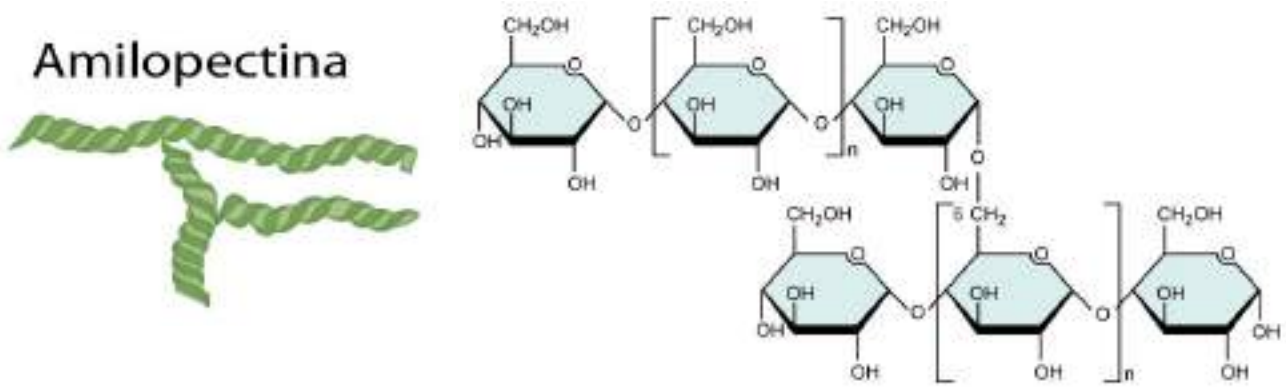


Figure 4.Estructura de la amilopectina (Janine y Col, 2014).

Estos enlaces glucosídicos α-1,6 provocan entrecruzamientos moleculares en forma de hélice.

El almidón se puede obtener utilizando diferentes metodologías de acuerdo a las materias primas de las que se extraiga y según del tipo de compuestos que lo estén acompañando (*Díaz, 1997).*

Tabla 2.Caracteristicas de algunos almidones.

Tipo	Amilopectina (%)	Amilasa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tamaño de granulo (μm)
Maíz	73	27	62 - 72	5 – 25
Maíz rico en amilasa	20 – 45	55 - 80	67 - 80	5 – 25
Maíz céreo	99 – 100	0 – 1	63 - 72	5 – 25
Sorgo céreo	99 – 100	0 – 1	67 - 74	5 – 25
Papa	78	22	58 – 67	5 – 100
Arroz	83	17	62 – 78	2 – 5
Yuca	82	18	51 – 65	5 – 35
Trigo	76	24	58 - 64	11 – 41

Fuente. (ITESCAM, 2008)

4.7 Limitaciones del almidón.

Los almidones termoplásticos biodegradables derivados del almidón deben tener un porcentaje de amilasa superior del 70% para conseguir una fabricación óptima.

Para mejorar las escasas propiedades mecánicas del almidón es común someterlo a modificaciones tanto físicas como químicas, como se describirá más adelante. El almidón que contiene únicamente amilopectina, alcanza valores más bajos de torque al ser procesado mediante extrusión. Un almidón con un alto contenido en amilosa alcanza valores mayores de par de torsión, debido a que la viscosidad de la mezcla es mayor por el alto contenido de amilosa del almidón (Soto y Col, 2014).

Un alto contenido en amilosa provoca mayor fuerza de atracción entre los granos de almidón, esto impide la penetración de agua dentro de los gránulos, retrasando lógicamente el proceso de gelatinización durante el proceso de extrusión. Como ya se ha citado anteriormente, los productos fabricados únicamente por almidón tienen diferentes limitaciones. Para combatirlas se hace necesaria añadir diferentes plastificantes que mejoran su flexibilidad y procesabilidad. Los plastificantes añadidos en la fabricación del almidón termoplástico no deben ser incompatibles con el proceso de biodegradación como es lógico (Soto y Col, 2014).

La proporción relativa de amilosa/amilopectina en cualquier almidón, así como el peso molecular especifico de estos polímeros en dicho almidón, determinan las propiedades físico-químicas.

Las principales propiedades fisicoquímicas son: composición proximal, peso molecular, solubilidad, contenido relativo de amilosa y características de la pasta que produce. Además se encuentra la caracterización estructural (tamaño, forma y naturaleza cristalina del granulo) y la caracterización reológica (poder de hinchamiento), las cuales completan las propiedades fisicoquímicas (Ceballos y Col, 2002).

4.8 Almidón Modificado.

El almidón nativo es hidrofílico y según la humedad relativa puede absorber más o menos una cantidad significativa de agua. Como la temperatura de transición vítrea (Tg) es muy sensible al contenido de agua, las propiedades mecánicas del material muestran cambios importantes dependiendo de la variación en la humedad relativa. La modificación del almidón se hace con el fin de aumentar su hidrofobicidad, para lo cual existen diferentes métodos tales

como la acetilación, hidrólisis ácida, esterificación, eterificación, oxidación, reticulación y conversión enzimática. Los almidones modificados incluyen los geles móviles, almidones alquídicos, dextrinas, amino almidones, almidones dialdehídicos, entre otros (Ruiz, 2005).

Las modificaciones comerciales más importantes del almidón son aquellas en las cuales solamente reaccionan algunos grupos hidroxilo. Normalmente los grupos éster o éter son ligados con niveles bajos de grados de sustitución. Los gránulos modificados y los no modificados se observan iguales pero los bajos niveles de modificación producen cambios dramáticos en las propiedades de los almidones y aumentan sus aplicaciones. En la *tabla 4* se observan algunas características obtenidas en los almidones mediante la modificación (Ruiz, 2005).

Tabla 3.Algunas características impartidas a los almidones por modificación.

MODIFICACIÓN	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
Pre gelatinización	Solubilidad y dispersión sin calentamiento Hinchamiento en agua fría
Esterificación y acetilación	Mejora la claridad de las pastas y la estabilidad a bajas temperaturas. Fácil de cocinar.
Fosforación	Mejora la claridad de las pastas y la estabilidad. Estabilidad al descongelarse
Octenil succinilación	Emulsificación y propiedades estabilizantes a la emulsion
Reticulación con esteres fosfatados	Incremento de viscosidad. Estabilidad al calor, a la cizalladura, y a condiciones acidas. Estabilidad durante el almacenamiento.
Eterificación/hidroxipropilacion	Mejora la claridad de las pastas y su estabilidad. Estabilidad al descongelarse. Fácil de cocinar.

Fuente: (Ruiz, 2005).

4.9 Gelatinización.

Se define como la pérdida de semicristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. Los granos de almidón son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa los granos

tienden a hincharse por la acción del calor, a perder sus propiedades cristalinas y a una temperatura crítica forman un gel (Fritz, 1994).

Durante la gelatinización el agua penetra inicialmente en las regiones amorfas iniciando el hinchamiento y produciendo una disminución en la birrefringencia. Esta es la primera etapa en muchos casos de la utilización del almidón donde se observa el comportamiento de un fluido no newtoniano. Luego el agua desaloja las cadenas de almidón desde la superficie de los cristales a medida que la temperatura aumenta; la movilidad térmica de las moléculas y la solvatación producida por las fuerzas de hinchamiento provocan una disminución de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular es fragmentada casi completamente obteniéndose un sol-gel.

La principal diferencia entre la preparación de geles, comidas, películas o materiales procesados de almidón termoplástico (TPS) es la cantidad de agua o plastificante durante la gelatinización o fusión de los gránulos de almidón. Para la obtención del almidón termoplástico, el almidón se funde con la ayuda de una cantidad relativamente baja de agua durante el proceso de extrusión, moldeo por presión o moldeo por inyección, donde la cantidad de agua está por debajo del 20% en la mayoría de los casos. Parte del agua generalmente se reemplaza por pequeñas cantidades de glicerina. Las diferencias en el contenido de agua y glicerina y las condiciones de procesamiento tales como: la velocidad de cizalladura y temperatura producen diferencias en la formación de la red de almidón y en la morfología del material producido (Van Soest, 1996).

Las temperaturas de gelatinización para algunos almidones se observa en la tabla 3, donde To representa la temperatura a la cual se inicia la gelatinización, Tp es la temperatura de pico endotérmico y Tc la temperatura a la cual finaliza la gelatinización (Lai, 1991). Algunos métodos comúnmente utilizados para monitorear la gelatinización son: la pérdida de birrefringencia, 14 cambios en la viscosidad, solubilidad e hinchamiento de los gránulos, difracción de rayos X, espectroscopia por resonancia magnética nuclear y análisis térmico por DSC entre otros (Fritz, 1994).

Tabla 4.DSC característicos de distintos almidones.

Almidón	Temperatura endotérmica, °C			-ΔH_G,cal/g de almidón
	To	Tp	Tc	
Arroz	70	76.3	82	3.1
Trigo	50	68	86	4.7
Papa	57	72	87	6.6
Yuca	68	78	92	5.5
Maíz comercial	60	67-78	89	3.3
Maíz de alta amilosa	71	82-105	114	4.2
Maíz de 100% de amilopectina	64	71-88	97	4.0

Fuente: (Fritz, 1994).

4.10 Desestructuración.

El proceso de desestructuración del almidón natural es la transformación de los granos de almidón semicristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo y en la destrucción de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de almidón, de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Los factores fisicoquímicos que participan en el proceso son: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, contenido de agua, y cantidad total de energía aplicada. La amilopectina se despolimeriza inicialmente y luego la amilosa, con la aplicación de mayor energía. La desestructuración también puede ocurrir cuando se aplica calor. El aumento de temperatura incrementa la solubilidad del almidón en agua produciéndose una despolimerización significativa alrededor de los 150 ºC, sin embargo solamente por encima de 190 ºC puede confirmarse el incremento de la solubilidad. Cuando se aumenta el contenido de humedad de la mezcla disminuye el grado de desestructuración (Fritz, 1994).

Durante el proceso de extrusión la cizalladura produce como resultado la fragmentación de los gránulos de almidón, la cual se evidencia por la parcial o completa destrucción de la estructura cristalina de éste, cuando se observa utilizando difracción de rayos X; adicionalmente disminuye la viscosidad o aumenta la solubilidad del almidón en solución

después de la extrusión, debido a la polimerización en cadenas moleculares dispuestas en forma desordenada, la cual ha sido evidenciada por la variación en los valores del índice (n) de la ley de potencias durante las mediciones reológicas realizadas durante la extrusión (Lai, 1991).

4.11 Plastificantes

En ausencia de aditivos, las películas fabricadas de almidón son frágiles. Los plastificantes generalmente se adicionan para convertir el almidón en un material termoplástico (TPS), con el fin de obtener formas extruidas u objetos moldeados. Pueden definirse como sustancias de bajo peso molecular que se incorporan en una matriz polimérica para incrementar su flexibilidad y su procesabilidad. La glicerina y el agua son los plastificantes más utilizados para el almidón. También se utilizan el xylitol, sorbitol y maltiol cuya estructura química y propiedades físicas se muestran en la tabla 6 (Mathew, 2002).

4.12 Glicerina

Proveniente etimológicamente del vocablo griego γλυκερ-ός/-ά (glykerós) con el significado de "dulce" la palabra glicerina designa un líquido orgánico, de sabor dulce, incoloro, espeso y viscoso, también denominado 1, 2,3 propanotriol o glicerol, nombres todos que datan del siglo XX. No es que antes no se conociera este alcohol sino que no recibía esa denominación. Su descubrimiento data del siglo XVIII y se debe a los estudios de Claude Joseph Geoffroy y Carl Wilhelm Scheele (Castells, 2016).

La glicerina es miscible (puede mezclarse) en alcohol y agua, pero es inmiscible en éter. Su punto de ebullición lo alcanza a una temperatura de 290 º C, momento en que se descompone.

Es un alcohol polivalente, que forma la base de lo que están compuestos los cuerpos grasos, e integrado por tres átomos de carbono. Los lípidos simples, integrados por sustancias que conocemos como mantecas, aceites y sebos son ésteres de ácidos grasos combinados con glicerina. La glicerina o glicerol, se integra, como fosfolípido en las membranas celulares de los seres vivos (Castells, 2016).

Tiene la propiedad de actuar como disolvente de ciertas sustancias. Por ello se emplea con mucha eficacia en la industria cosmética, en jabones, perfumes y maquillajes; para que esos elementos beneficiosos o embellecedores para la piel puedan penetrar o fijarse con

mayor facilidad. Tiene también uso medicinal (integrando los componentes de cremas y jarabes), interviene en la fabricación del plástico, barnices, pinturas, conserva el tabaco y sirve para obtener nitroglicerina, un líquido de tono amarillo claro, con mayor densidad que el agua, que tiene la capacidad de explotar. Con nitroglicerina (Trinitrato de glicerol) puede fabricarse la dinamita. Su punto de congelación es bajo, por lo cual si se lo mezcla con agua sirve para refrigerar motores. En la industria textil se usa para lograr telas más suaves y elástica (Castells, 2016).

Tabla 5. Principales propiedades físicas y químicas de algunos plastificantes.

	Glicerina	Xylol	Sorbitol	Mantiol
Numero de carbonos	3	5	6	12
Peso molecular (g/mol)	92	152	182	344
Temperatura de fusión (°C)	20	94	100	157
Estabilidad al calor (°C)	>160	>160	>160	>160
Higroscopicidad	Alto	Alto	Media	Media
Tg (°C)	-75	-27	0	45

Fuente. Mathew, 2002,

Los plastificantes deben ser compatibles con el polímero formado. Ellos reducen las fuerzas intermoleculares e incrementan la movilidad de las cadenas poliméricas (Mails y Col, 2005).

