



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**Escuela de Ingeniería Química**

**Modalidad Clásica**

**Desarrollo de biolímeros a partir  
de almidón de corteza de yuca  
(*Manihot esculenta*)**

TESIS DE GRADO PREVIA A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

***María José Valarezo Ulloa***

TUTORA:

***Lcda. María Gabriela Punín***

CO-TUTOR:

***Ing. Juan Carlos Romero***

**Loja - Ecuador  
2012**

## **DECLARACIÓN Y CESIÓN DE DERECHOS DE TESIS DE GRADO**

Yo, María José Valarezo Ulloa, declaro conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de la investigación, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

## **CERTIFICACIÓN**

**Lic. María Gabriela Punín Burneo**

DOCENTE INVESTIGADOR DE LA ESCUELA DE ARTE Y DISEÑO, Y TUTORA  
DE TESIS

**CERTIFICA:**

Que el presente trabajo de tesis ha sido minuciosamente revisado en su totalidad,  
por tal motivo autoriza su presentación.

Lic. María Gabriela Punín Burneo

**TUTORA DE TESIS**

Loja, Marzo del 2012

## **CERTIFICACIÓN**

**Ing. Juan Carlos Romero Benavides**

DOCENTE INVESTIGADOR DE LA ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA, Y CO-TUTOR DE  
TESIS

**CERTIFICA:**

Que el presente trabajo de tesis ha sido minuciosamente revisado en su totalidad,  
por tal motivo autoriza su presentación.

Ing. Juan Carlos Romero Benavides

**CO-TUTOR DE TESIS**

Loja, Marzo del 2012

## **AUTORÍA**

Las opiniones e ideas vertidas en el presente trabajo son de absoluta responsabilidad de la autora.

**María José Valarezo Ulloa**

## AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia de mi más sincero agradecimiento a la Lic. María Gabriela Punín Burneo por su esfuerzo y colaboración en la dirección de este trabajo de investigación, y al Ing. Juan Carlos Romero por su colaboración como co-tutor de la misma, a la Ing. Silvia González, Ing. Belisario Zárate, Ing. Diana Gualpa, Econ. Santiago Ochoa e Ing. Miguel Guamán, por su ayuda oportuna y desinteresada y al personal del UCG y CETTIA por las facilidades que me proporcionaron para la utilización de los laboratorios.

A los docentes investigadores de la Escuela de Ingeniería Química por sus conocimientos impartidos durante toda la carrera universitaria.

Muchas gracias a todos

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación quiero dedicar a los pilares de mi vida, mi familia, quienes con su abnegada labor han estado junto a mí en todos los momentos de mi vida, brindándome su dedicación y fiel apoyo.

Y a todos mis amigos, familiares y profesores que han permanecido junto a mí y me han ayudado a alcanzar esta preciada meta.

*María José*

## ÍNDICE

Tema.....	i
Certificación .....	ii
Autoría .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Dedicatoria .....	v
Índice .....	vi
Resumen.....	xii

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Justificación y Fin del Proyecto.....	1
1.2	Exposición de los Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo General.....	3
1.2.2	Objetivos Específicos.....	3
1.3.	Hipótesis.....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1	Polímeros.....	5
2.1.1	Historia de los Polímeros.....	5
2.1.2	Definición de Polímeros.....	8

2.1.3	Clasificación de los Polímeros.....	9
2.1.3.1	Polímeros Sintéticos.....	11
2.1.3.2	Polímeros Naturales.....	12
2.1.3.3	Polisacáridos.....	13
2.1.3.4	Almidón.....	14
2.2	Yuca.....	17
2.2.1	Taxonomía.....	17
2.2.2	Morfología y Anatomía.....	19
2.2.3	Composición Química y Valor Nutritivo.....	23
2.2.3.1	Composición Química de la Raíz de la Yuca.....	24
2.2.4	Almidón de Yuca.....	27
2.3	Biopolímeros de Almidón.....	28
2.3.1	Proceso de elaboración de Biopolímeros de almidón.....	33
2.3.1.1	Iniciación o gelatinización.....	34
2.3.1.2	Retrogradación.....	35
2.3.2	Componentes para la elaboración de biopolímeros.....	35
2.3.2.1	Plastificantes.....	36
2.3.2.2	Modificadores Químicos.....	36

### **CAPITULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

3.1	Metodología de la Investigación.....	39
3.2	Materia prima.....	40

3.2.1	Obtención del Almidón de las Cortezas de Yuca.....	41
3.2.2	Análisis de Yuca.....	42
3.2.2.1	Determinación de Humedad.....	43
3.2.2.2	Determinación de Impurezas.....	43
3.2.2.3	Determinación de Apariencia en Seco.....	44
3.2.2.4	Determinación del Porcentaje de Almidón.....	45
3.3	Obtención de Biopolímeros.....	45
3.3.1	Diseño Experimental.....	45
3.3.2	Tratamientos.....	46
3.3.3	Variables en Estudio.....	46
3.3.4	Determinación de los niveles de cada uno de los factores del diseño experimental.....	47
3.3.5	Elaboración del Biopolímero.....	51
3.3.6	Operativización de las Variables.....	51
3.3.7	Análisis del Biopolímero.....	52
3.3.7.1	Número de Pruebas.....	52
3.3.7.2	Olor.....	52
3.3.7.3	Uniformidad.....	53
3.3.7.4	Adaptación al Molde de Ensayo.....	53
3.3.7.5	Secado.....	54
3.3.7.6	Humedad.....	55
3.3.7.7	Densidad.....	55
3.3.7.8	Absorción de Agua.....	56
3.3.7.9	Penetración.....	57

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1	Obtención de Materia Prima.....	58
4.1.1	Pruebas preliminares para la Obtención de Materia Prima.....	58
4.1.2	Análisis del Almidón.....	60
4.2	Análisis del Biopolímero.....	60
4.2.1	Análisis de Olor, Uniformidad y Adaptabilidad al Molde.....	61
4.2.2	Análisis de Secado.....	69
4.2.3	Análisis de Densidad.....	73
4.2.4	Análisis de Penetración.....	75
4.2.5	Análisis de Absorción de Agua.....	77
4.3	Efecto de los niveles de los factores en estudio sobre la densidad, penetración y absorción de agua.....	78
4.3.1	Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua de acuerdo a los niveles de almidón establecidos para las tres matrices.....	78
4.3.2	Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua de acuerdo a los niveles de agua establecidos para las tres matrices.....	82
4.3.3	Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua de acuerdo a los niveles de glicerina establecidos para las tres matrices.....	85
4.3.4	Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua de acuerdo a los niveles de ácido acético establecidos para las tres matrices.....	88
4.4	Tratamientos seleccionados de acuerdo a los niveles óptimos de las propiedades relacionadas con la calidad del biopolímero.....	91

## PROTOCOLO

Método para la elaboración de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca.....	93
--	----

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	99
5.2	Recomendaciones.....	101

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFÍA

6.1	Bibliografía.....	102
-----	-------------------	-----

## ANEXOS

7.1	Pruebas preliminares para el establecimiento del diseño Experimental.	107
7.2	Esquema de las matrices del diseño experimental.....	108
7.3	Cálculos.....	112
7.4	Memoria fotográfica del trabajo de investigación.....	129
	Development of Starch Biopolymers from Waste Organic Materials (Cassava Peel).....	132

Development of Starch Biopolymers from Waste Organic Materials (Cassava Peel) and Natural Fiber (Agave).....	137
---	-----

## RESUMEN

---

En la presente investigación se ha elaborado un biopolímero resistente, flexible y elástico, con características similares a las de un plástico partir de almidón de corteza de yuca, (*Manihot esculenta*). Utilizando como plastificantes agua y glicerina, los cuales le brindan plasticidad y elasticidad al material; y como modificador químico ácido acético, agente que modifica su carácter hidrofílico. Se utilizó el diseño factorial axbxcxd, es decir se manipularon cuatro variables independientes: almidón (a), glicerina (b), agua (c), y ácido acético (d); todas las variables con tres niveles (alto, medio, bajo), realizándose una réplica por cada ensayo. Para el análisis de resultados se utilizó estadística descriptiva con respecto a la influencia que tuvo cada factor o variable independiente en la calidad del biopolímero final. El biopolímero obtenido está constituido de 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético. Presentó una densidad de 6,44 gr/cm<sup>3</sup>, 0,0mm de penetración y 25,3% de aumento de peso por absorción de agua. La temperatura óptima a la cual se da el proceso es de 69°C.