4.13 Rellenos.

Se adicionan al almidón termoplástico con el fin de mejorar algunas propiedades o de dar volumen para reducir costos. Los más utilizados son rellenos inorgánicos tales como: el caolín que mejora el acabado superficial disminuyendo la porosidad, la mica y otras arcillas proporcionan una superficie con brillo, cuando el tamaño de partículas es muy fino, el vidrio en forma de pequeñas esferas proporciona transparencia. Los geles inorgánicos de sílice, como el silicato de calcio y aluminato de calcio y las zeolitas se agregan con el fin de absorber agua y reducir el efecto negativo del agua durante el procesamiento de los almidones

termoplásticos. Los geles o los micros geles absorben fácilmente la humedad del aire por lo cual pueden reducir la sensibilidad a la humedad que tiene los almidones termoplásticos.

También pueden adicionarse como rellenos metales y sus aleaciones tales como: acero, hierro, acero inoxidable y cobre; alúmina, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, talco, dióxido de titanio entre otros (Andersen, 2001).

4.14 Fibras.

Las fibras se adicionan preferiblemente en artículos moldeados de almidón termoplástico o sus mezclas, con el fin de aumentar su flexibilidad, tenacidad, resistencia a la flexión y a la tensión. Las fibras pueden ser orgánicas o inorgánicas. Las orgánicas incluyen fibras de celulosa obtenidas de la madera, hojas de plantas, algodón, papel reciclado etc. Las fibras inorgánicas se obtienen del vidrio, grafito, sílice, cerámicos o metales.

Las fibras con relaciones de longitud a espesor (relación de aspecto) altas, producen mayor resistencia mecánica a la matriz de almidón termoplástico.

En muchos casos se incluyen diferentes tipos de fibras para combinar diferentes propiedades como por ejemplo alta resistencia y alta ductilidad (Andersen, 2001).

4.15 Plástico biodegradable.

Es un plástico certificado como biodegradable y/o de origen renovable. De esta forma, se pueden utilizar como materias primas los recursos agrícolas, forestales y animales. Actualmente, los grupos de polímeros considerados como BPL son los PLA (Ácido poli-lácticos); el PHA (poli-hidroxi-alcanoato), almidón (y almidones complejos) y otros poliésteres sintéticos, eventualmente de origen petrolífero.

Su producción comienza con el almidón extraído, luego los microorganismos lo transforman en una molécula más pequeña de ácido láctico como base para la elaboración de cadenas poliméricas de ácido poliláctico, el entre cruzamiento de cadenas poliméricas de ácido poliláctico da lugar a la lámina de plástico biodegradable que sirve de base para la elaboración de numerosos productos plásticos no contaminantes. Los plásticos biodegradables producidos a partir de almidón pueden inyectarse, extruirse y termoformarse, de igual forma

que los plásticos convencionales derivados del petróleo y los productos obtenidos presentan las mismas propiedades características físicoquímicas (Jaramillo, 2015).

4.16 Criterios de biodegradabilidad.

El criterio general para seleccionar un polí- mero como material biodegradable considera tanto las propiedades mecánicas requeridas como el tiempo de degradación necesario para la aplicación particular (Ardilla y Col, 2012). Las características de estos dos parámetros son:

4.16.1 Propiedades mecánicas.

Los factores que influyen en las propiedades mecánicas son la selección del monómero y del iniciador de reacción, la presencia de aditivos y las condiciones de procesado.

4.16.2 Velocidad de degradación.

Condiciones del medio: Temperatura, humedad y pH.

Características del polímero: Presencia de enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, hidrofilicilidad, estereoquímica, peso molecular, cristalinidad, superficie específica, temperatura de transición vítrea y de fusión.

Características de los microorganismos: cantidad, variedad, fuente, actividad.

4.17 Mecanismos de degradación

Entre los mecanismos básicos de degradación de un polímero, se aceptan cinco básicos.

4.17.1 Fotodegradación

Incluye los cambios físicos y químicos que se producen en el polímero debido a la irradiación del material con luz ultravioleta o visible; se pueden obtener polímeros fotodegradables introduciendo en su estructura grupos funcionales sensibles a la radiación ultravioleta (grupos carbonilo) o bien introduciendo aditivos, catalizadores y peroxidantes fotosensibles que aceleren el proceso de degradación.

4.17.2 Degradación mecánica

Es causada por los esfuerzos a los que se somete el material, ya que suelen ir acompañados de rotura de enlaces en la cadena principal.

4.17.3 Degradación térmica

Se refiere a casos en los que el polímero, a elevadas temperaturas, sufre cambios químicos sin la contribución de ningún otro factor, que no sea la energía térmica. Generalmente, es

difícil distinguir entre la degradación térmica y la termoquímica, ya que el polímero raramente se encuentra en estado puro y las impurezas o aditivos pueden reaccionar con la matriz polimérica si la temperatura es bastante alta. En los últimos años se ha estado investigando sobre polímeros termoestables, en los cuales no hay pérdida de propiedades con la temperatura. La forma de conseguirlos es aumentando la rigidez del polímero o aumentando la cristalinidad; esto se consigue mediante la inclusión de grupos rígidos en la cadena principal o con polímeros estereorregulares, que aumentan la temperatura de reblandecimiento.

4.17.4 Degradación química

Se refiere exclusivamente a procesos en los que la degradación es inducida por el contacto del polímero con productos químicos reactivos. En estos casos puede observarse una gran conversión, aunque sólo a elevadas temperaturas, debido a la energía de activación de dichas reacciones. Uno de los tipos de degradación química más frecuentes es la degradación hidrolítica, en la que la causa de la degradación es el contacto del material con un medio acuoso; la penetración del agua dentro de la matriz polimérica produce el hinchamiento, rotura de los puentes de hidrógeno intermoleculares, hidratación de las moléculas y, finalmente, la hidrólisis de los enlaces inestables.

4.17.5 Degradación mediante microorganismos (bacterias, hongos o algas).

Dichos microorganismos producen una gran variedad de enzimas que son capaces de reaccionar con polímeros sintéticos y naturales. El ataque enzimático del material es un proceso químico inducido por la necesidad de encontrar alimento por parte de los microorganismos (la cadena principal de los polímeros es una fuente de carbono).

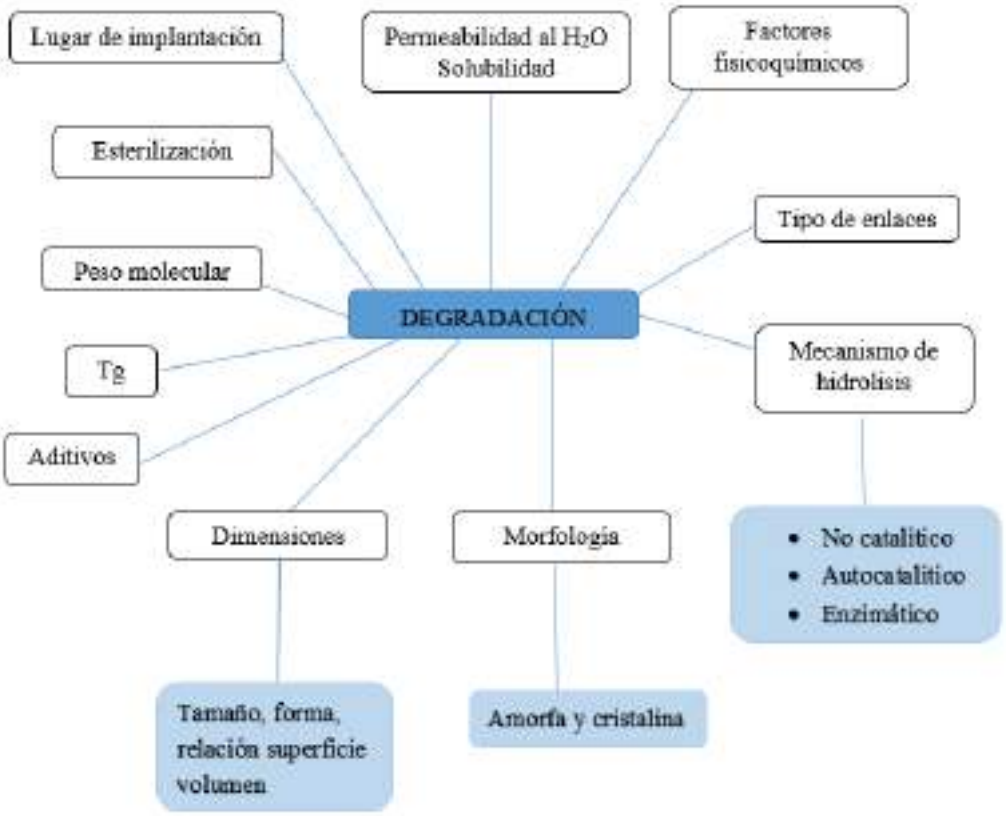


Figure 5. Factores que intervienen en la degradación de un biopolímero (Ardilla y Col, 2012).

4.18 Polímeros

La palabra polímero proviene del griego Polys y Meros, que significa muchos y partes respectivamente; y estos se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena (Fred, 1975). La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas, son polímeros; también son muchos materiales sintéticos como plásticos, las fibras, los adhesivos, el vidrio y la porcelana. A pesar de la gran variedad de polímeros existentes, todos tienen una estructura interna similar y se rigen por las mismas teorías (Pelissari y Col, 2013).

4.19 Polímeros Biodegradables.

La primera generación de polímeros biodegradables se desarrolló en los 80`s con poliolefinas con almidón como aditivo, el cual hacía que el artículo se fragmentara en pequeños pedazos en un ambiente biodegradable. Estos materiales biodegradables no fueron

aceptados y en 1990 los productores se vieron forzados a retirarlos del mercado (Pelissari y Col, 2013).

La segunda generación de polímeros totalmente biodegradables ha sido recientemente introducida en el mercado, sin embargo su costo es mayor que el de los polímeros tradicionalmente utilizados en la fabricación de empaques. La industria ha estado trabajando en disminuir los costos incrementando la capacidad de producción y mejorando la tecnología de los procesos (Meneses y Col, 2007). Algunos polímeros biodegradables de esta generación son:

- Polímeros basados en almidón.
- Poliláctico.
- Polihidroxyalcanoatos.
- Policaproláctonas.

Muchos estudios realizados en la pasada década, se han centrado en las síntesis de mezclas basadas en almidón las cuales muestran excelente procesabilidad y buenas propiedades mecánicas cuando se mezclan con polímeros sintéticos que contienen grupos funcionales reactivos (Ramaswamy y Col, 1998).

El ácido poliláctico (PLA) tiene buenas propiedades mecánicas, transparencia además de su procesabilidad. Pero su mayor defecto para muchas aplicaciones es su fragilidad. Además su alto costo disminuye las posibilidades de comercialización. También se han hecho mezclas de almidón con polímeros no biodegradables como el polietileno (PE), polivinil cloruro (PVC), copolímeros de etileno y de vinil alcohol, copolímeros de etileno y ácido acrílico. Además mezclas de almidón con otros polímeros biodegradables tales como poliésteres alifáticos. En los sistemas de mezclas con base en el almidón uno de los factores más importantes que afectan las propiedades mecánicas es la afinidad interfacial con la matriz de polímero las cuales pueden mejorarse con la gelatinización del almidón (Cheng y Col, 2009).

La tercera categoría de almidón como base para materiales de empaque consiste en una mezcla de almidón puro con polioles como el glicerol y sorbitol, sin utilizar polímeros sintéticos. Esta mezcla forma una masa amorfa que se puede procesar en forma de película o lámina. El poliol sirve como un lubricante interno para el almidón y previene la retrogradación (Pelissari y Col, 2013).

4.20 Polimerización

En química orgánica, la reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se denomina polimerización. Según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización para dar lugar al polímero, esta se clasifica como polimerización por pasos o como polimerización en cadena. El tamaño de la cadena depende de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción, teniendo cada cadena un tamaño distinto y, por tanto, una masa molecular distinta, de ahí que se la llama masa promedio del polímero.

Tipos de polimerización

4.20.1 Polimerización por condensación

En cada unión de dos monómeros se pierde una molécula pequeña. Debido a esto, la masa molecular del polímero no es necesariamente un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero.

4.20.2 Polimerización por adición

En este tipo de polimerización la masa molecular del polímero es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. Esta polimerización se genera cuando un catalizador, inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina (Ángeles, 2016).

4.21 Bolsas plásticas

Los plásticos son típicamente ligeros, químicamente inertes y pueden ser fabricados para ser rígidos, flexibles e impermeables. Como resultado de estas características, los plásticos han reemplazado al papel, vidrio y metal en muchas aplicaciones, además, estos tienen una larga vida y son resistentes a la degradación en ambientes naturales (Zabaleta y Col, 2016).

La bolsa de plástico es un objeto cotidiano utilizado para transportar pequeñas cantidades de mercancía. Introducidas en los años setenta, las bolsas de plástico rápidamente se hicieron muy populares, especialmente a través de su distribución gratuita en supermercados y otras tiendas. También son una de las formas más comunes de acondicionamiento de la basura doméstica y, a través de su decoración con los símbolos de las marcas, constituyen una forma barata de publicidad para las tiendas que las distribuyen. Las bolsas de plástico pueden estar hechas de:

- Polietileno de baja densidad.
- Polietileno lineal.
- Polietileno de alta densidad.
- Polipropileno.
- Polímero de plástico no biodegradable.

Su espesor puede variar entre 18 y 30 micrómetros. Anualmente, circulan en todo el mundo entre 0,5 y 1 billón de estos objetos.