# **CAPITULO I.**

## **INTRODUCCIÓN**

---

### **1.1 JUSTIFICACIÓN Y FIN DEL PROYECTO**

En la actualidad el mundo se ve envuelto en la creciente necesidad de desarrollar nuevos materiales que sustituyan a aquellos derivados del petróleo como son los plásticos, esta realidad constituye la principal motivación para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Los plásticos, a pesar de ser herramientas muy útiles en las diferentes actividades de la población, generan enormes cantidades de desechos ya que presentan una baja biodegradabilidad debido a que son macromoléculas de gran estabilidad estructural y muy resistentes a las agresiones del medio, constituyendo un grave problema ambiental para el planeta.

Contrarrestando esta realidad, existen muchos materiales residuales de la agricultura que se destruyen sin ser utilizados, o se utilizan de una forma poco económica, que pueden ser empleados como materia prima para la elaboración de nuevos productos biodegradables. En la región Sur del Ecuador existen varios subproductos que se pueden obtener fácilmente como son las cortezas de yuca.

A partir de estas cortezas se puede obtener harina con elevado porcentaje de almidón, que al ser mezclado con plastificantes como glicerina y agua; y un modificador químico como ácido acético; bajo ciertas condiciones de mezcla y temperatura, se puede obtener un polímero termoplástico biodegradable.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, la presente investigación tiene como fin elaborar un biopolímero a partir de almidón obtenido de cortezas de yuca, que presente características similares a las de un polímero sintético y se lo puede utilizar como materia prima para la elaboración de artículos de decoración, reduciendo de esta forma la contaminación al ambiente.

## **1.2 EXPOSICIÓN DE LOS OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Establecer una tecnología que permita elaborar un biopolímero a partir de almidón de cortezas de yuca.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

**1.2.2.1** Elaborar un protocolo comprobado para la elaboración de un biopolímero a partir de almidón de cortezas de yuca.

**1.2.2.2** Analizar olor, uniformidad, adopción al molde, secado, humedad densidad, penetración y absorción de agua del biopolímero terminado mediante las normas ASTM establecidas (**ASTM D6980-09, ASTM D-792, ASTM D-570, ASTM F1306**).

**1.2.2.3** Presentar un muestrario en el que se expongan los mejores resultados obtenidos del presente trabajo de investigación.

### **1.3 HIPÓTESIS**

Es posible obtener un biopolímero a partir de almidón de corteza de yuca, glicerina, ácido acético y agua a una temperatura entre 40°C y 60°C.

## **CAPITULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

---

#### **2.1 POLÍMEROS**

##### **2.1.1 HISTORIA DE LOS POLÍMEROS**

Debido a que hoy en día gran parte de los científicos e investigadores se encuentran involucrados en la ciencia o tecnología de los polímeros, se ha nombrado a este tiempo la era de los polímeros. Aunque en realidad siempre hemos vivido rodeado de ellos. Incluso en las denominadas Edad de Piedra, Edad de Bronce o Edad de Hierro, los polímeros estaban presentes en mayor medida que los materiales que dieron nombre a dichas épocas, puesto que estos forman la base de la vida animal y vegetal. Cabe mencionar que si no se tienen en cuenta ni los metales ni los compuestos inorgánicos, casi todo lo que queda en el mundo son polímeros: fibras, resinas, proteínas, etc (*Seymour et al, 2002*).

En la antigua Grecia se clasificaba todo material como animal, vegetal y mineral, los alquimistas dieron mucha importancia a los minerales, mientras que los artesanos medievales se los daban a los materiales vegetales y animales, los cuales todos son en su mayoría polímeros y son importantes para la vida tal y como la conocemos (*Seymour et al, 2002*).

Las primeras civilizaciones sudamericanas como la Azteca utilizaban caucho (*Hevea brasiliensis*) para fabricar artículos elásticos o impermeabilizar tejidos.

Los hombres primitivos emplearon técnicas rudimentarias de plásticos para curtir las proteínas de las pieles animales para hacer cuero y para moldear caparazones de tortuga mediante calor (*Seymour et al, 2002*).

Hasta que Wöhler<sup>1</sup> sintetizó urea partiendo de compuestos inorgánicos en 1828, progresó poco la química orgánica desde que los alquimistas se concentrasen en la transmutación de metales básicos en oro y creyeran en la teoría de la fuerza vital.

A pesar de tan importante descubrimiento, se hicieron pocos avances en el campo de la química orgánica hasta la década de 1850, cuando Kekulé<sup>2</sup> desarrolló las técnicas de representación de fórmulas estructurales aceptadas hoy en día.

Sin embargo, los científicos dedicados a los polímeros manifestaron un talento especial para realizar descubrimientos empíricos antes de que esta ciencia se desarrollase. Así, mucho antes de que Kekulé desarrolle su técnica para escribir las fórmulas, Charles y Nelson Goodyear transformaron el caucho de la hevea, un material termoplástico pegajoso, en un elastómero de utilidad (caucho vulcanizado) o plástico termoestable (ebonita) calentándolo con cantidades pequeñas o grandes de azufre, respectivamente (*Seymour et al, 2002*).

---

<sup>1</sup>**Friedrich Wöhler**, pedagogo y químico alemán (1800-1882). Famoso por su síntesis del compuesto orgánico denominado urea. Además aisló el aluminio y el berilio; y llevó a cabo investigaciones importantes sobre el ácido úrico y el aceite de almendras amargas.

<sup>2</sup>**Friedrich August Kekulé von Stradonitz** (1829 – 1896) Es considerado uno de los principales fundadores de la Teoría de la Estructura Química.

De la misma manera, Christian Shönbein combinaba celulosa con ácido nítrico y Louis Menard en 1846 fabricaba colodión disolviendo nitrato de celulosa producto de la reacción anterior en una mezcla de etanol y éter etílico. El colodión, que se utilizó como líquido para engomar el tafetán, también fue utilizado en la década de 1860 como reactivo por los hermanos Hyatt<sup>3</sup> para obtener celuloide, fue el primer termoplástico artificial y el reactivo usado por Chardonnet<sup>4</sup> para fabricar la seda artificial (*Seymour et al, 2002*).

Aunque la mayoría de estos descubrimientos iniciales fueran empíricos, pueden ser utilizados para explicar parte de la teoría y de la terminología de la ciencia de los polímeros moderna. Es importante tener en cuenta que todos estos inventores, como los hombres primitivos, utilizaron un producto que se encontraba en la naturaleza para obtener un producto de mayor utilidad.

Por otro lado un hecho que cabe destacar dentro de la historia de los polímeros, es la elaboración del primer polímero sintético a manos de Baekeland<sup>5</sup>, quien tenía conocimientos acerca de la existencia de macromoléculas y entendía el concepto de funcionalidad, por lo que utilizando cantidades controladas de fenol y formaldehído, produjo resinas termoplásticas que podían ser convertidas en plásticos termoestables a los que llamó Baquelita (*Seymour et al, 2002*).

Antes de la Primera Guerra Mundial, se encontraban ya a disposición del público plásticos como celuloide, laca, Galalih<sup>6</sup> (caseína), baquelita, acetato de celulosa y caucho de la hevea; fibras como algodón, lana, seda y rayón; y resinas como los

---

<sup>3</sup>Los hermanos **Isaías y John Wesley Hyatt** inventaron el celuloide en 1869 como sustituto del marfil.

<sup>4</sup>**Louis-Marie-Hilaire Bernigaud**, Conde de Chardonnet de Grange; Besançon (1839 - 1924) Industrial y químico francés, pionero en la producción de fibras artificiales.

<sup>5</sup>**Leo Hendrik Baekeland** Químico Norteamericano (1863-1944). Creó el primer plástico artificial de la historia, la baquelita.

<sup>6</sup>**Galalih**. Plástico sintético formado por la interacción de caseína con formaldehído.

recubrimientos de poliéster, asfalto o bitumen y las resinas de petróleo (*Seymour et al, 2002*).

Sin embargo se produjeron pocos desarrollos adicionales en la tecnología de polímeros antes de la Segunda Guerra Mundial debido a la falta de conocimientos de ciencia de los polímeros.

Para los años 20, existió un descubrimiento por parte de Hermann Staudinger, quien demostró que los polímeros naturales y sintéticos no eran agregados como los coloides o compuestos cíclicos como el ciclohexano, sino moléculas de cadena larga con grupos terminales característicos. Esta teoría tardó alrededor de diez años para ser aceptada (*Seymour et al, 2002*).

A partir de la década de 1940, la tecnología de polímeros se ha desarrollado extremadamente rápido, elaborándose abundante teoría, de forma que la ciencia de los polímeros actualmente es una ciencia aplicada y no una tecnología meramente empírica (*Seymour et al, 2002*).

### 2.1.2 DEFINICIÓN DE POLÍMERO

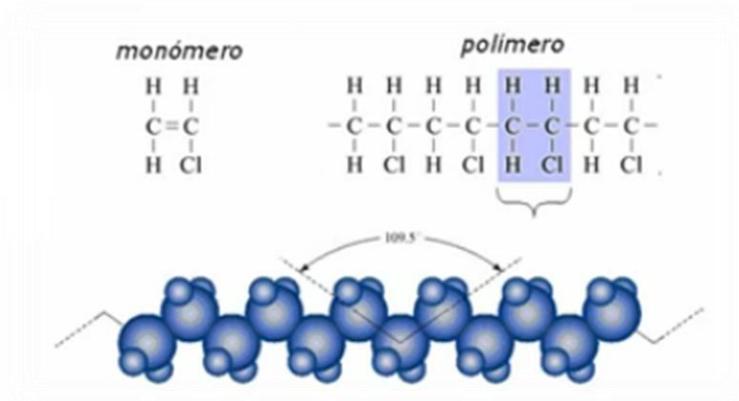
La palabra polímero proviene del griego **Polys** y **Meros**, que significa muchos y partes respectivamente (*Seymour et al, 2002*).

Un polímero es una molécula muy grande o macromolécula constituida por la unión repetida de muchas unidades moleculares pequeñas o monómeros, unidas

entre si por enlaces covalentes formadas por reacciones de polimerización (Sperling, 2006).

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas, son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras (Nailon), los adhesivos, el vidrio y la porcelana. Pero a pesar, de la gran variedad de polímeros existentes, todos tienen una estructura interna similar y se rigen por las mismas teorías (Sperling, 2006).

**FIGURA 1.** Definición de Polímero



**Fuente:** Kumar et al, 2003

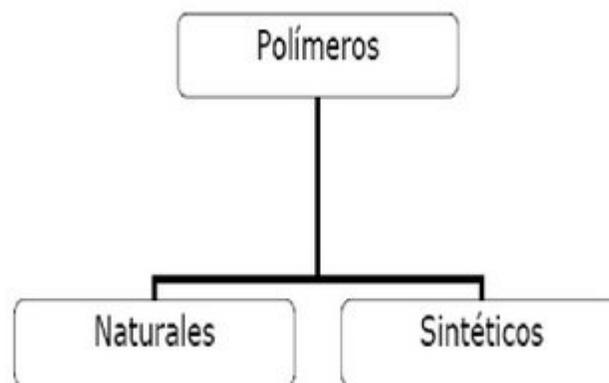
### 2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Los polímeros se clasifican según su estructura, composición, origen y tipo de polimerización, sin que estas clasificaciones sean excluyentes entre sí.

Existen diferentes términos utilizados en la industria de polímeros que corresponden a los diferentes modos de clasificación. En general destacan alguna característica especial de material. Es común escuchar el nombre como “plásticos”, “resinas”, “elastómeros” y “hules”. El primero se aplica a materiales comerciales que contienen aditivos que mejoran la procesabilidad y las propiedades (PE, PVC, ES, etc.), excepto fibras que tienen cierta característica de rigidez a temperatura ambiente, el segundo se utiliza para designar cualquier material polimérico puro, esto es, sin aditivos o cargas; los dos restantes se aplican a materiales que tienen flexibilidad y elasticidad a temperatura ambiente (*Sperling, 2006*).

Los polímeros se subdividen según su origen en polímeros naturales y polímeros sintéticos. Cada una de estas clases de compuestos pueden ser subdivididas en otras clases más específicas en relación a su uso, propiedades y características físico-químicas (*Cadena et al, 2000*).

**FIGURA 2.** Clasificación de los polímeros por su origen.



**Fuente:** *Kumar et al, 2003*

### 2.1.3.1 POLÍMEROS SINTÉTICOS

Durante la Segunda Guerra Mundial, Japón cortó el suministro de caucho natural proveniente de Malasia e Indonesia a los aliados. La búsqueda de un sustituto dió como origen el caucho sintético, y con ello surgió la industria de los polímeros sintéticos y plásticos. (*Leidenger, 1997*).

Los polímeros sintéticos surgieron de la necesidad de imitar a los polímeros naturales. Son elaborados a partir de procesos de polimerización; esto es por adición o por condensación obteniendo polímeros de cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

Estas cadenas o macromoléculas pueden estar constituidas por un misma unidad monomérica (homopolímero) o de diferentes unidades monoméricas (heteropolímero o copolímero) (*Leidenger, 1997*).

Además, estos a su vez se pueden dividir en dos grupos dependiendo de su comportamiento por encima de cierta temperatura como son los termoplásticos, materiales que fluyen es decir pasan al estado líquido al calentarse y se vuelven a endurecer al ser enfriados, y los termoestables, materiales que al calentarse no fluyen sino más bien se descomponen químicamente es decir se queman.

El término plástico se generalizó para describir a los polímeros sintéticos, a los cuales se les añade una serie de sustancias que facilitan su procesamiento para su utilización como materiales de ingeniería y de uso cotidiano.

A pesar de que a los polímeros sintéticos se los considere de tipo artificial, todos los materiales plásticos a excepción de la silicona, provienen de la química orgánica, es decir contienen átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno; más algunos otros elementos tales como: cloro, flúor y azufre.

**CUADRO 1.** Clasificación de los polímeros por su origen. Polímeros sintéticos.

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS SEGÚN SU ORIGEN</b>	
<b>POLIMEROS SINTÉTICOS</b>	
<b>TERMOPLÁSTICOS</b>	Polietileno, Teflón, Poliestireno, Polipropileno, Poliéster, Poliuretano, Polimetilmetacrilato, Cloruro de vinilo, Nylon, Rayón, Celulosa, Silicona, Fibra de vidrio, entre otras.
<b>TERMOESTABLES</b>	Cauchovulcanizado, Baquelita, Kevlar, Poliepóxido.

**Fuente:** *Cadena et al, 2000*

### 2.1.3.2 POLÍMEROS NATURALES

Una de las áreas de la ciencia de los polímeros más importante y que está experimentando un gran auge es la de los polímeros naturales. En la industria se está experimentando un resurgimiento del uso de los mismos en campos, tanto nuevos como ya estudiados (*Seymour et al, 2002*).

Una de las razones es que los polímeros naturales son típicamente renovables, ya que la naturaleza puede seguir sintetizándolos a medida que los extraemos, pero sobre todo se debe a la creciente necesidad de conservar y regular nuestros recursos químicos, encontrando sustituyentes a las fuentes que no se autogeneran, tales como el petróleo, el gas y los metales.

Los biopolímeros o polímeros naturales son aquellos producidos por los seres vivos. Existe una infinidad de polímeros naturales entre los cuales se puede destacar tres grandes grupos: Proteínas, Polisacáridos y Ácidos Nucleicos *Cadena et al, 2000*.

**CUADRO 2.** Clasificación de los polímeros por su origen. Polímeros naturales.

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS SEGÚN SU ORIGEN</b>		
<b>POLIMEROS NATURALES (BIOPOLÍMEROS)</b>		
<b>PROTEÍNAS</b>	<b>ESTRUCTURALES</b>	Colágeno, queratina, elastina.
	<b>FUNCIONALES</b>	Enzimas, hormonas
<b>POLISACÁRIDOS</b>	<b>ESTRUCTURALES</b>	Celulosa, Quitina
	<b>RESERVA</b>	Almidón, glucógeno
<b>ÁCIDOS NUCLÉICOS</b>	ADN Y ARN	

**Fuente:** *Cadena et al, 2000*

### 2.1.3.3 POLISACARIDOS

Los polisacáridos son la principal fuente de energía de los alimentos y constituyen los compuestos orgánicos más abundantes. Varían mucho en cuanto a su tamaño y la frecuencia de su presencia en el mundo natural (*Koolman et al, 2004*).

Los polisacáridos están formados por la unión de centenares de monosacáridos, unidos por enlaces "O-glucosídicos". Entre los monómeros y disacáridos más familiares se encuentra la glucosa, fructosa, galactosa, ribosa, sacarosa, lactosa, y maltosa, los tres últimos resultan de la combinación de una unidad de glucosa más una unidad de fructosa, de una unidad de glucosa más una de galactosa y de dos unidades de glucosa respectivamente (*Koolman, et al, 2004*).

Los polisacáridos más importantes son: la celulosa y el almidón. La celulosa es un homoglucano<sup>7</sup> lineal con residuos de glucosa unidos por enlaces  $\beta 1 \rightarrow 4$ <sup>8</sup>, es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza. Casi la mitad de la biomasa total está formada por celulosa constituyendo más de una tercera parte de toda la materia vegetal.