Existen diferentes tipos de bolsas de plástico según su función: si es transportar mercancías desde un supermercado por ejemplo, se denomina bolsa de tipo camiseta, por la forma de las asas, es una bolsa económica y con poco material, hecha de polietileno de alta densidad, que puede transportar normalmente hasta 12 kilos de víveres (Soto y Col, 2014).

Otro tipo de bolsa de plástico puede ser una bolsa donde se envasan alimentos altamente higroscópicos, como harina, galletas o pasta, que es una laminación de polipropileno que permite protegerlas de la humedad. Otros tipos de bolsa protegen de la acción del oxígeno en los alimentos altamente sensibles, como la carne roja, alimentos con alto contenido de grasas, etc.

Hay bolsas de plástico que contienen líquidos, ya sean bebidas, leche, hasta productos como mayonesa, mermeladas, jarabes para refresco, zumo fresco de fruta, vinos, huevo líquido, salsas para food service, etc., con la tecnología del bag-in-box. Otro tipo de bolsa de plástico se utiliza por ejemplo para formar bultos de azúcar, papas, etc., hasta de 50 kilos, y facilitan su protección y transporte a otros mercados (Zabaleta y Col, 2016).

Existen bolsas de plástico especiales para cocer alimentos en su interior, denominadas en inglés boil-in-bag, con las que se envasa el alimento crudo o semicocido, como por ejemplo leche para hacer un queso, jamón, mortadela o arroz. Existen también bolsas de plástico adecuadas para proteger alimentos empacados al alto vacío (Soto y Col, 2014).

4.22 Proceso de fabricación de bolsas plásticas.

En general, el proceso de fabricación de una bolsa de plástico incluye la extrusión de la resina, ya sea por método de soplado o por medio de un dado; la impresión puede ser por el método de flexo grafía o de roto grabado (también huecograbado); puede haber un proceso de barnizado o laminación con otra capa de plástico, y finalmente el proceso de soldado o sellado por medio de calor y presión (Vence y Col, 2010)

5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las bolsas plásticas son comúnmente utilizadas para transportar pequeñas mercancías, generalmente provienen del petróleo y han sido de inmensa utilidad, sin embargo el problema radica en el alto consumo de energía para ser fabricadas y de igual modo en que suelen ser desechadas rápidamente afectando los ecosistemas naturales ya que pueden durar de 100 a 400 años en degradarse (Meza y Col, 2010).

Específicamente en el caso de la ciudad de Valledupar donde existe una población de 413.341 (Hab/Km^2), incluidos corregimientos (Dane, 2005). La empresa de servicio de aseo recoge en promedio 400 toneladas de residuos empacados en bolsas al mes, donde el plástico representa el 12% de los residuos, lo que significa que se tienen 48 toneladas de bolsas plásticas por mes de los cuales se reciclan solo 6 toneladas (Bandera, 2016). Lo que da a entender el alto nivel de contaminación que existe en la ciudad a causa de las bolsas plásticas.

En Colombia el bioplástico es insuficiente, debido a que no se producen actualmente en el país, lo que obliga a importar y en consecuencia el costo se hace 10 veces superior al de las bolsas convencionales. Por esta razón no se ve un interés industrial en crear bolsas biodegradables a partir de polímeros naturales puesto que se ve más factible comprar polietileno. Debido a esto surge la oportunidad de aprovechar los residuos que se generan en la ciudad de Valledupar de yuca ***(****manihot esculenta****)*** y plátano ***(****musa paradisiaca****)***, extrayendo su almidón, y así, crear a partir de este un polímero para la fabricación de bolsas biodegradables.

Uno de los principales problemas que puede acontecer es que al obtener el almidón del plátano**,** este presenta ciertas características físicas indeseables como es el color, debido, a las reacciones de oscurecimiento enzimático desencadenadas por las enzimas de tipo oxidasas como son la polifenol oxidasa que se encuentran presente en el almidón del plátano (García y Col, 2012).

5.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible fabricar bolsas plásticas biodegradables a partir de la mezcla de almidones extraídos de residuos de yuca ***(****manihot esculenta****)*** y plátano macho ***(****musa paradisiaca L*) en la ciudad de Valledupar?

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Fabricar bolsas plásticas con un polímero biodegradable elaborado a partir de una mezcla de almidones extraídos de residuos orgánicos de yuca *(Manihot esculenta)* y plátano macho *(Musa paradisiaca L.)* en la ciudad de Valledupar.

6.2 Objetivos específicos

- Obtener almidón de residuos orgánicos de yuca *(Manihot esculenta)* y plátano macho *(Musa paradisiaca **l.)** para c*aracterizarlos mediante pruebas de humedad, granulometría, pH y densidad.
- Elaborar películas con diferentes concentraciones de almidón de yuca *(Manihot esculenta),* plátano macho *(Musa paradisiaca l.)* y sustancia plastificante para someterlas a pruebas de biodegradabilidad y tensión.
- Determinar la mezcla óptima de almidón de yuca *(Manihot esculenta),* plátano macho *(Musa paradisiaca l.)* para la elaboración de la bolsa teniendo en cuenta la prueba de tensión.

7 HIPOTESIS

A partir de la mezcla de almidones extraídos de residuos de yuca *(Manihot esculenta)* y plátano macho *(Musa paradisiaca L)*, glicerina y agua, se obtiene un plástico biodegradable que cumpla una función similar a los plásticos convencionales y utilizarlo para elaborar una bolsa plástica.

8 METODOLOGÍA

8.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio aplicado en esta investigación es experimental cuantitativo, ya que cumplirá con las características que lo define (Hernández, 1997).

Descriptivo ya que se detallara cada una de las propiedades y características importantes de los fenómenos a estudiar.

Correlacional se mostrara el grado de asociación que tienen las variables de este estudio y explicativo ya que se expondrá de manera clara y sencilla cada una de las etapas que se seguirá en el estudio.

8.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se realizó en la ciudad de Valledupar departamento del Cesar, Colombia; el trabajo de campo del proyecto incluyendo algunos análisis fisicoquímicos se desarrolló en el centro de investigación para el desarrollo de la ingeniería (CIDI) de la Universidad Popular del Cesar. El trabajo correspondió a una investigación cualitativa, inicialmente el método de recolección de información fue investigativo y posteriormente experimental y de observación, realizando las respectivas pruebas de laboratorio. Se evaluaron y analizaron los resultados obtenidos para poder elaborar la bolsa plástica biodegradable lo que permitió emitir un juicio al respecto.

8.3 POBLACIÓN

La población con la que se realizó el estudio fueron los residuo de yuca (Manihot esculenta) y plátano macho (Musa paradisiaca L.) de la central de abastos (Mercabastos) de la ciudad de Valledupar.

8.4 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS, OBTENCIÓN DE LOS ALMIDONES Y CARACTERIZACIÓN

8.4.1 Recolección de residuos

La recolección total de residuos de yuca y plátano fue de 72,6 kg obtenidos en la central de abastos (Mercabastos), a la cual se le hizo un acondicionamiento con el fin de retirar material orgánico dañado y asegurar una buena higienización para obtener un almidón de buena calidad. El total de residuos se divide en 34.450 Kg de residuos de yuca y 38.150 kg de residuos de plátano.

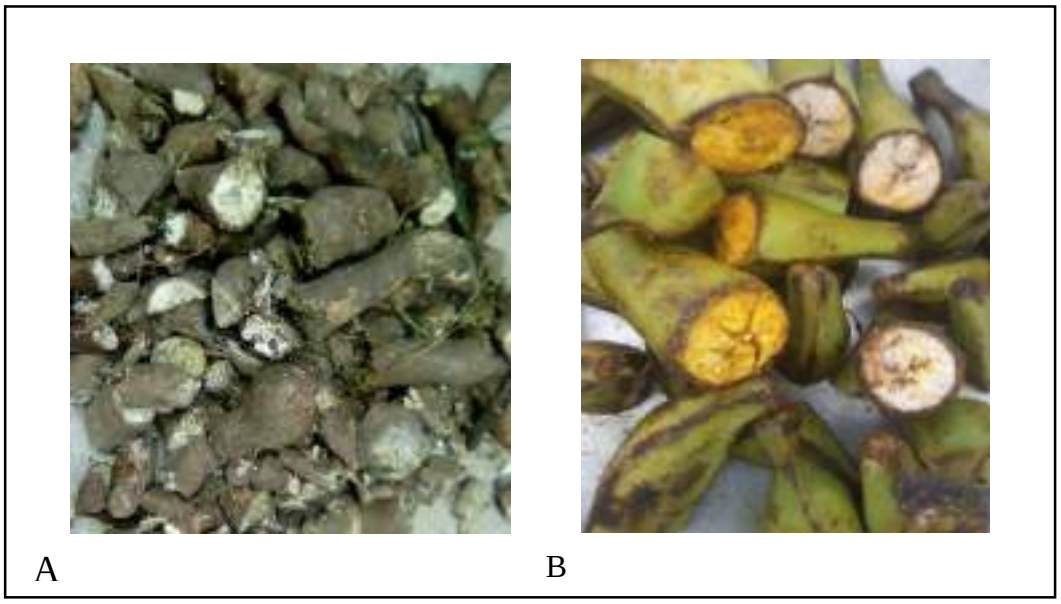


Figura 6.Limpieza de la materia prima.(A)residuos de yuca. (B) residuos de plátano. Los autores, 2018

8.4.2 Proceso de extracción

La materia prima fue trasladada al centro de investigación y desarrollo de ingenierías (C.I.D.I) ubicado en la Universidad Popular del Cesar en la facultad de Ingenierías y Tecnológicas, en donde se realizó la extracción del almidón; para ello se siguieron las técnicas y procedimientos utilizados por el método húmedo en el cual se describe un proceso estandarizado de almidón; a esta técnicas se le realizaron las modificaciones pertinentes para efectuar la extracción de los almidones de yuca y plátano. Estas modificaciones fueron, el empleo de un molino artesanal para la reducción del tamaño y la utilización de un colador para eliminar la fibra presente en la lechada del almidón.

8.4.3 Limpieza

Los residuos (yuca y plátano) fueron sometidos a lavado por aspersión con la ayuda de un cepillo de cerdas plásticas y una esponja rustica, para facilitar la eliminación de los materiales extraños que se hayan adherido en su recolección.

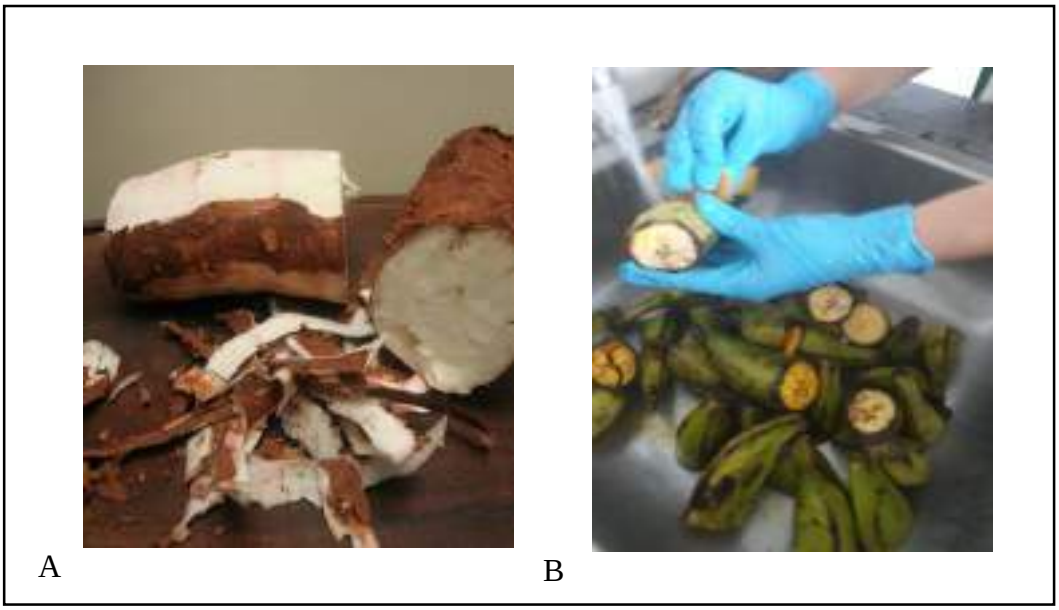


Figura 7.limpieza de la materia prima. (A)Yuca (B) Plátano. Fuente. Los autores, 2018.

8.4.4 Adecuación

Una vez limpia la materia prima se procedió a retirar partes botánicas de ellas que se encontraban en descomposición, al igual que las cascaras, las cuales podrían contaminar el proceso de extracción.

En la figura 8(A) yuca y 8(B) plátano se muestran los restos de material vegetal que se retiraron de los residuos y en la figura 8(C) y 8(D) se muestran la yuca y el plátano (pulpas) adecuadas para conseguir el proceso de extracción del almidón.