#### 2.1.3.4 ALMIDÓN

El almidón es el segundo polisacárido más abundante, se encuentra ampliamente distribuido en las plantas donde es almacenado como hidratos de carbono en las semillas, frutas, tubérculos, raíces, hojas y tallos (*Koolman et al, 2004*). Se encuentran a habitualmente en forma de agregados de polímeros unidos intermolecularmente mediante enlaces de hidrógeno.

El almidón está compuesto fundamentalmente por glucosa. Aunque puede contener una serie de constituyentes en cantidades mínimas, que pueden ser oligoconstituyentes del almidón o contaminantes no eliminados en su extracción.

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que, en la naturaleza se presenta en forma de gránulos, estos son relativamente densos y se hidratan muy mal en agua fría.

Químicamente la molécula de almidón está constituida por dos tipos de polisacáridos, la amilosa y la amilopectina. (*Saber todo ciencia, 2009*).

---

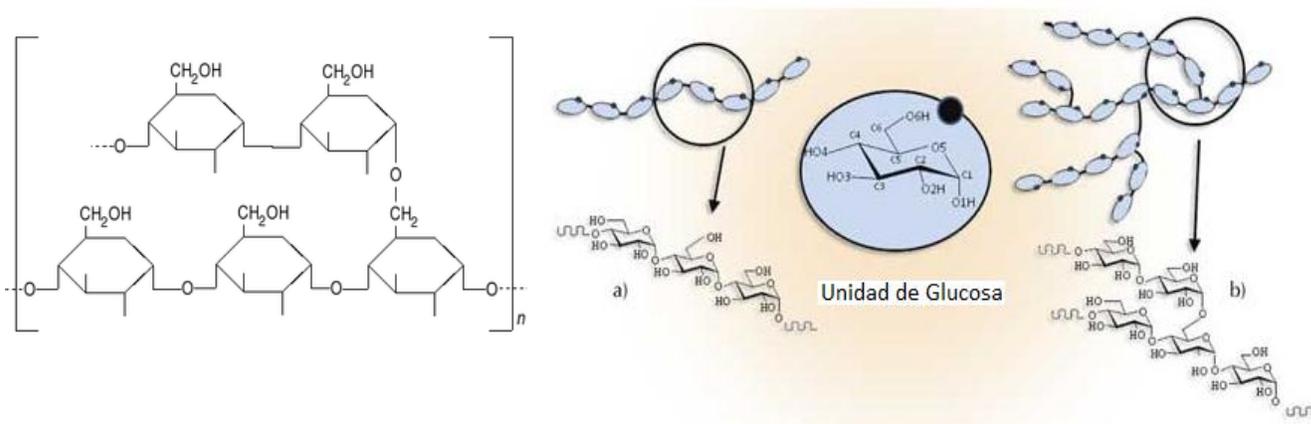
<sup>7</sup>**HOMOGLUCANOS.** Polisacárido donde sus constituyentes son de un mismo azúcar.

<sup>8</sup> La celulosa es un polímero *lineal* (no ramificado) formado por moléculas de  **$\beta$ -D-glucosa** unidas mediante enlaces glucosídicos  **$\beta(1 \rightarrow 4)$** . Los enlaces tipo  **$\beta$**  tienen función estructural.

La **amilosa**, es la parte soluble en agua y representa del 16-35% de la materia que constituye al almidón. Está formada por 200 a 300 residuos de glucosa unidos por enlaces  $\alpha$ 1- $\rightarrow$ 4 en forma de cadenas no ramificadas, las que por su configuración  $\alpha$  en el C-1 forman una hélice de 6 a 8 residuos por vuelta.

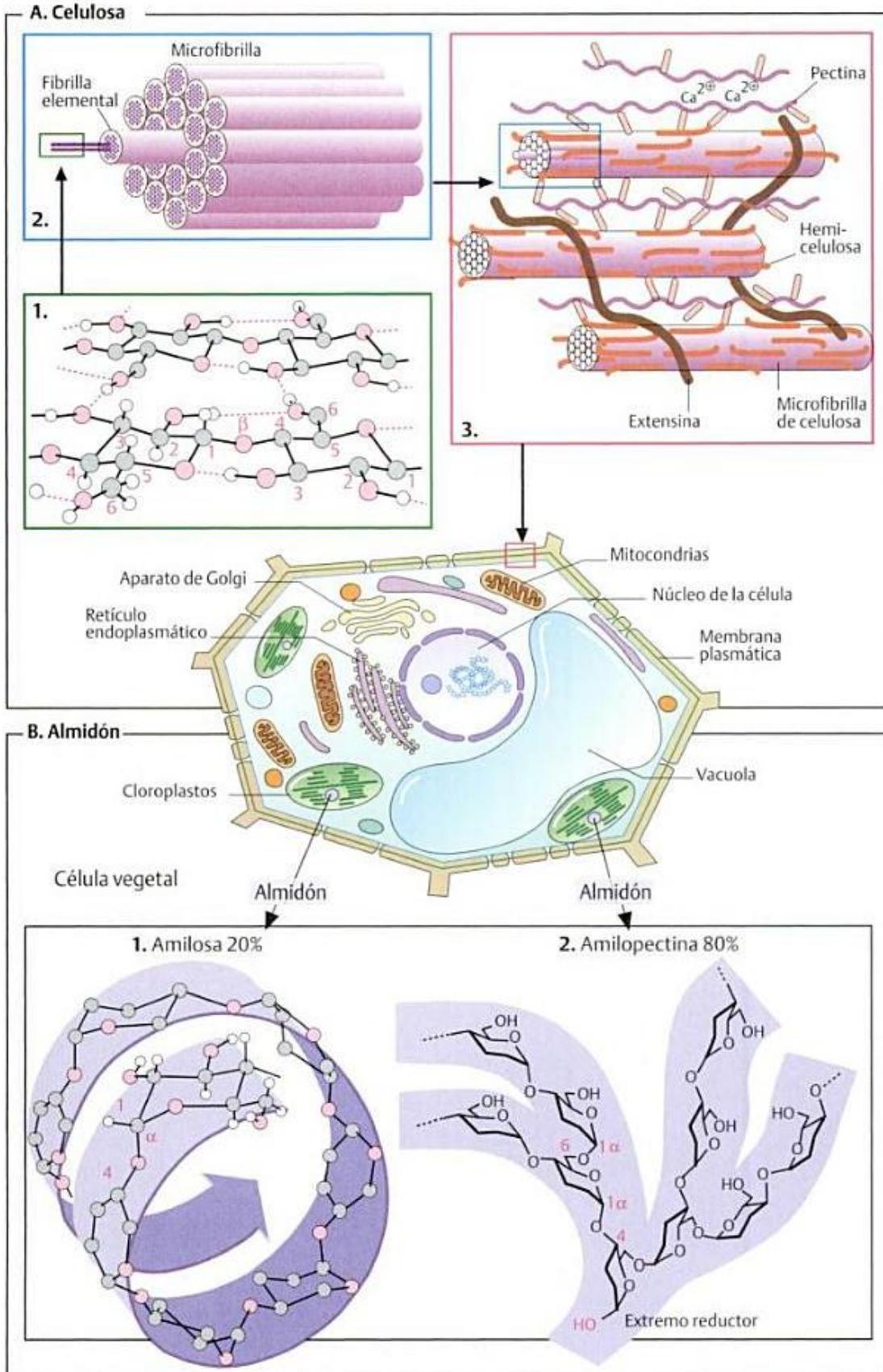
A diferencia de la amilosa la **amilopectina** es ramificada, constituye del 64-85% del almidón total, es prácticamente insoluble, y se coagula en forma de un gel. En esta molécula cada 20 a 25 residuos de glucosa, en promedio, existe una unión a otras cadenas por un puente  $\alpha$ 1- $\rightarrow$ 6. Así se forma una estructura ramificada que al igual que la amilosa solo tiene un grupo anomérico<sup>9</sup>(OH). Las moléculas de amilopectina contienen cientos de miles de residuos de glucosa y su peso molecular puede superar los  $10^8$ Da (Koolman et al, 2004).

**Figura 3.** Estructura del Almidón. Amilosa (a) y Amilopectina (b)



**Fuente:** Pérez et al, 2009

<sup>9</sup> **Efecto anomérico** o **efecto Edward-Lemieux** es un efecto estereoelectrónico que describe la tendencia de los sustituyentes heteroatómicos adyacentes a un heteroátomo en un anillo de ciclohexano a preferir la orientación *axial* en vez de la orientación *ecuatorial* menos cubierta.



**FIGURA 4. Celulosa (a) y Almidón (b)**

Fuente: (Koolman et al, 2004).