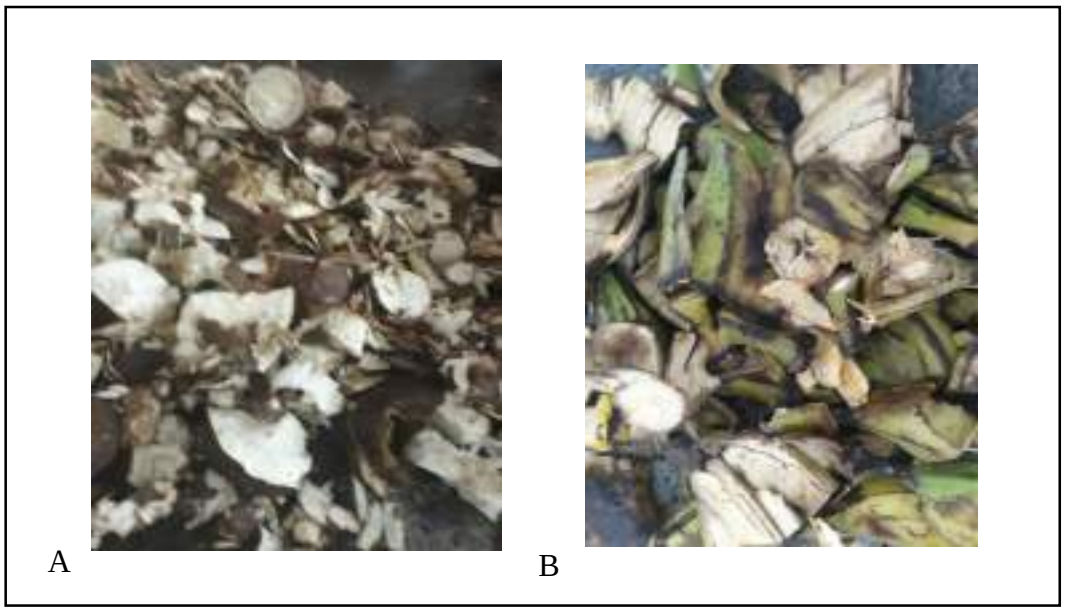


Figura 8.Adecuación de la materia prima.(A) Restos de yuca. (B) resto de platano fuente los autores 2018

Figura 9.Adecuación de la materia prima. (C) pulpa de yuca (D) pulpa de plátano. Fuente los autores 2018

8.4.5 Pesaje

Una vez retiradas las partes botánicas y teniendo la materia prima en adecuado estado para la extracción del almidón se realizó el pesaje tanto de las partes retiradas como de la pulpa para tener los datos disponibles al momento de determinar el rendimiento.

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{W_a}{W_{rf}} \times 100$$

Ecuación 1

Siendo:

Wa: El peso en (kg) del almidón obtenido.

Wrf: El peso en (kg) de sólidos.

8.4.6 Disminución de tamaño en 3 cm.

Para romper con facilidad la fibra del material se realizaron cortes como se muestra en la figura 10; esto se hizo de forma manual con ayuda de una tabla para picar y un cuchillo.

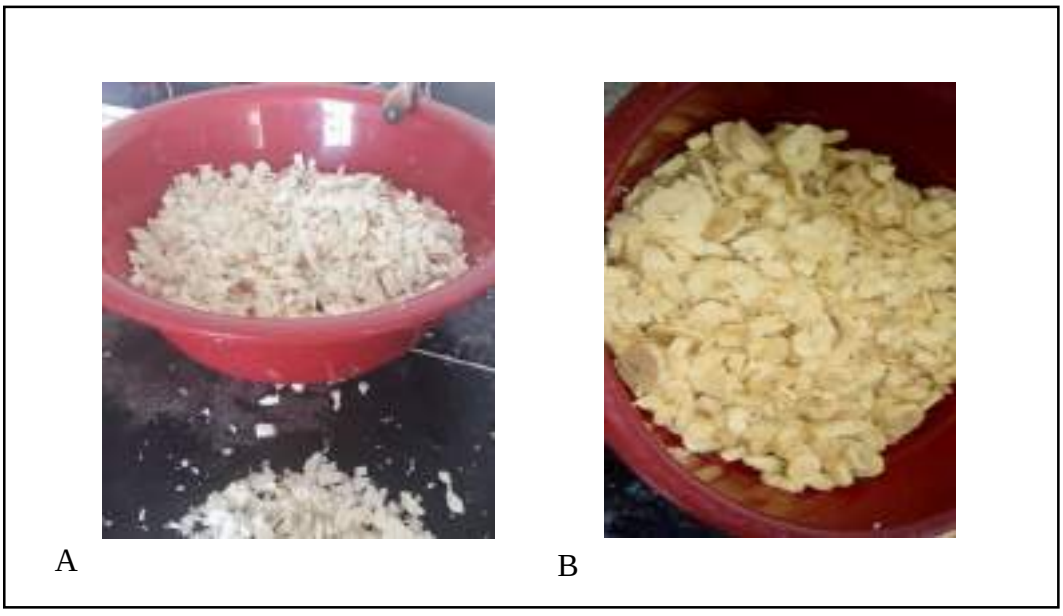


Figure 10.Disminución de tamaño.(A)yuca (B) platano. fuente los autores 2018

8.5 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LA YUCA *(Manihot esculenta)*.Y PLÁTANO *Musa paradisiaca L.)* (Adaptado del método A.O.A.C 930.15/90).

Esta prueba se realizó por triplicado.

8.5.1 Procedimiento.

Se lavaron y pesaron los crisoles vacíos, luego se secaron a 105 °C por 1 hora, después se llevaron al desecador por 30 minutos para pesar posteriormente. El procedimiento anterior se repite hasta obtener peso constante.

- Se pesó 1g de yuca y de plátano, para luego adicionar al crisol previamente seco y pesado.
- El crisol se lleva al horno a temperatura 105°C por 12 horas, después de este tiempo se pasa al desecador por 30 minutos, luego se pesa y se vuelve a llevar al horno por 30 minutos a 105 °C. Este proceso se repite hasta la obtención de peso constante.
- La humedad se determina mediante la siguiente ecuación 2:

$$\boldsymbol{Humedad}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{W_i - W_f}}{\boldsymbol{W_i}} \times \mathbf{100}$$

Ecuación 2.

Dónde:

W_i (peso inicial en, g de la muestra) y W_f (peso final de la muestra seca en, g)

8.5.2 Desintegración del tejido vegetal

Se realizó para romper la celulosa y retirar el almidón incorporado en ella; este proceso se hizo con agua y en un molino artesanal no muy ajustado para no tener tamaños de partículas demasiado pequeñas (para facilitar el tamizado) y de esta forma evitar que en la lechada (agua con almidón), quedaran partes de fibra insoluble. Se debe tener en cuenta que la eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total del almidón en el proceso de la extracción. Si éste no deshace lo suficiente el tejido de la raíz para separar los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento del proceso de extracción es inferior al 4% en el plátano y 18% en la yuca (Alarcon y Col, 1998).

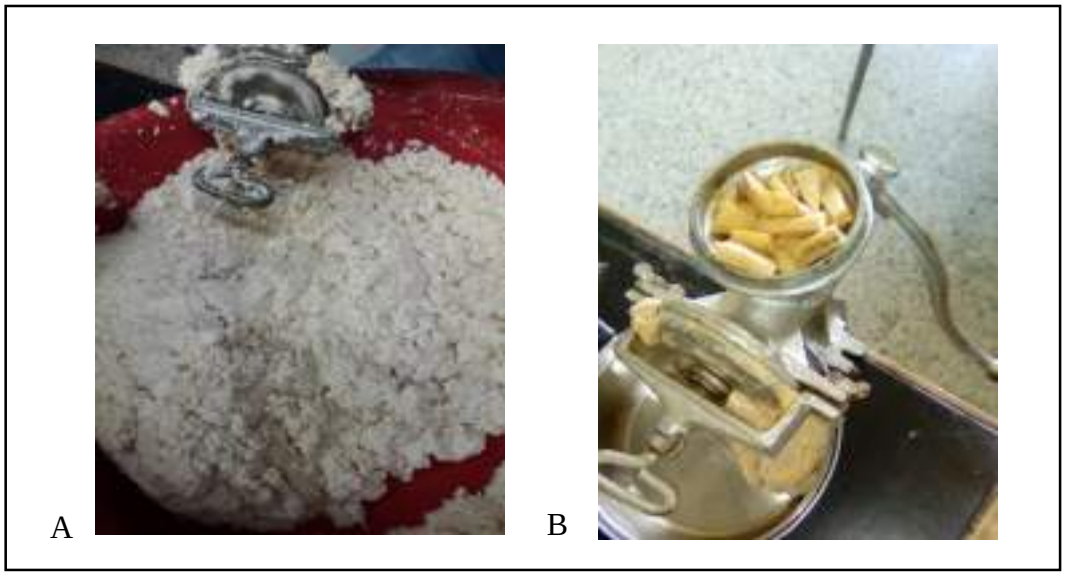


Figura 11.Lechada obtenida en proceso de molienda. Yuca (A) y plátano (B). Fuente los autores 2018

8.5.3 Tamizado

Se realizaron dos tipos de tamizado, el primero fue con un cernedor que presento un tamaño de poros de 1mm, con el cual se retiró la fibra, y para el segundo se utilizó un tamiz de 150 micras para retirar las fibrillas. El tamizado fue un proceso manual de pequeñas cantidades a escala de laboratorio; se realizó trasvasando la lechada de un balde a otro hasta retirar completamente la fibra insoluble como se muestra en la figura 12.

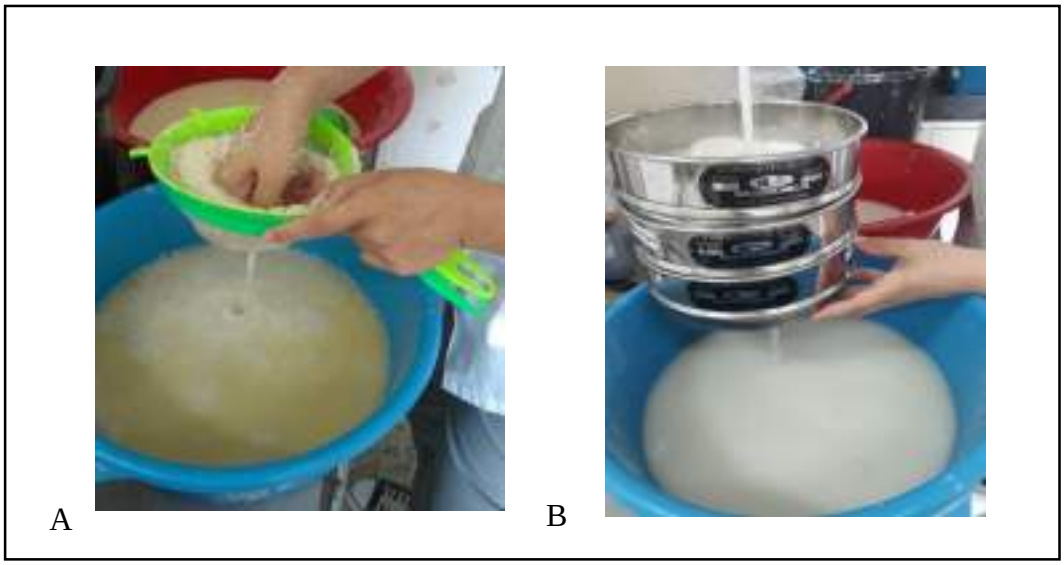


Figura 12. Tamizado de las lechadas de yuca y plátano.(A) cernido de fibra de yuca y plátano (B). Tamizado fibrilla de yuca y plátano. Fuente los autores 2018

8.5.4 Sedimentación

En este paso se dejaron las lechadas sin fibra almacenadas en baldes durante 24 horas, para que el almidón tuviera el tiempo suficiente para decantarse en el fondo como se puede observaren la figura 13. En esta etapa, se separa el componente más denso, el almidón, cuyos gránulos tienen tamaños de 2 a 100 um (Alarcon y Col, 1998).

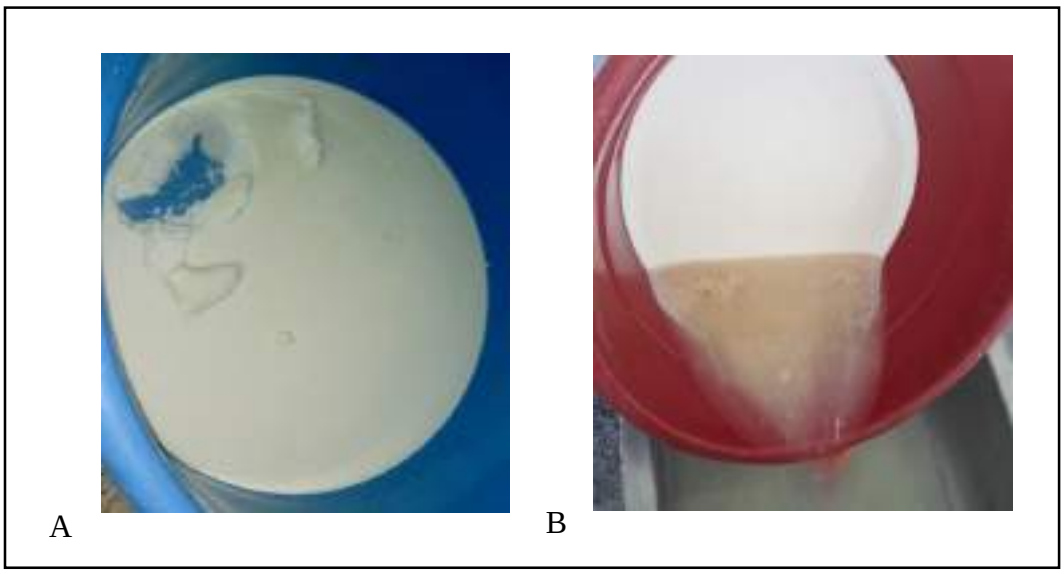


Figura 13..Almidón, producto del proceso de sedimentación. (A) yuca y (B) platano. Fuente. Los autores 2018

8.5.5 Secado

El secado se realizó en bandejas de aluminio con dimensiones de 30x15cm como se muestra en la figura 16 mediante un horno (53 L-BINDER) a 60° c por 24 horas hasta obtener una humedad deseada, teóricamente es recomendable secar el almidón hasta obtener una humedad del 12% a 16% (Alarcon y Col, 1998).