## 2.2 YUCA

La yuca es una de los cultivos más antiguos del trópico americano, bien antes del descubrimiento del continente era cultivado por los indígenas desde tiempos remotos y constituía uno de sus principales alimentos. Es uno de los cultivos más rústicos que produce buenas cosechas en muchos tipos de suelos y con un manejo sencillo. Prácticamente todas las partes de la planta (hojas, ramas, tallos y raíces), encuentran utilización, siendo las raíces el producto principal (*Ponce, 2009*).

Las raíces son muy ricas en hidratos de carbono que constituyen un rubro importante en la alimentación del hombre y de los animales.

El cultivo de la yuca merece una mayor atención, teniendo en cuenta las grandes ventajas que ofrece, tales como: su fácil cultivo, su bajo costo de producción, su adaptación a diversos climas y suelos, su gran uso en la alimentación humana y animal, y su posibilidad de industrialización (*Ponce, 2009*).

### 2.2.1 TAXONOMÍA

#### COMPOSICIÓN SISTEMÁTICA

**Reino:** Plantae

**División:** Phanerogamas

**Subdivisión:** Angiospermas

**Clase:** Dicotiledoneas

**Subclase:** Choripetales

**Orden:** Geraniales

**Suborden:** Tricoccae

**Familia:** Euphorbiaceae

**Subfamilia:** Crotonidae

**Tribu:** Manihoteae

**Género:** *Manihot*

**Especie:** *M. Esculenta*

**Variedades:** Grupo de yucas dulces o comestibles

Grupo de yucas amargas o bravas

Esta división, en grupos de yucas dulces y amargas depende del contenido de ácido cianhídrico de las raíces. Por lo general las raíces contienen linamarin, un gluco-cianógeno, que libera ácido cianhídrico cuando es activado por la enzima linamarase. La cáscara contiene una cantidad mayor de ácido cianhídrico que la pulpa (*Montaldo, 1985*).

El nivel de ácido cianhídrico en la zona cortical varía de menos de 10 a más de 150 partes por millón. Este glucosídico tóxico se encuentra en mayor cantidad en las yucas amargas y en pequeña cantidad en las yucas dulces; y, su presencia varía según el estado fisiológico de la planta, las condiciones de humedad y fertilidad del suelo (*Montaldo, 1985*).

No existe diferencias morfológicas definidas entre los tipos de yuca (dulces y amargas); sin embargo las variedades dulces se ablandan más fácilmente en la cocción que las yucas amargas; además la yuca dulce posee dos cáscaras fácilmente separables: la exterior fina y la interior más gruesa; en cambio la yuca amarga posee las cáscaras más gruesas y adherentes (*Ceballos et al, 2002*).

Vulgarmente la yuca se la conoce con varios nombres dependiendo del país en donde es cultivada, tales como: UbiKettella o Kaspé en Indonesia; Yuca en los países americanos de habla española; Mandioca o Aipim en Brasil; Manioc en Madagascar y en los países africanos de habla francesa; Tapioca en India y Malaysia; y Cassava en las regiones de idioma inglés (*Ceballos et al, 2002*).

## **2.2.2 MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA**

### **Descripción de la Planta**

La mandioca es una planta semi-arbustiva perenne, leñosa, de tamaño variable que alcanza de 1 a 4 metros de altura. Está adaptada a condiciones de la zona intertropical, por lo que no resiste las heladas (*Cock, 1997*).

Su tallo se divide a cierta altura en dos o tres ramas (ramificación en dicotomía o tricotomía) que a su vez se divide en otras tantas.

La planta es constituida de una parte aérea (tallos, ramas, hojas, flores y frutos); y de una parte subterránea (raíces y radicales).

Todas las partes que la componen contienen látex o leche como se manifiesta en todas las euforbiáceas<sup>10</sup> (Cevallos et al, 2002).

### **Parte Aérea**

- **Tallo:** El tallo puede tener posición erecta, decumbente y acostada. Según la variedad, el tallo podrá tener ninguna, dos, o tres o más ramificaciones primarias, siendo el de tres ramificaciones el mayoritario en la yuca. Las variedades de ramificación alta, es decir, a más de 100 cm, facilitan las labores de escarda.

El grosor del tallo se mide a 20 cm del suelo y puede ser delgado (menos de 2 cm de diámetro), intermedio (2-4 cm) y grueso (más de 4 cm). Al carácter del grosor del tallo se le ha asociado el alto rendimiento en raíces de reserva. Los entrenudos pueden ser cortos (hasta 8 cm), medios ( 8-20 cm) y largos (más de 20 cm).

El suber o corcho lleva colores variados asociados al color de las raíces reservantes, y el felógeno. La corteza media o felodermis está llena de látex ácido, generalmente de color verde o a veces rojo, y se encuentra atravesada por tejido de sostén y esclerénquima; la corteza interna está formada de parénquima cortical, floema primario y floema secundario y es de color blanco, y el cilindro central está compuesto de xilema secundario y medula, que es un tejido esponjoso (Montaldo, 1985).

---

<sup>10</sup> **Euforbiácea** Familia de plantas angiospermas dicotiledóneas, herbáceas, arbustivas o arbóreas, que contienen abundante látex, con frecuencia venenoso, flores unisexuales y fruto capsular.

- **Hojas:** Son grandes, palmeadas y lobuladas, con 5-7 lóbulos. Son simples, alternas, con vida corta y una longitud de 14 - 17 cm aproximadamente. Están unidas al tallo por peciolos largos y delgados, de 20-40 cm de longitud y de un color que varía entre el rojo y el verde. La cara superior de las hojas puede ser: verde; verde marrón; y verde claro (*Cock, 1997*).

Las hojas de la yuca son bifaciales, poseen una epidermis superior brillante con una cutícula bien marcada, viene después un tejido en palizada, un tejido lagunoso denso y una epidermis inferior en que las células sobresalen, dándole un aspecto aterciopelado opaco (*Montaldo, 1985*).

- **Flores:** Son pequeñas, reunidas en panículas o racimos terminales. Es una especie monoica por lo que la planta produce flores masculinas y femeninas, encontrándose en algunos cultivos flores hermafroditas. Las flores femeninas se ubican en la parte baja de la planta, y son menores en número que las masculinas, que se encuentran en la parte superior de la inflorescencia. Las flores masculinas son más pequeñas (*Montaldo, 1985*).

- **Frutos:** Son cápsulas ovoides tripartidas con 6 valvas, contiendo tres semillas (*Ceballos et al, 2002*).

### **Parte Subterránea**

- **Raíces:** Son tuberosas, constituyen la parte más importante de la planta y se desarrollan alrededor de la vareta<sup>11</sup> o estaca. Pueden ser flexibles o

---

<sup>11</sup> **Vareta:** Injerto o púa de un extremo del tallo de la planta.

pedunculadas, y su distribución en el suelo, su tamaño y su forma (cónica, cilíndrica, jorobada, ramificada, etc.), pudiendo alcanzar más de un metro de largo y más de 10kg de peso (*Ceballos et al, 2002*).

Las raíces de constituyen de una parte externa (corteza o cáscara); y de una parte central (pulpa) (*Ceballos et al, 2002*).

- **Corteza:** Comprende la corteza externa, la corteza media y la corteza interna; y el cilindro central, estela, pulpa o región vascular. La corteza externa llamada también súber o corcho, corresponde un 0,5-2,0% del total de la raíz. La industria del almidón prefiere aquellas variedades de adherencia débil. Presenta colores como: marrón, marrón claro; broceado, rosado, amarillo y blanco. Sigue hacia el interior el felógeno, que es un meristemo que diferencia feloderma y floema. La corteza media está formada por felodermis sin esclerénquima como el tallo. El felodermis puede ser de color rosado, amarillo, crema, blanco o violáceo. Produce un látex ácido que se coagula en contacto con el aire. Constituye un 9-15% del total de la raíz. La corteza interna está constituida por parte del parénquima de la corteza primaria, floema primario y secundario. Por último, el cilindro central está formado básicamente por el xilema secundario (*Montaldo, 1985*).

La raíz reservante no tiene médula y pueden ser raíces de pulpa amarilla, crema y blanca. El rendimiento de raíces por planta suele ser de 1-3 kg, pudiendo llegar en óptimas condiciones hasta 5-10 kg/planta (*Montalvo, 1985*).

- **Pulpa:** Cilindro central, estela o región vascular: Constituye la parte más importante para el uso, y su color varía de blanco a crema-amarillo (*Montalvo, 1985*).