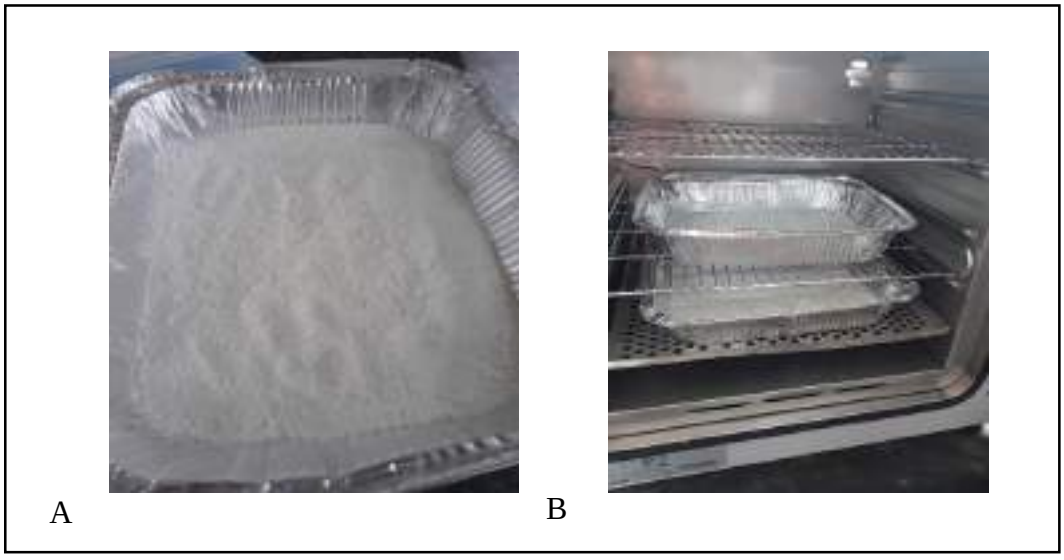


Figura 14.Extendido de los almidones .yuca (A) y (B)platano. Fuente. los autores

8.5.6 Empaque

El empacado del almidón se realizó en bolsas plásticas ziploc de polietileno de alta densidad, en cantidades de 150 gr por bolsa que fueron selladas y luego almacenadas en un sitio fresco y poco húmedo (60%HR).

A

Figura 15.Almidones empacados en bolsa ziploc. Fuente los autores 2018

8.6 CARACTERIZACIÓN DE LOS ALMIDONES OBTENIDOS

8.6.1 Determinación de humedad (Adaptado del método A.O.A.C 930.15/90)

Esta prueba se realizó por triplicado.

8.6.1.1 Procedimiento

Se lavaron y pesaron los crisoles vacíos, luego se secaron a 105 °C por 1 hora, después se llevaron al desecador por 30 minutos para pesar posteriormente. El procedimiento anterior se repite hasta obtener peso constante.

A B

Figura 16.Crisoles vacíos para muestras de almidón .crisol para almidón de yuca (A). Crisol para almidón de plátano (B). Fuente. Los autores 2018

C

D

Figura 17.secado de los crisoles. (C) secado de los crisoles en el horno. (D) resposado de crisoles en el desecador. Fuente. Los autores 2018

- Se pesó 1g de la muestra de almidón de yuca y almidón de plátano, para luego adicionar al crisol previamente seco y pesado.
- El crisol se lleva al horno a temperatura 105°C por 12 horas (como se muestra en la figura 18), después de este tiempo se pasa al desecador por 30 minutos, luego se pesa y se vuelve a llevar al horno por 30 minutos a 105 °C. Este proceso se repite hasta la obtención de peso constante.

A

Figura 18.Crisoles con la muestra de almidón de yuca y plátano. Fuente. Los autores 2018

- La humedad se determina mediante la ecuación 2.

8.6.2 Medición de pH.

La determinación del pH se realizó con la utilización de un pH-metro digital (MOD CHEKER HI-98103) preparando dos soluciones:

a) Se preparó la solución en un balón aforado de 50 ml; almidón de yuca-agua destilada al 5% p/v realizado por triplicado para la obtención del valor del almidón.
b) Se preparó la solución en un balón aforado de 50 ml; almidón de plátano-agua destilada al 5% p/v realizado por triplicado para la obtención del valor del almidón.

A

Figura 19.Balón aforado con almidón de yuca y plátano disueltos para medición de pH. Fuente. Lo autores 2018

8.6.3 Densidad aparente (técnica smith, 1963)

La densidad aparente del almidón se determinó utilizando la forma: almidón suelto

Se pesó una probeta graduada vacía y luego se adiciono cuidadosamente con una espátula la muestra de almidón a la probeta de 100 mL por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado

A

B

Figura 20. Probeta con almidón de yuca (A) Probeta con almidón de plátano (B). Fuente. Los autores 2018

Se determina la densidad aparente mediante la ecuación 3:

Ecuación 3.

$$\boldsymbol{Densidad\ aparente}\ (\frac{\boldsymbol{g}}{\boldsymbol{ml}}) = \frac{\boldsymbol{peso\ probeta}\ (\boldsymbol{g}) + \boldsymbol{almidon\ suelto}\ (\boldsymbol{g}) - \boldsymbol{peso\ probeta\ vacia}\ (\boldsymbol{g})}{\boldsymbol{100\ ml}}$$

8.6.4 Granulometría y tamizado técnica (isi, 1999)

La distribución del tamaño del granulo del almidón se determinó utilizando tamices de la serie Tyler con malla número 10 (2.0µm), 16 (1.18µm) y 30 (0.6µm).

Se pesó cada tamiz y el fondo, vacíos y limpios.

Se pesó 1.208g de la muestra de almidón y se transfirió al tamiz de la parte superior del grupo de tamices.

Se agito el grupo de tamices hasta que la cantidad de almidón que paso a través de la parte superior del grupo de tamices fue insignificante (aproximadamente 10 minutos).

Se continuó de igual forma con los otros tamices hasta que todos fueron removidos.

Se pesó cada uno de los tamices y el fondo con sus respectivas fracciones de almidón.

Figura 21.Almidón retenido en tamiz #10 (A). Almidón retenido en tamiz #10 (B). Los autores 2018

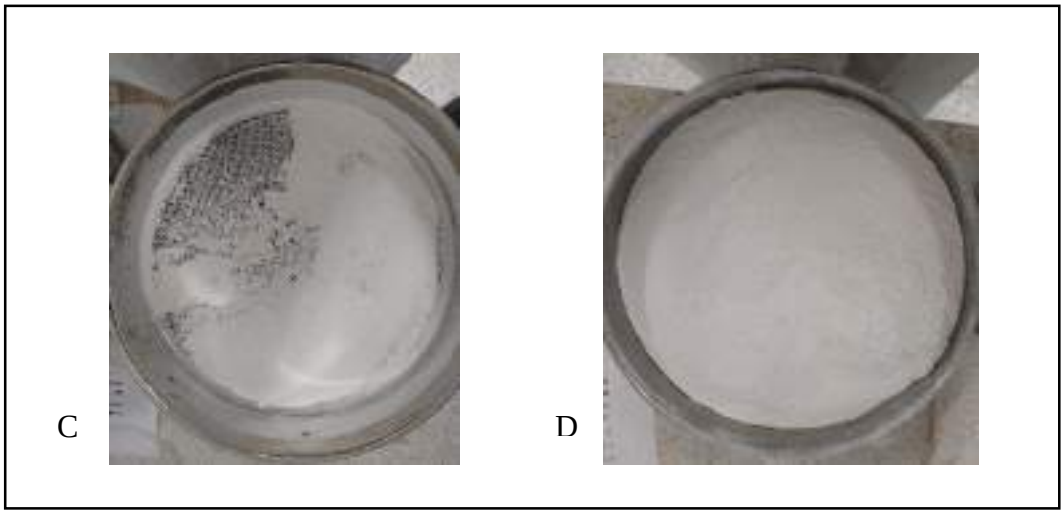


Figure 22.Almidón retenido tamiz # 30. (C) Almidón de tamaño de partícula 0.6 µm (D). Los autores 2018.

8.6.5 Cálculos e interpretación de los resultados

Ecuación 4.

Peso neto individual = (Peso tamiz + fracción de almidón) – Peso de cada tamiz vacío

Gran total = ∑ pesos netos individuales

8.7 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS BIOPELICULA A PARTIR DE MEZCLAS DE ALMIDONES Y PLASTIFICANTE

8.7.1 Descripción

Como se estableció en el diseño experimental para la elaboración de la Biopelicula, se realizaron las mezclas de 100% almidón de yuca, 70% almidón de yuca y 30% almidón de plátano macho, 50% almidón de yuca y 50% almidón de plátano macho, 30% almidón de yuca y 70% almidón de plátano macho y 100% almidón de plátano macho.

La formulación para la elaboración de la biopelicula fueron: 2% (glicerina), 4% (almidón) y 94% (agua) para una mezcla de 200ml (Castañeda, 2012).

8.7.2 Pesaje de los almidones

Se realizó en una balanza analítica [SHS inside Super Hybrid Sensor AND] con una capacidad máxima de 252g. El peso tomado de la formulación fue de 8g que representan el 100% de los almidones para la elaboración del biopelicula en sus diferentes mezclas, almidón de yuca y almidón de plátano macho.

8.7.3 Medición de glicerina y agua

La glicerina fue medida con una pipeta de vidrio de capacidad 5ml (PIREX), en la que se tomó una cantidad de 4ml que correspondió al 2% de la mezcla. En una probeta con graduación de 250ml (AFORA), fueron medidos 188ml de agua, que correspondieron al 94% en la formulación.

8.7.4 Preparación de la solución

La mezcla de los almidones, glicerina y agua, se hizo a temperatura ambiente en un Beaker de 250ml (BOECO GERMANY), con ayuda de un agitador de vidrio manual hasta obtener una solución homogénea. Primero se adiciono el almidón el en vaso, luego se incorporó el plastificante con el cual se humedeció el almidón y por último el agua.

8.7.5 Gelatinización

Este procedimiento se realizó en una [Plancha *IKA® C-MAG HS 7]*. Donde se montó el Beaker a temperatura ambiente, la solución se mantuvo con agitación constante de 150rpm a temperatura de 75- 83°C hasta alcanzar su punto de gelatinización; este proceso duro 20 minutos, donde posteriormente se retira el Beacker de la plancha.

A

Figura 23.Gelatinización de la solución. Fuente. Los autores 2018

8.7.6 Moldeo

La solución gelatinizada se depositó en lámina acrílica lisa de 22 × 28 cm con un espesor de 3 mm. Hasta esparcirla por todo el espacio del molde.

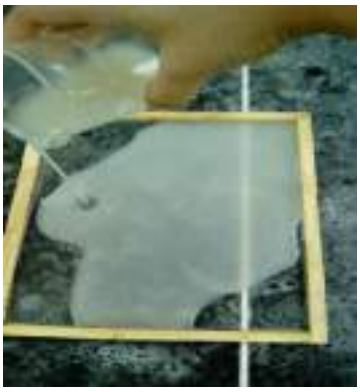
A  B

Figura 24. Adición de la mezcla (A); Esparcimiento de la mezcla (B). Fuente. Los autores 2018

8.7.7 Secado

Las láminas se colocaron con la mezcla gelatinizada en un horno (53 L-BINDER) a temperatura constante de 60°C por 24 horas.

A B

Figura 25. Secado de biopeliculas (A); biopeliculas secas (B). Fuente. Los autores 2018

8.7.8 Separación de biopelicula

Cuando la biopelicula estuvo a temperatura ambiente, se retiró del molde (como se muestra en la figura 24). Para su posterior prueba de biodegradación y tensión.

A B

Figura 26. Retirando la biopelicula del molde (A); Biopelicula completamente retirada (B).Fuente. Los autores 2018

8.8 PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD Y TENSIÓN A LAS DIFERENTES BIOPELICULAS

8.8.1 BIODEGRADABILIDAD

El proceso de biodegradación de las películas se llevó a cabo en diversos ambientes (acuoso, intemperie y solido), en función de dónde finalizó la vida útil del producto.

Esta prueba se realizó por triplicado.

8.8.1.1 Ambiente acuoso

Se seleccionaron 20 muestras de cada mezcla realizada con un peso y tamaño similar; estas fueron sumergidas en 500ml agua salada contenida en recipientes plásticos por un periodo de seis meses de acuerdo a la norma ASTM D6691-01. El seguimiento a las muestras se realizó de manera visual cada 7 días manteniendo el contenido de agua.

8.8.1.2 Ambiente intemperie

Se seleccionaron 20 muestras de cada mezcla realizada con un peso y tamaño similar; estas fueron expuestas a condiciones ambientales naturales en recipientes plásticos por un periodo de seis meses. El seguimiento a las muestras se realizó de manera visual cada 7 días.

8.8.1.3 Ambiente sólido

Se seleccionaron 20 muestras de cada mezcla realizada con un peso y tamaño similar; estas fueron depositadas en recipientes plásticos que contenían arena húmeda por un periodo de seis meses. El seguimiento a las muestras se realizó de manera visual cada 7 días.

A

Figura 27. Diversos ambientes (intemperie, acuoso y solido) (A). Fuente. Los autores 2018

8.8.2 RESISTENCIA A LA TENSIÓN PARA PLASTICOS EN FORMA DE PELÍCULAS

8.8.2.1 Descripción de la muestra

Las muestras correspondientes a cinco (5) materiales en forma de película, se identificaron de la siguiente manera:

- M1 (AP100%)
- M2 (AY100%)
- M3 (AY70%AP30%)
- M4 (AY30%AP70%)
- M5 (AY50%AP50%)

8.8.2.2 Acondicionamiento

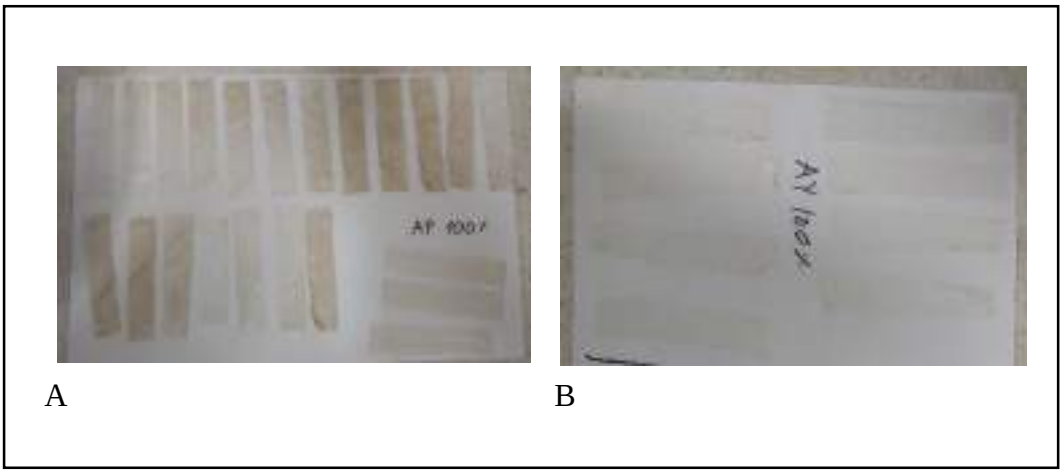
Las muestras fueron almacenadas bajo condiciones de humedad relativa (50±10 %) y temperatura (23±2 °C) constantes.

8.8.2.3 Desarrollo de los ensayos

Las propiedades mecánicas de tensión: resistencia máxima a la tensión (MPa), módulo de elasticidad (MPa) y elongación máxima (%) se midieron siguiendo los parámetros de la norma ASTM D882-10, donde se establece el procedimiento para ejecutar la prueba de tensión en películas. Las condiciones de operación fueron: celda de 500 N, velocidad de cabezal 25 mm/min, velocidad de recolección de datos de 500 puntos/s y distancia entre las mordazas de 50 mm. Las dimensiones de las probetas fueron de 90 mm de largo por 20 mm de ancho. Los espesores de las muestras fueron medidos utilizando un micrómetro.

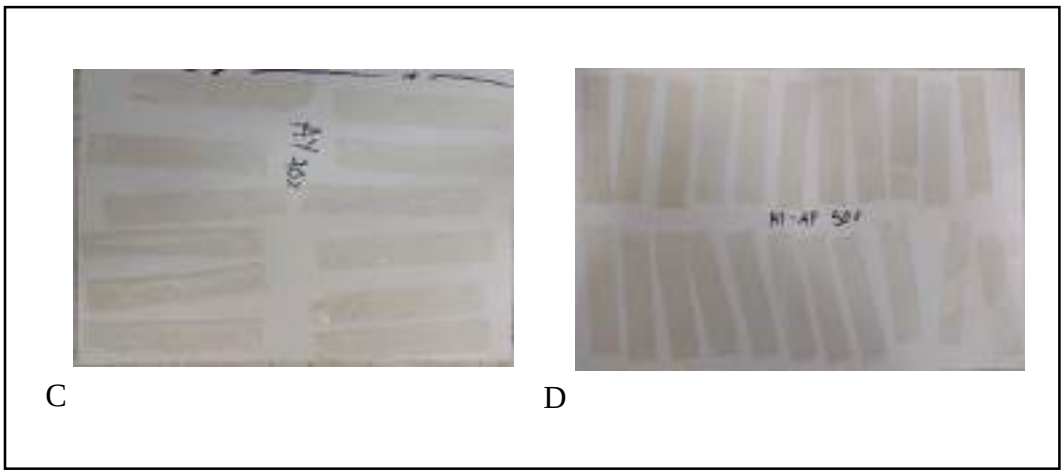
A

Figura 28. Corte de probetas. (A). Fuente. Los autores 2018



A B

Figura 29. Probetas de película 100% AP(A). Probetas de película 100% AY (B). Fuente. Los autores 2018

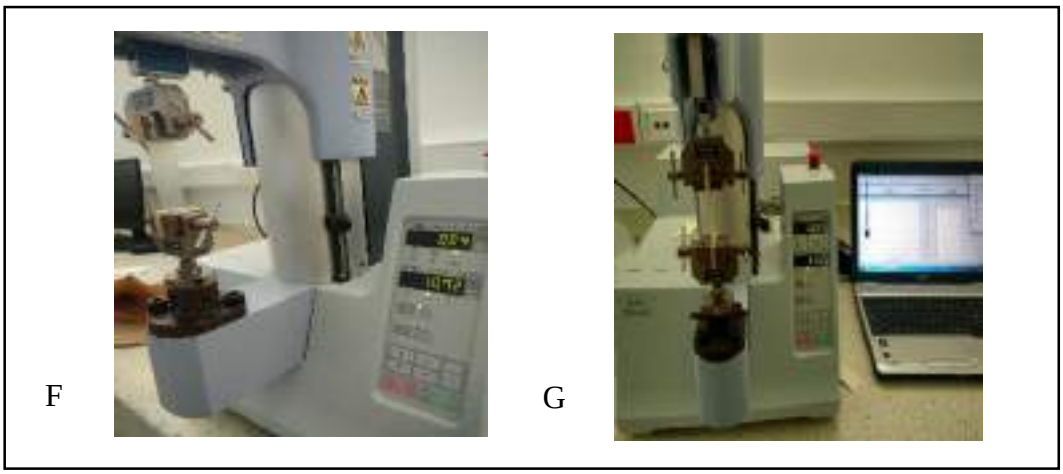


C D

Figura 30 . Probetas de película AY 70% AP 30% (C). Probetas de película AY 50% AP50%.(D). Fuente. Los autores 2018

E

Figura 31. Probeta de película 30% AY 70% AP (E). Fuente. Los autores 2018



F G

Figura 32. Prueba de tensión. Película 100% AY (F). Película 100% AP. Fuente. Los autores 2018

8.9 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño experimental completamente aleatorio con cinco tratamientos (100% almidón de yuca, 70/30 almidón de yuca-almidón de plátano, 50/50 almidón de yuca-almidón de plátano, 30/70 almidón de yuca-almidón de plátano), 100% almidón de plátano, y tres repeticiones aplicado a las pruebas de biodegradabilidad y tensión.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para determinar la diferencia entre los tratamientos. Para el análisis de estudio del resultado se utilizó el software centurion staphargrofi. Se utilizó la prueba Fisher con un nivel de confianza del 95%.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LOS ALMIDONES

Tabla 6.Valores totales y rendimiento base seca de la materia prima.

Materia Prima (M.P)	Humedad MP (%)	Recolección total de residuos en kg	Acondicionamiento (M.P) en kg	Perdida en kg	Almidón obtenido en kg	Rendimiento base seca (%)
Yuca	62,01	34,450	22,425	12,025	5,400	63,38
Plátano	55,3	38,150	23,630	14,520	4,800	45,44
Total	-------	72,6	46,055	26,545	10,2	-------

Fuente. Los autores 2018

En la tabla 7 se muestran los resultados del proceso de extracción de almidón para cada una de las materias primas utilizadas. El rendimiento de almidón de yuca *(manihot esculenta)* y almidón plátano macho *(musa paradisiaca l),* se determinó utilizando la ecuación 1 (Garcí y Col, 2013). Se obtuvo un rendimiento de 63,38% en base seca para el almidón de yuca y 45,44% en base seca para el almidón de plátano. Estos datos están un poco por debajo de los reportados por (Monsalve y Col, 2010) para yuca, que reportaron un rendimiento de 76,43% base seca y (Flores y Col, 2013) para el plátano, que obtuvieron un rendimiento de entre 55 y 65% base seca. Esta pequeña variación se debe en parte a las pérdidas generadas durante cada una de las operaciones llevadas a cabo durante el proceso de extracción y por las consecuentes diferencias en el contenido de almidón de una materia prima a otra, que depende de las condiciones de cultivo (régimen de lluvias, composición del suelo, entre otros).

Durante el acondicionamiento de la materia prima se produjo una pérdida de material de aproximadamente 35% para la yuca y 38% para el plátano, debido a que se trataba de material de desecho con un alto grado de descomposición. La humedad inicial de la materia prima fue de 62,01% para la yuca y 55,3% para el plátano. Estos valores son similares a los reportados por (Monsalve et al, 2010) para yuca que fue de 66,7% y (Flores y Col, 2013) para plátano que fue de 49,7%.

9.1.1 Prueba de humedad

Tabla 7. Humedad de los almidones

Producto variable	Almidón de yuca	Almidón de plátano	Referencia almidón de yucca	Referencia almidón de plátano
Humedad (%)	9%	8%	9.4% *Hernández y col, 2008*	8.7% *Montoya y col, 2014*

Fuente. Los autores (2018).

En relación a las características del almidón, el contenido de humedad para la yuca *(Manihot esculenta)* fue del 9%, este resultado está acorde con la información reportada por (Hernández et al 2008), que fue del 9.4%. La humedad del almidón de Plátano macho *(Musa paradisiaca L)* fue 8%, resultado similar al contenido de humedad 8.7% reportado por (Montoya y Col, 2014). Como se muestra en la 8 la humedad de los almidones se encuentra dentro de los rangos reportados por la literatura.

9.1.2 pH

Tabla 8.Resultado de pH de los almidones.

Producto variable	Almidón de yuca	Almidón de plátano	Referencia almidón de yucca	Referencia almidón de plátano
pH	6,2	6,4	6,0-6,5 FAO, 2007	6,0-6,4 Quiceno y col, 2014

Fuente. Los autores 2018.

Como se observa en la tabla 9 el pH de ambos almidones se haya dentro de los rangos reportados por la literatura para este tipo de almidones nativos.

9.1.3 Granulometría y tamizado

Los almidones presentaban diferentes tamaños de partícula, por lo que la totalidad del producto se pasó por varios tamices para obtener las diferentes fracciones.

Se logró que de 1.255,8 gramos de almidón de yuca 13.9 % quedará retenido en el tamiz # 10 (2.0mm), el 22.8 % en el tamiz #16 (1.18mm), el 14.2 % en el tamiz #30 (0,6mm) y el 49.1% pasara a través del tamiz #30 Serie Tyler. La granulometría representativa del almidón de yuca obtenido fue de 600 µm dado que la mayor cantidad de almidón (49,1%) pasó a través del tamiz # 30, un valor bajo comparado con el reportado por (FAO, 2007), que reporta una granulometría para el almidón de yuca de 95% de gránulos menor a 106 µm. Esta diferencia en la granulometría con la reportada por la literatura se debe a un deficiente proceso de molienda, en el cual no se logró reducir adecuadamente el tamaño de partícula, dadas las condiciones artesanales en las que se llevó a cabo.

Se logró que de 1.208,6 gramos de almidón de plátano 16.4 % quedará retenido en el tamiz # 10 (2.0mm), el 14.6 % en el tamiz #16 (1.18mm), el 7.6 % en el tamiz #30 (0.6mm) y el 61.4% pasara a través del tamiz #30 Serie Tyler. Se puede observar que la granulometría del almidón obtenido está por debajo de 600 µm, dado que la mayor cantidad de almidón (61,4%) pasó a través del tamiz # 30, valor por debajo del reportado por (Quiñonez, 2013) en el que la granulometría es menor a 100 µm, con un porcentaje de aproximadamente 99%, diferencia provocada por una inadecuada molienda.

9.1.4 Densidad aparente

Se realizó de acuerdo a la metodología propuesta, sin embargo se hizo con probeta de 100 ml.

Tabla 9.Densidad aparente de almidón de yuca y almidón de plátano.

Almidón	Peso probeta vacía (g)	Peso probeta y almidón (g)	Peso almidón (g)	Densidad aparente (g/ml)
Yuca	109.74	171.18	61.44	0.6144
Plátano	110.05	173.54	63.49	0.6349

Fuente. Los autores 2018.

El valor de densidad aparente para almidón de yuca es más bajo que el reportado por (FAO, 2007), donde se establece un valor promedio de densidad aparente para el almidón de yuca de 1,560 g/ml, esto se debe a que la presencia de una mayor cantidad de partículas finas se asocia con una densidad más alta, por lo que el mayor tamaño de partícula que presento el almidón de yuca obtenido se tradujo en una densidad aparente más baja que la reportada en la literatura (Techeira y Col, 2014).

Para el almidón de plátano la densidad aparente obtenida es similar a la reportada por (Navia et al, 2013) en su estudio de obtención de polímeros a partir del almidón de plátano, en la que obtuvieron una densidad aparente de 0,6176 g/ml, hecho que se debe a las similares condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el proceso de extracción de almidón.

9.2 PRUEBA DE BIODEGRADACIÓN Y TENSIÓN

9.2.1 PRUEBA DE BIODEGRADACIÓN

Tabla 10.Degradación de las biopelículas en diferentes ambientes.

Tratamientos biopelículas	Muestra de biopelícula en ambiente intemperie	Muestra biopelícula en ambiente acuoso	Muestra biopelícula en ambiente solido
	Espesor (mm)/Día	**Espesor (mm)/Día**	**Espesor (mm)/Día**
Blanco de almidón de yuca (AY)	$0.17/70^{a}$	$0.17/\ 14^{a}$	$0.17/\ 49^{a}$
Mezcla 70% AY - 30% AP	$0.19/84^{b}$	$0.19/21^{b}$	$0.19/77^{b}$
Mezcla 50% AY - 50% AP	$0.16/\ 91^{b}$	$0.16/\ 28^{c}$	$0.16/\ 84^{b}$
Mezcla 30% AY- 70% AP	$0.12/\ 119^{c}$	$0.12/\ 35^{d}$	$0.12/\ 91^{c}$
Blanco de almidón de plátano (AP)	$0.16/\ 140^{c}$	$0.16/\ 42^{d}$	$0.16/\ 98^{d}$

Fuente. Los autores 2018.