### 2.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO

#### Consideraciones Generales

Se puede obtener dos productos del cultivo de la yuca de mucho valor nutritivo, como son la raíz y el follaje de la planta. En el cuadro 3. Puede observarse la composición química de estos dos productos y su valor nutritivo puede definirse como de signo opuesto. Así mientras la raíz es fundamentalmente rica en carbohidratos, el follaje es una de los materiales vegetales verdes con mayor riqueza proteica y contiene además, tres y media veces más grasa y el doble de fibra que la raíz. En cuanto al contenido de humedad, es marcadamente menor en las raíces que en el follaje.

**CUADRO 3.** Composición comparativa, base humedad, de la raíz y del follaje de la yuca.

Fracciones	Raíz(%)	Follaje (%)
<b>Humedad</b>	61,0	77,2
<b>Proteína</b>	1,2	6,8
<b>Grasa</b>	0,4	1,4
<b>Carbohidratos</b>	34,9	12,8
<b>Fibra</b>	1,2	2,4
<b>Ceniza</b>	1,3	1,8

Fuente: *Montaldo, 1991*

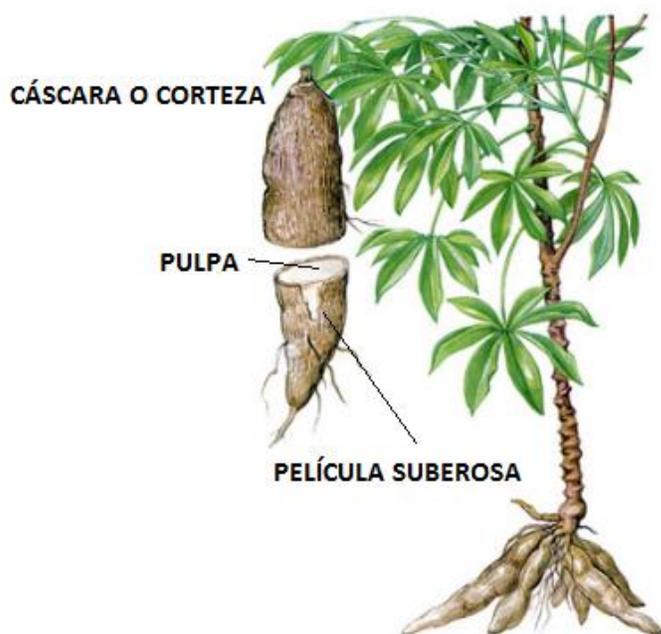
La yuca se clasifica en variedades dulces y amargas, de acuerdo al contenido de HCN de las raíces, el que es bajo en las primeras y alto en las segundas. Sin embargo debe aclararse que la clasificación de la yuca por su contenido de HCN es un concepto muy subjetivo y que además no es posible trazar una línea que,

basada en este criterio, diferencie unas variedades de otras, por el gran número de tipos intermedios que existen (*Montaldo, 1991*).

### 2.2.3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA RAÍZ DE LA YUCA

La yuca consta de las siguientes partes:

**FIGURA 5.** Partes de la raíz de la yuca



**Fuente:** <http://yuca-informacion.blogspot.com>

- a) **La película suberosa:** Que se desprende fácilmente y que representa 1-2% de la raíz total.
- b) **La cáscara o corteza:** Que forma el 12-20% de la raíz.

- c) **El cilindro central o pulpa:** Que contiene dos clases de elementos: Los vasos leñosos y las células parenquimatosas<sup>12</sup> llenas de almidón, forma del 78-85% de la raíz (Montaldo, 1991).

**CUADRO 4.** Composición media de la raíz entera, de la corteza y del cilindro central. (Las cantidades están representadas en porcentajes).

FRACCIONES	RAIZ ENTERA		CORTEZA		CILINDRO CENTRAL	
	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA
<b>Humedad</b>	61,0	-	72,0	-	59,0	-
<b>Proteína</b>	1,2	3,1	1,5	5,4	1,0	2,4
<b>Grasa</b>	0,4	1,1	0,6	2,1	0,4	1,0
<b>Carbohidratos</b>	34,9	89,4	21,7	77,2	37,3	91,0
<b>Fibra</b>	1,2	3,3	2,1	8,9	1,1	2,7
<b>Cenizas</b>	1,3	3,3	1,7	6,1	1,2	2,9

Fuente: Montaldo, 1991

De acuerdo a Johnson y Raymond (1965), la mayor parte del material seco de las raíces de yuca consiste en carbohidratos, los cuales contienen alrededor del 99% de almidón.

El contenido de sacarosa puede llegar hasta 27% en las variedades dulces y aunque parte de esta puede desaparecer durante el procedimiento de extracción de harinas, el contenido de sacarosa final va de 4,5 a 13,7 %.

Se han reportado también cantidades relativamente altas de fructosa, dextrosa y dextrina (Ceballos et al, 2002).

<sup>12</sup> **Células Parenquimatosas:** Son células que forman los "parénquimas" que son tejidos de sostén de las plantas.

El contenido de proteína de las raíces frescas varía entre 0,7% y 2,3%, siendo el 50-60% del nitrógeno no proteico.

La cantidad de aminoácidos esenciales puede variar considerablemente en muestras de harina de diferente variedad de yuca, debido a que la cantidad de nitrógeno varía dependiendo del método de preparación de la harina. El contenido de aminoácidos sulfurados es bajo en la raíz de la yuca (*Montaldo, 1991*).

La proteína de la yuca es definitivamente de aminoácidos esenciales y más del 50% del nitrógeno es de naturaleza no proteica. Además del 40 al 60% del nitrógeno presente en las raíces se encuentra como proteína verdadera, 1% como nitritos, nitratos y ácido hidrocianico y del 25 al 30% como compuestos nitrogenados aun no identificados.

El poco contenido de grasa y proteína y el hecho de que el valor biológico de la proteína sea bajo, hacen da la raíz de la yuca un alimento menos nutritivo que el arroz, el maíz u otros cereales.

Las marcadas diferencias que se evidencian en la yuca y sus productos, pueden originarse en diferentes causas, tales como el comportamiento de distintas variedades, tipos de suelo, épocas de cosechas, métodos de procesamiento e incluso los sistemas de análisis utilizados.

#### 2.2.4 ALMIDÓN DE YUCA

El almidón se obtiene separando sus granos del resto de las materias contenidas en la yuca. Los granos de almidón se encuentran en el interior de las células conjuntamente con la proteína, las grasas, los carbohidratos solubles, etc.; y se obtiene por un proceso de extracción y purificación (*Montaldo, 1985*).

Según el uso que se da a los almidones de yuca, éstos se clasifican en alimenticios, industriales no alimenticios y almidones modificados.

Los almidones alimenticios se utilizan para fabricar: productos de panadería, postres, pudines, relleno de tortas, alimentos para bebés, caramelos, chicles, agentes espesadores (gelatinas sintéticas), bebidas fermentadas y glucosa.

Los almidones industriales no alimenticios se usan para: apresto de textiles, lavandería, papelería, gomas, dextrinas, adhesivos, alcohol, acetona, glucosa y para la perforación de pozos petroleros.

Los principales usos de los almidones modificados es para preparar: almidones solubles precocidos, almidones oxidados, almidones mejorados, agregando glicerilmonostearato como agente en encuadernación (*Montaldo, 1985*).

### 2.3 BIOPOLIMEROS DE ALMIDÓN

Debido a que los materiales plásticos de uso masivo derivados del gas o el petróleo tienen una gran inercia química no pueden ser atacados por microorganismos presentes en el medio ambiente por lo cual no son biodegradables. No obstante a ello existen plásticos biodegradables que son obtenidos de fuentes de materias primas renovables como el almidón, azúcares, aceites vegetales, etc., que se denominan biopolímeros que son verdaderamente biodegradables en condiciones controladas de compostaje (*Conrad, 2005*).

Un plástico degradable está constituido por un material plástico que permite mantener la integridad física durante su manufactura, posterior almacenamiento, envasado, vida en estantería y uso del consumidor. Al final de la vida útil es desechado y comienza a cambiar químicamente por la influencia de agentes ambientales que lo transforman en sustancias simples, si estos agentes son entes biológicos como microorganismos (bacterias, mohos, etc.) el material se denomina biodegradable y los productos son principalmente dióxido de carbono y agua. Si la degradación es anaeróbica los productos son metano y dióxido de carbono (*Plastivia, 2006*).

Las investigaciones de plásticos biodegradables basados en almidón se iniciaron desde 1970 y continúan actualmente en varios laboratorios del mundo. Las tecnologías que se siguen desarrollando están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada en la formación de películas de barrera o empaque. (*Villada et al, 2007*).