NOTA: Los superíndices iguales implican que no hay diferencia significativa mientras que superíndices distintos representan diferencias significativas.

En la tabla 11 se observa el proceso de degradación de las diferentes películas a tres diferentes condiciones ambientales. Se observa que todas las películas, en todos los ambientes, se degradan antes de 6 meses cumpliendo con la norma europea EN 13432: 2002 (Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation. Test scheme and

evaluation criteria for the final acceptance of packaging) dado que se trata de un material completamente orgánico.

Figura 33. Proceso de degradación de las diferentes películas. Fuentes. Los autores 2018

Se puede evidenciar que en todos los medios el proceso de biodegradabilidad se desarrolla a mayor velocidad en la película cuyo contenido de almidón es 100% almidón de yuca, manifestando la ANOVA una diferencia significativa de este tratamiento con los demás en todos los medios. Así mismo se observa un aumento en los días necesarios para la biodegradación a medida que se disminuye el porcentaje de almidón de yuca en la formulación, alcanzando el máximo de días en la película que carece de almidón de almidón de yuca, es decir, 100% almidón de plátano.

La variación antes descrita se debe a la diferencia del contenido de amilosa entre el almidón de yuca y el almidón de plátano. El contenido de amilosa y amilopectina para la yuca se encuentra entre 16-20% y 79-83%, respectivamente (Guevara et al, 2016). El contenido de amilosa y amilopectina del plátano se encuentran entre 20-27% y 73-81%, respectivamente (Agama, 2015). Al aumentar el contenido de amilosa del almidón utilizado, la biopelicula se hace más resistente, lo que incrementa el tiempo de degradación.

Las muestras biodegradas en ambiente acuso presentaron una degradación más acelerada al descomponerse en un rango de entre 14 y 42 días para cada uno de los tratamientos, , seguida por la descomposición en medio solido (que abarco entre 49 y 98 días para cada uno de los tratamientos). El proceso de degradación a la intemperie fue el que se desarrolló más lentamente (abarcando entre 70 y 140 días) aunque no presenta diferencia significativa con el medio sólido. Esto se debe a la capacidad que tienen los gránulos para absorber agua, que es

determinante para la biodegradación, debido que al aumentar la capacidad del polímero para absorber agua, se facilita la acción de las enzimas que son capaces de convertir el polímero en fragmentos más pequeños y asimilables por los microorganismos presentes en el medio (Ruiz, 2005)

9.2.2 PRUEBA DE TENSIÓN

Tabla 11.Prueba de tensión para cada biopelicula.

MEZCLA	Espesor (mm)	Elasticidad (MPa)	Max_Force (N)	Resistencia (MPa)	Alargamiento (mm)
100%AY	0.17±0.05	204.85$^{\mathbf{a}}$ ±106.719	2.63^{a}±1.03	17.83^{ab}±11.99	17.96^{a}±6.69
70%AY-30%AP	0.19±0.01	185.32$^{\mathbf{a}}$±19.19	2.80^{ab}±0.4834	14.24^{a}±1.87	17.47^{ab}±7.79
50%AY-50%AP	0.16±0.03	206.76$^{\mathbf{a}}$ ±43.95	2.88^{ab}±0.81	17.63^{ab}±3.44	15.60^{ab}±4.81
30%AY-70%AP	0.12±0.02	296.69$^{\mathbf{b}}$±72.29	2.19^{a}±0.91	17.74^{ab}±6.67	12.43^{b}±4.49
100%AP	0.16±0.048	297.12$^{\mathbf{b}}$±105.57	3.86^{b}±2.49	21.37^{b}±8.63	12.75^{b}±4.06

Fuente. Los autores 2018.

NOTA: Los superíndices iguales implican que no hay diferencia significativa mientras que superíndices distintos representan diferencias significativas.

La tabla 12 muestra la prueba de tensión para cada uno de los tratamientos, en la que se observan diferencias significativas entre los tratamientos, especialmente el tratamiento 100% AP, que presenta los mayores valores en cada uno de los ítems (elasticidad, Max Force, resistencia). Así mismo, se observa una disminución de la resistencia a la tensión a medida que disminuye el contenido de almidón de plátano. Esto se debe al mayor contenido de amilosa del almidón de plátano 20-27% comparado con el almidón de yuca 16-20% (Guevara et al, 2016) (Agama, 2015) lo que conlleva que esta formulación presente una mayor resistencia.

Se observa que el tratamiento 70%AY-30%AP fue el que presento los menores valores de desviación estándar para la mayoría de los ítems evaluados, lo que indica valores relativamente constantes, en comparación con los demás tratamientos para cada prueba. En el mismo sentido, se observan elevados valores de desviación estándar en el tratamiento 100%AY para la mayoría de la pruebas.

9.3 TRATAMIENTO ÓPTIMO PARA ELABORACIÓN DE LA BOLSA.

De la ANOVA se deduce que los tratamientos 70%AY-30%AP y 50%AY-50%AP no presentaron diferencias significativas en ninguna de las pruebas realizadas. De igual forma, estos materiales son los que mejor comportamiento mostraron, teniendo en cuenta la resistencia a la tensión y la buena apariencia física que presentaron. Una vez con la película 70%AY-30%AP se realizó el corte manual con tijera del tamaño deseado y se procedió a sellar manualmente con una empacadora Oster V2240 que maneja temperatura estándar. Para que las bolsas no se pegaran se les adiciono un poco de almidón e polvo para disminuir la pegajosidad de las películas al momento de elaborar las bolsas, por esto su apariencia en el color varia.

A

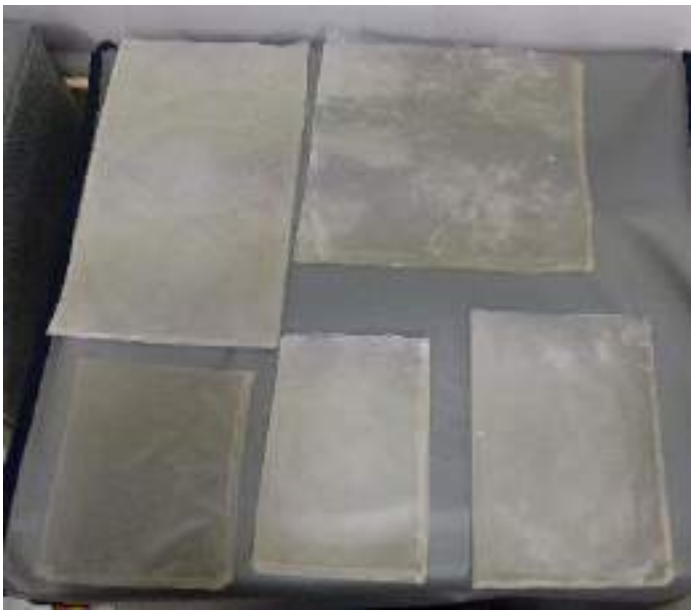


Figura 34.Bolsas plásticas biodegradables en diferentes formas y tamaños (A).Fuente. Los autores 2018

.

La elasticidad obtenidos (184-300 Mpa) se asemejan a los reportados por (Álvarez, 2016) que obtuvo resultados de entre 220 y 330 Mpa en su estudio Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxialcanoatos De igual forma, los valores de Max Force (2,19-3,86 N) son similares a los reportados por (Ruiz, 2005) que obtuvo resultados en esta prueba de entre 2,5- 4 N en su estudio obtención y caracterización de un polímero de almidón de yuca.

La resistencia de cada una de las películas obtenidas varía entre 14 y 21 N, valores mayores a los obtenidos (Navia y Col, 2014) en su estudio evaluación de propiedades físicas de

bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca 7 y 12 N. Esta diferencia se debe a que al utilizar harina de yuca el porcentaje de almidón es menor, lo que conlleva una disminución de la resistencia de la biopelicula.

A

B

Figura 35.Bolsas plásticas con productos en su interior. Alimentos (A) Pastillas (B). Fuente. Los autores 2018

C

D

Figura 36. Bolsas plásticas con productos en su interior. Alimentos (C) Velas (D). Fuente. Los autores 2018

10 CONCLUSIONES

Los rendimientos de almidón de yuca y plátano obtenidos son altos, alcanzando valores de 63,38% y 45,44% en base seca respectivamente, contando además con una baja humedad, un pH cercano a la neutralidad.

Todas las películas producidas, que contienen almidón en su formulación, son biodegradables de acuerdo a lo establecido en la norma europea EN 13432: 2002, dado que el tiempo de biodegradación es inferior a seis meses para cada uno de los tratamientos evaluados.

El contenido de amilosa y la resistencia a la tensión son directamente proporcionales, dado que al aumentar el contenido de amilosa en el almidón utilizado se incrementa la resistencia del material obtenido, por tal razón el uso de almidón de yuca cumple la mejor opción frente al almidón de plátano para la elaboración de películas biodegradables.

Los tratamientos 70%AY-30%AP y 50%AY-50%AP, teniendo en cuenta la resistencia a la tensión y la buena apariencia física que presentaron, son las mejores opciones para elaborar bolsas biodegradables.

11 RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio del contenido de amilosa y amilopectina de los almidones estudiados, para evaluar su influencia en las características de los materiales obtenidos.

2. Estudiar el contenido de metales pesados de los residuos generados durante el proceso de biodegradación de los materiales elaborados.

3. Llevar a cabo un estudio de la producción de CO_2 durante la descomposición del material para analizar mejor el proceso de biodegradación de las biopeliculas.

4. Efectuar pruebas de permeabilidad de oxígeno y vapor de agua de la biopeliculas producidas con el fin de determinar su viabilidad para ser utilizado como material de embalaje de alimentos y otros materiales.

5. Evaluar el comportamiento por termoformación de la biopelícula con mejor resistencia a la tensión, por medio de una maquina extrusor

12 BIBLIOGRAFÍA

Agama Acevedo, E.; Bello-Pérez, L. A.; Pacheco Vargas, G.; Evangelista-Lozano, S. (2015). ESTRUCTURA INTERNA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN DE PLÁTANO MEDIANTE GELATINIZACIÓN QUI´MICA SUPERFICIAL: PROPIEDADES MORFOLÓGICAS, FISICOQUÍMICAS Y MOLECULARES. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 14, núm. 1, pp. 73-80

Alarcon, P & Dufor, F. (1998). Estudio de la modificación de almidón de yuca (manihot esculenta) por reacción con el ácido láctico., Articulo presentado en XIV congreso Colombiano de Química.

Andersen, P.J. (2001). Starch based composition having uniformly dispersed fibers used to manufacture high strength article having a fiber-reinforced, starch –bound cellular matrix - U.S patent 5,679,145 – p 53

AOAC. 2000. Nitrogen (total) of flour. Association of Analytical Chemists International (AOAC). 7 ed. MD, Estados Unidos de América.

Ardila, D., Oliver, R., Estrany, F. (2012). Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente. *Técnica Industrial*, Vol. 297, 76-8076

Aristisábal, J., & Sánchez, T., (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *BOLETÍN DE SERVICIOS AGRÍCOLAS DE LA FAO*. No 163.

Castro, F. (2012). Producciòn de biopeliculas microbianas. *Revista de Biotecnologìa*, *21*(2), 625–630.

Castañeda, R. (2012). Introducción a la química de los polímeros. 2 ed. Barcelona (España): Reverté S.A., 716 p

Castells, T. (2016). Starch-based nano-biocomposites. Progress in Polymer Science, 38(10-11), 1590-1628.

Ceballos, H. y Ospina, B (2002) . La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. *CIAT*. Cali, Colombia. Pp 26 – 586.

Cheng, G., Duan, X., Sun, J., Yang, S., & Yang, B. (2009). Modification of hemicelluloses polysaccharides during ripening of post-harvest banana fruit. Food chemistry. 115, 43-47

FAO (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca. Disponible en http://www.fao.org/documents/show_ cdr.asp?url_file=/docrep/t0395s/t0395s00.htm.

Flores, E., García, F., Nuñez, M., Gonzalez, R., Bello, L. (2007). Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalaínas. *Acta científica venezolana.* No 55, 86-90.

Flores, B., Ochoa, Emilio., Ornelas, J., Tirado, M., Bello, A., Rubio, A., Cárdenas, G. (2007). Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano. *Agrociencia*. 49 (5), 483-498.

Fritz H. (1994). Study of Production of Thermoplastics and Fibers based mainly on Biological Material. *European commission*. P. 15-19.

García, O., Pinzón, M., Sánchez, L. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, Manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA.* VoL. 11, No. 1, p. 13-21

Guevara, C., Robles, V., Leòn, L., & Pupo, N. (2016). INFLUENCIA DE LA RELACIÓN AMILOSA/AMILOPECTINA EN LA RESISTENCIA DE LOS ADHESIVOS ELABORADOS A PARTIR DE ALMIDONES NATIVOS DE YUCA Y ÑAME Influence. *CITECSA*, *7*, 25–37.

Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., Betancour, D.(2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos.* 28(3), 718-726

.Hernández R., Fernández C., y Baptista P. (2000). Metodología de la investigación. 2da. Edición. Mc Graw Hill, México.

ISI. (1999). Determination of starch size distribution by screening. ISI 32-1e. *Laboratory methods.* Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). (disponible en http://www.starch. dk/ isi/methods/index.htm).