La plastificación del gránulo de almidón se obtiene por la disrupción de los cristales durante el proceso de elaboración y acción de los plastificantes (agua, glicerina o glicerol), emergiendo un nuevo tipo de material conocido como almidón termoplástico. (Villada et al, 2007).

Los polímeros derivados del almidón dominan el mercado de polímeros biogenerados liderando la producción mundial con un 70-80% de la misma. Los productores más importantes establecidos en el mercado mundial incluyen a Novamont, DuPont, Biotec y Rodenburg (Textos Científicos, 2009).

**CUADRO 5.** Mayores empresas productoras de biopolímeros de almidón a nivel mundial.

Empresa	Ubicación	Producto	Nombre comercial
DuPont	EE.UU.	Polímero combinado	Sorona
Novamont	Italia	Polímero combinado	Mater-Bi
BIOP Biopolymer Technologies	Alemania	Polímero puro	BIOPar
Biotec	Alemania	Termoplástico	Bioplast
Japan Corn Starch Co.	Japón	Polímero combinado	Evercorn
Rodenburg Biopolymers	Holanda	Polímeros parcialmente fermentados	Solanyl
Plantic Technologies Limited	Australia	Termoplástico	Plantic
MGP Ingredients Inc	EE.UU.	Termoplástico	Terratek
Vegeplast S.A.S.	Francia	Polímero combinado	Vegemat

**Fuente:** (Textos Científicos, 2009).

Existen diferentes procesos con los cuales se pueden obtener biopolímeros de almidón. Se distinguen tres grandes grupos de productos:

- Polímeros derivados de almidón parcialmente fermentado
- Polímeros derivados de almidón puro
- Polímeros derivados de almidón modificado

En la producción de polímeros derivados de almidón parcialmente fermentado, la materia prima utilizada es el fluido de desecho originado en la industria alimenticia. Dicho fluido consiste en almidón (72%), siendo el resto proteínas (12%), grasas y aceites (3%), componentes inorgánicos (10%) y celulosa (3%). Este fluido es almacenado por dos semanas para permitir la estabilización y fermentación parcial. La fermentación más importante que ocurre en el proceso es la conversión de una parte del almidón en ácido láctico por medio de bacterias presentes en el medio. El producto es secado y extruido para obtener propiedades termoplásticas. Para mejorar las propiedades del producto se le agregan aceites y aditivos tales como dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en el paso de extrusión. Finalmente, el material es estabilizado por un último paso de secado (*Textos Científicos, 2009*).

Por otro lado los polímeros derivados de almidón puro son aquellos materiales que no son alterados en el primer paso del proceso por fermentación o tratamiento químico. Luego del primer paso de secado, una segunda etapa de proceso puede ser identificada. Esta es la etapa en la cual el almidón es convertido en un material termoplástico, al ser combinado con agentes plastificantes tanto por extrusión o por una combinación de pasos de extrusión y mezclado. El tercer grupo de biopolímeros a partir de almidón modificado no es gran uso comercial debido a su alta reactividad (*Textos Científicos, 2009*).

Los polímeros derivados del almidón son parcialmente cristalinos pero mucho menos que los derivados de la celulosa. Su densidad es superior a la mayor parte de los termoplásticos convencionales y también de los biopolímeros. Son fáciles de procesar y presentan un ciclo limpio de degradación. (*Textos Científicos, 2009*).

Los productos de cultivo de almidón más utilizados para la elaboración de materiales biopoliméricos son el maíz, el trigo, la yuca, la papa y el arroz. (*Villada et al, 2007*).

Uno de los materiales empleados para la elaboración de polímeros biodegradables y que cuenta con un elevado contenido de almidón (64% a 72%) es la yuca, su uso en el campo de los biopolímeros es reciente y escaso sin embargo los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios obteniéndose materiales de características similares a las de un plástico pero de carácter biodegradable (*Durán et al, 2005*).

Algunas investigaciones sobre este tema se han realizado. Existe una investigación realizada como parte del programa de Doctorado en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle, en el cual se desarrollaron empaques plásticos con almidón agrio de yuca, el mismo que se utiliza para hacer pan de bonos y almojábanas<sup>13</sup>. El proyecto consistía en extraer el almidón de la yuca mediante procesos tradicionales; el tubérculo se peló, molió y se extrajo el almidón que luego de sedimentarse se pasó a unos tanques fermentadores, durante 20 días. El almidón fermentado se secó al sol y luego se mezcló con agua y otras sustancias plastificantes de origen natural, que facilitan el deslizamiento de las moléculas de almidón y se llevó a una máquina extrusora. De

---

<sup>13</sup> **Pan de bonos y Almojabas:** Pan de yuca. Comida típica de Colombia.

allí se obtuvieron cintas extraídas que luego se transformaron en pequeñas “lentejas”, al igual que los polímeros normales. Este es un producto precursor o materia prima para la manufactura de bioplásticos finales. El biopolímero que obtuvieron comparte características similares a las del plástico, pero con la diferencia que este es completamente degradable por lo que su uso como empaques no es mayor a un año, además notaron que el biopolímero es extensible, es decir puede estirarse y de inmediato recuperar su forma original lo que se conoce como “memoria del polímero” (*Villada et al, 2007*).

Otra investigación relevante sobre la obtención de biopolímeros a partir de almidón de yuca se realizó en la Universidad de Cali, quienes desarrollaron un polímero biodegradable a partir de Isocianato (compuesto alcohólico) y el refuerzo o sustitución de este por almidón de yuca, materia prima de origen vegetal que presenta las mismas características químicas. Para la investigación utilizaron diferentes almidones, de acuerdo con las variedades de yuca (dulce o agría). Llegando a la conclusión de que la expansión polimérica es inversamente proporcional a la densidad del biopolímero, es decir mientras mayor sea la expansión polimérica, menor será su densidad. En cuanto a las pruebas de biodegradación tuvieron un periodo de observación de 20 días durante los cuales observaron cambios interesantes en los polímeros (*Durán et al, 2005*).

Una investigación similar se llevó a cabo en la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia), en donde se elaboró un polímero biodegradable al mezclar almidón dulce de yuca obtenido de forma artesanal e industrial, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes. Realizaron diferentes mezclas las cuales se sometieron a procesos comunes para los polímeros convencionales en un molino abierto, una 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. Demostrando que la temperatura a la cual debe trabajarse la mezcla de los reactivos oscila entre 45°C y 60°C, temperaturas a las cuales se realiza correctamente el proceso de gelatinización del almidón, ya que a una temperatura mayor (más de 90°C), el polímero se degrada perdiendo sus propiedades, mientras que a una temperatura muy baja (menor 60°C) los gránulos no se funden en su totalidad. Algo muy importante que se menciona es que el equipo a ser usado debe crear las mejores condiciones para la mezcla, temperatura y cizalladura<sup>14</sup> y que cualquier aditivo que se agrega a la mezcla debe tener un carácter degradable y ambientalmente asimilable. Como producto final obtuvieron un material con una resistencia a la tracción de 3,249 MPa, módulo de elasticidad de 1,284 MPa, dureza de 59,9 Shore A y densidad de 1,05 g/cm<sup>3</sup>. (*Meneses et al, 2007*).

Existen muchas más investigaciones acerca de la elaboración de biopolímeros a partir de yuca y todas muestran óptimos resultados. Mostrando que este producto es una excelente materia prima para la elaboración de materiales biodegradables.

### **2.3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOPOLIMEROS DE ALMIDÓN**

El proceso de elaboración biopolímeros de origen vegetal a partir de almidón, presenta dos etapas. La primera, proceso de iniciación o gelatinización consiste en el hinchamiento de los gránulos de almidón cuando la mezcla es expuesta al calor y la segunda es la etapa final que comprende el ordenamiento espontáneo de los puentes de hidrógeno al enfriarse.

---

<sup>14</sup> **Cizalladura** Es la diferencia en la velocidad del viento o su dirección entre dos puntos.

### 2.3.1.1 INICIACIÓN O GELATINIZACIÓN

Se define como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y elevadas cantidades de agua (*Fritz et al, 1994*).

La gelatinización ocurre en un rango estrecho de temperaturas que varía dependiendo de la fuente del almidón. El almidón de yuca gelatiniza en agua a temperatura entre los 55 °C y 65 °C, lo que consiste en un hinchamiento de las moléculas de almidón debido a que el agua penetra en su estructura molecular (*Ceballos et al, 2002*).

El desenrollado de las moléculas y la movilidad térmica de las mismas producidas por el hinchamiento, producen la disminución de la cristalinidad, rompiendo la estructura. El comportamiento de la mezcla va a depender de la concentración y el nivel de absorción de agua por parte del almidón.