Jaramillo, M., Castrillón, A., Gallego, J. (2011). DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA IMPULSAR EL CULTIVO MASIVO Y TECNIFICADO DE LA YUCA EN COLOMBIA COMO PRODUCTO SUSTITUTO DEL MAÍZ EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS

BALANCEADOS PARA LA INDUSTRIA PECUARIA. *UNAL*. P, 23

Manjarres, D. (2017). Estudio de la generaciòn de residuos en diferentes plazas mayoristas. *Temas Agrarios*, *15*(21). https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196

Mathew, P. (2002). Plasticized waxy Maize starch: Effect of Polyols and Relative Humidity on Material Properties. *Macromolecules*. Vol 3, p 1101-1108.

Medina, A. (2017). Boletín Técnico Informativo N° 21 Degradación de los Materiales Plásticos. *LASTIVIDA*, *3*(2).

Melo, D., Torres, Y., Serna, J., & Torres, S. (2015). APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO (Musa paradisiaca spp) PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 76-85.

Meneses. (2007). ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL ALMIDÓN DE YUCA (Manihot esculenta) RODRÍGUEZ MENDOZA ELVIN DANIEL TUTORA : *ESPAMMFL*, *2*(2), 78–89.

Menoscal. (2017). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Nota Científica . Mex.Núm. Especial*, *35*(5), 61–67. Retrieved from https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/35-3_Especial_5/11a.pdf

Meré, J. (2009). ESTUDIO DEL PROCESADO DE UN POLÍMERO TERMOPLÁSTICO BASADO EN ALMIDÓN DE PATATA AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE.

Meza-Nieto, M. A., González-Córdoba, A. F., Becerril-Pérez. C. M., Ruiz-López, F., Díaz-Rivera, P., & Vallejo-Córdoba, B. (2010). Genetic Polimorphism of β-Lactoglobulin in cow's milk of Holstein and Tropical Milking Criollo. Agrociencia, 44(5), 531-53

Monsalve, J., Medina, V., & Ruiz, A. (2006). BANANO Y DE ALMIDÓN DE YUCA ETHANOL PRODUCCTION OF BANANA SHELL AND CASSAVA STARCH. *Dyna*, *73*, 21–27.

Navia, D. & Bejarano, N. (2014). EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE BIOPLÁSTICOS TERMO-COMPRIMIDOS ELABORADOS CON HARINA DE YUCA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Vol 12 No. 2 (40-48).

Palma-rodríguez, H., Salgado-delgado, R., & Páramo-calderón, D. (2017). Caracterización

parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *ACTA UNIVERSITARIA*, *27*(1), 26–33. https://doi.org/10.15174/au.2017.1215

Pascual, R. (2016). Influence of the oxidation and acetylation of banana starch on the mechanical and water barrier properties of modified starch and modified starch/chitosan blend films. Journal of Applied Polymer Science, 115(2), 991-998

Pelissari, F. M., Andrade, M. M. M., Sobral, A. P. J., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (Musa paradisiaca). Food Hydrocolloids, 30(2), 681-690.

Peñaranda, O., Perilla, J., Ernesto, A., Ariel, N. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Ingeniería e Investigación*. Vol. 28, núm. 3, pp. 47-52

Perez, S. y Bertof, E. (2010). The molecular structures of starch component and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. Starch/Sta¨rke 62, 389-420.

QUICENO, E., ZAZUETA, J., JIMÉNEZ, O. and MARTÍNEZ, F. (2014). Mechanical and structural properties of expanded extrudates produced from blends of native starches and natural fibers of henequen and coconut. Starch – Stärke, 59(11), p. 533-542

QUIÑONEZ, D., VILLADA, H., y AYALA, A. (2013). Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, Ed especial No. 2, p. 77-84.

Ruiz, G. (2005). POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *ICIPC*, *4*(8).

Ruiz, G., Montoya, C., Panuagua, M. (2009). DEGRADABILIDAD DE UN POLÍMERO DE ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA.* Número 12, p. 67-78.

Smith, R.J. (1967). Characterization and analysis of starches. *Chemistry and Technology*. Vol II. Industrial Aspects. New York, Academia Press. p 593.

Soto, T., Caltzontin, K., Perez, V., Bravo, P. (2014). PREPARACIÓN DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE TRIGO.

Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A., Sosa, F. (2014) Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes

variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), batata (Ipomoea batatas Lam) y ñame (Dioscorea alata), cultivadas en Venezuela., vol. 39, núm. 3, pp. 191-197

Van Soest, J, J.(1996). Mechanical properties of thermoplastic waxy maize starch. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol 61, p 1927-1937

Zabaleta-Flores, P.B. y Bello-Perez, L.A. (2016). Elaboración y caracterización de películas de glicoproteínas obtenidas mediante reacción de Maillard utilizando almidón acetilado y aislado proteico de suero lácteo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12, 401-413

13 ANEXOS

13.1 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para elasticidad por mezcla de almidón

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 – 2		19,525	69,6729
1 – 3		-1,9157	69,6729
1 – 4	*	-94,841	69,6729
1 – 5	*	-92,274	69,6729
2 – 3		-21,4407	69,6729
2 – 4	*	-114,366	69,6729
2 – 5	*	-111,799	69,6729
3 – 4	*	-92,9253	69,6729
3 – 5	*	-90,3583	69,6729
4 – 5		2,567	69,6729

* indica una diferencia significativa.

13.2 **Anexo.** Pruebas de Múltiple Rangos para Max Force por mezcla de almidón

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		0,4861	5,18427
1 - 3		2,349	5,18427
1 - 4	*	5,527	5,18427
1 - 5	*	5,208	5,18427
2 - 3		1,8629	5,18427
2 - 4		5,0409	5,18427
2 - 5		4,7219	5,18427
3 - 4		3,178	5,18427
3 - 5		2,859	5,18427
4 - 5		-0,319	5,18427

* indica una diferencia significativa.

13.3 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para alargamiento por mezcla de almidón

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		3,593	6,72049
1 - 3		0,198	6,72049
1 - 4		0,091	6,72049
1 - 5		-3,545	6,72049
2 - 3		-3,395	6,72049
2 - 4		-3,502	6,72049
2 - 5	*	-7,138	6,72049
3 - 4		-0,107	6,72049
3 - 5		-3,743	6,72049
4 - 5		-3,636	6,72049

* indica una diferencia significativa.

13.4 Anexo. Pruebas de Múltiple Rangos para resistencia por mezcla de almidón

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,328	1,21642
1 - 3		-0,421	1,21642
1 - 4		0,273	1,21642
1 - 5	*	-1,395	1,21642
2 - 3		-0,093	1,21642
2 - 4		0,601	1,21642
2 - 5		-1,067	1,21642
3 - 4		0,694	1,21642
3 - 5		-0,974	1,21642
4 - 5	*	-1,668	1,21642

* indica una diferencia significativa.

13.5 Anexo. Resultados de la medición de tensión de las biopelículas.

Nombre:	Espesor	Elasticidad	Max_Force	Resistencia	Alargamiento	Alargamiento
Unidad de longitud	mm	MPa	N	MPa	mm	%
AP100% - 1	0,1057	209,132	2,6825	25,3784	10,64000	21,28
AP100% - 2	0,1580	161,019	1,4550	9,2089	8,596999	17,19
AP100% - 3	0,1367	232,213	2,0550	15,0329	13,51133	27,02
AP100% - 4	0,1260	300,528	2,4825	19,7024	12,89633	25,79
AP100% - 5	0,1158	233,042	1,5650	13,5147	8,594999	17,19
AP100% - 6	0,2108	344,778	5,8125	27,5735	16,78500	33,57
AP100% - 7	0,2052	327,400	5,3650	26,1452	19,65300	39,31
AP100% - 8	0,1702	236,118	2,2275	13,0875	7,773334	15,55
AP100% - 9	0,2286	422,128	6,2575	27,3731	11,87033	23,74
AP100% - 10	0,2383	504,900	8,7600	36,7604	17,19133	34,38
PROMEDIO	**0,1695**	**297,126**	**3,8663**	**21,3777**	**12,75127**	**25,50**
DESVIACION	**0,0486**	**105,570**	**2,4965**	**8,6371**	**4,06562**	**8,13**
AY100% - 1	0,2144	141,586	4,1275	19,2514	27,21467	54,43
AY100% - 2	0,2408	166,918	3,6925	15,3343	28,23433	56,47
AY100% - 3	0,2012	135,124	2,7775	13,8047	19,84500	39,69
AY100% - 4	0,1946	146,343	2,0025	10,2903	18,62867	37,26
AY100% - 5	0,1641	302,955	2,2650	13,8026	14,12267	28,25
AY100% - 6	0,1778	126,642	2,4775	13,9342	20,46600	40,93
AY100% - 7	0,1869	84,2837	0,9450	5,0562	8,18367	16,37
AY100% - 8	0,0610	400,160	1,3075	21,4344	8,59200	17,18
AY 100% - 9	0,0721	347,305	3,5675	49,4799	18,41500	36,83
AY 100% - 10	0,2007	197,193	3,1975	15,9317	15,96000	31,92
PROMEDIO	**0,1714**	**204,851**	**2,6360**	**17,8320**	**17,96620**	**35,93**
DESVIACION	**0,0590**	**106,719**	**1,0399**	**11,9916**	**6,69792**	**13,3958**
AY70% AP30% - 1	0,2042	195,640	3,4700	16,9931	38,47433	76,95
AY70% AP30% - 2	0,1905	199,509	3,1675	16,6273	19,03033	38,06
AY70% AP30% - 3	0,2281	210,455	3,6575	16,0346	17,80467	35,61
AY70% AP30% - 4	0,1991	185,894	2,7975	14,0507	13,50833	27,02
AY70% AP30% - 5	0,1681	153,162	2,2350	13,2957	12,27300	24,55
AY70% AP30% - 6	0,1875	193,486	2,6700	14,2400	13,50733	27,01
AY70% AP30% - 7	0,2179	163,687	2,4175	11,0945	11,24967	22,50
AY70% AP30% - 8	0,1849	200,170	2,3275	12,5879	15,14033	30,28
AY70% AP30% - 9	0,1951	161,531	2,5300	12,9677	17,18333	34,37
AY70% AP30% - 10	0,1880	189,722	2,7275	14,5080	16,56800	33,14
PROMEDIO	**0,1963**	**185,3256**	**2,8000**	**14,2400**	**17,4739**	**34,95**
DESVIACION	**0,0172**	**19,1907**	**0,4834**	**1,8780**	**7,7971**	**15,59**
AY50% AP50% - 1	0,1996	176,945	4,1225	20,6538	17,18600	34,37
AY50% AP50% - 2	0,1509	179,763	3,0075	19,9304	17,58700	35,17
AY50% AP50% - 3	0,1229	219,727	2,6100	21,2368	18,20967	36,42
AY50% AP50% - 4	0,2022	156,645	3,4925	17,2725	18,20500	36,41
AY50% AP50% - 5	0,1143	268,542	1,1800	10,3237	7,36300	14,73

AY50% AP50% - 6	0,1356	264,070	2,2550	16,6298	14,52467	29,05
AY50% AP50% - 7	0,2032	243,095	2,8000	13,7795	10,02200	20,04
AY50% AP50% - 8	0,1504	189,388	3,1075	20,6616	16,35833	32,72
AY50% AP50% - 9	0,1448	143,528	2,6750	18,4738	12,26700	24,53
AY50% AP50% - 10	0,2088	225,961	3,6300	17,3851	24,34400	48,69
PROMEDIO	**0,1633**	**206,766**	**2,8880**	**17,6347**	**15,60667**	**31,21**
DESVIACION	**0,0364**	**43,954**	**0,8131**	**3,4439**	**4,81109**	**9,62**
AY30% AP70% - 1	0,1128	219,899	1,5200	13,4752	18,20700	36,41
AY30% AP70% - 2	0,0996	244,292	2,3750	23,8454	14,31533	28,63
AY30% AP70% - 3	0,1026	410,738	2,0425	19,9074	12,68200	25,36
AY30% AP70% - 4	0,1199	407,827	2,4625	20,5379	13,49900	27,00
AY30% AP70% - 5	0,1265	201,109	1,7200	13,5968	7,77200	15,54
AY30% AP70% - 6	0,1300	324,430	2,0050	15,4231	12,67867	25,36
AY30% AP70% - 7	0,1336	333,993	4,2175	31,5681	19,63100	39,26
AY30% AP70% - 8	0,1610	277,152	1,8600	11,5528	7,97700	15,95
AY30% AP70% - 9	0,1580	261,480	2,9600	18,7342	12,26600	24,53
AY30% AP70% - 10	0,0919	286,001	0,8075	8,7867	5,31833	10,64
PROMEDIO	**0,1236**	**296,692**	**2,1970**	**17,7428**	**12,43463**	**24,87**
DESVIACION	**0,0233**	**72,291**	**0,9164**	**6,6764**	**4,49913**	**9,00**
Blanco - 1	0,1057	1309,780	8,3975	79,4465	383,2073	766,41
Blanco - 2	0,1580	585,647	5,8425	36,9778	252,2260	504,45
Blanco - 3	0,1367	1596,870	6,4750	47,3665	347,6967	695,39
Blanco - 4	0,1260	-.-	4,8500	38,4921	219,6320	439,26
Blanco - 5	0,1158	2099,120	7,2425	62,5432	319,8053	639,61
PROMEDIO	**0,1284**	**1397,854**	**6,5615**	**52,9652**	**304,5135**	**609,03**
DESVIACION	**0,0202**	**830,966**	**1,3498**	**17,9542**	**67,5096**	**135,02**