Cuando ocurre la gelatinización, los gránulos hinchados del almidón ocupan los espacios vacíos. La viscosidad aumenta con la temperatura hasta la fragmentación de los gránulos, que se desintegran y se disuelven generando un decrecimiento en la viscosidad (*Ceballos et al, 2002*).

Pero en condiciones de alta concentración de almidón, como suele suceder cuando se pretende obtener un almidón termoplástico, el comportamiento es diferente. Mientras más rigidez haya, se da una mayor resistencia debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que genera una alta viscosidad.

En estas condiciones, cuanto más calor se adiciona, el agua retenida desintegra la estructura ordenada de los gránulos, y la amilosa comienza a difundirse formando un gel que finalmente soporta los gránulos compuestos ante todo por amilopectina (*Meneses et al, 2007*).

### **2.3.1.2 RETROGRADACIÓN**

Posterior a la gelatinización, en el momento en que deja de introducirse calor y comienza la etapa de enfriamiento, la viscosidad crece de nuevo y hay un incremento espontáneo del orden de los puentes de hidrógeno y reorientación de las cadenas moleculares. Paralelamente se genera un decrecimiento de la solubilidad en el agua fría y un incremento de la turbiedad (*Fritz et al, 1994*).

### **2.3.2 COMPONENTES PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS**

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros (*Meneses et al, 2007*).

### 2.3.2.1 PLASTIFICANTES

Los plastificantes son pequeñas moléculas agregadas para suavizar un polímero por debajo de su transición vítrea<sup>15</sup> para reducir su cristalinidad o punto de fusión (*Sperling, 2006*).

En general, el agua se recomienda como el mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones muy altas con relación al almidón, debido a que para extraerla de la mezcla, una vez ésta se encuentre lista, es necesario elevar la temperatura a la de ebullición del agua, lo que puede degradar la estructura del almidón (*Meneses et al, 2007*).

Al igual que el agua, la glicerina es un plastificante y además brinda humectación al polímero. El alcohol polivinílico (PVA) es recomendado también como plastificante, teniendo en cuenta que se asegura que la cantidad de plastificantes dentro de la mezcla no debe exceder el 20 % del peso total (*Meneses et al, 2007*).

### 2.3.2.2 MODIFICADORES QUÍMICOS

Los plastificantes son pequeñas moléculas agregadas para suavizar un polímero por debajo de su transición vítrea<sup>16</sup> para reducir su cristalinidad o punto de fusión

---

<sup>15</sup> **Transición vítrea:** Se refiere al cambio inducido por el calor sobre las características de un polímero, el cual con el incremento de la temperatura pasa de sólido frágil y quebradizo a flexible. La temperatura a la cual ocurre se conoce como *temperatura de transición vítrea* (*Stevens, 2002*).

<sup>16</sup> **Transición vítrea:** Se refiere al cambio inducido por el calor sobre las características de un polímero, el cual con el incremento de la temperatura pasa de sólido frágil y quebradizo a flexible. La temperatura a la cual ocurre se conoce como *temperatura de transición vítrea* (*Stevens, 2002*).

de la química fina, cosmética, decoración y alimentos. Así mismo, el almidón modificado, al poseer carácter biodegradable, ayudaría a la disminución de contaminantes de residuos sólidos (*Peñaranda, 2008*).

La modificación química del almidón está directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón. Reacciones vía éter, formación de ésteres, oxidación y la hidrólisis de los grupos hidroxilos, son algunas modificaciones químicas aplicables al almidón (*Peñaranda, 2008*).

En general la esterificación de los polisacáridos con ácidos orgánicos como el ácido acético y el ácido acético glacial es una de las transformaciones más versátiles en los biopolímeros (*Heinze et al, 2006*).

La introducción de un grupo éster en el polisacárido constituye un desarrollo importante debido a que permitirá modificar la naturaleza hidrofílica y obtener cambios significativos en las propiedades mecánicas y térmicas (*Heinze et al, 2006*).

Mediante esta modificación química del almidón con ácidos orgánicos se obtienen productos con diferentes grados de sustitución, y dependiendo de este grado las aplicaciones del almidón modificado pueden variar.

Así, cuando se tienen bajos grados de sustitución los almidones modificados se utilizan como espesantes para mejorar la estabilidad y claridad de las pastas a bajas temperaturas para proteger las fibras con respecto a la abrasión y el desgaste del hilado y así mejorar la impresión, porosidad y resistencia a la abrasión en la industria del papel, mientras que en altos grados de sustitución los

almidones modificados se pueden emplear en recubrimientos, producción de películas y adhesivos (*Myllymäki y Aksela, 2005*).

En cuanto a la reacción con ácidos orgánicos, se ha mostrado que la incorporación de cadenas de ácidos grasos en el almidón mejoran las características termoplásticas y la estabilidad térmica de los ésteres de almidón (*Peñaranda, 2008*).

## CAPÍTULO III.

### MATERIALES Y MÉTODOS

---

#### 3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para hacer posible la elaboración de un polímero a partir de almidón de cortezas de yuca, es necesario aportar ciertos reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los biopolímeros requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, elasticidad, extensión y resistencia.

El agua es recomendado como mejor el plastificante, sin embargo hay que tener mucho cuidado en que esta no se encuentre en concentraciones muy altas, ya que por una parte, su extracción requeriría de temperaturas elevadas dañando el almidón y sobretodo le daría un carácter muy rígido y frágil al biopolímero, ya que su presencia en la mezcla le brinda características plásticas al producto final (*Meneses et al, 2007*).

Contrarrestando esta realidad, se recomienda la adición de glicerina o glicerol a la mezcla ya que es otro agente plastificante que le brinda al producto final características elásticas, permitiendo su maleabilidad (*Meneses et al, 2007*).

El ácido acético es recomendado como modificador químico, ya que tiene la propiedad de disminuir el carácter hidrofílico de almidón, brindándole propiedades hidrofóbicas al material (*Heinze et al, 2006*).

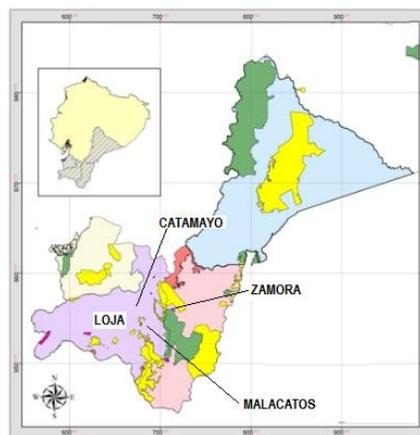
Conociendo estas especificaciones y debido a que la presente investigación está dirigida a la obtención de un biopolímero a partir de almidón de cortezas de yuca, fue necesario analizar el efecto que producen estas variables (almidón, agua, ácido acético y glicerina) para la obtención del mismo. Se recurrió a la utilización del método experimental, empleándose el modelo factorial  $axbxcxd$ . Para el análisis de los tratamientos se utilizó estadística descriptiva.

### 3.2 MATERIA PRIMA

La materia prima para la elaboración del biopolímero es el almidón, extraído de las cortezas de yuca (*Manihot esculenta*).

Como pruebas preliminares para la obtención del almidón, se recolectaron 1000 gr cortezas de yuca de tres zonas contiguas a la ciudad de Loja (Ecuador), específicamente del Cantón de Catamayo, de la Parroquia Malacatos y del Cantón de Zamora, de las cuales se extrajo la harina para obtener su porcentaje de almidón.

**FIGURA 6.** Determinación de los lugares de acopio de materia prima.



Fuente: <http://maps.google.com.ec>. Mapa de la Región Sur del Ecuador.

Una vez realizadas las pruebas preliminares, para la selección de la fuente de materia prima se tomaron en cuenta dos criterios: Porcentaje de almidón obtenido y disponibilidad de cortezas en el medio, escogiéndose la materia prima procedente de Malacatos.

Se recolectó 12kg de cortezas de yuca y se obtuvieron 5,985 kg de almidón para la realización de las matrices experimentales.

### 3.2.1 OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE CORTEZAS DE YUCA

La extracción de almidón se realizó a nivel de laboratorio mediante un proceso manual, el cual, es comúnmente utilizado por las familias que se dedican en forma artesanal a la obtención de almidón de yuca. Se siguieron los siguientes pasos:

- **Selección de las cortezas:** En esta operación se desecharon las cortezas en mal estado y se separaron la corteza externa de la interna. Desechándose la corteza externa.
  
- **Lavado de las cortezas:** Se realizó con agua fría, conjunto a un cepillo se procedió a eliminar todas las impurezas (lodo, pajas, piedras, etc.)
  
- **Licudo o Rayado de las cortezas:** Consistió en licuar las cortezas para reducir su tamaño. Esta operación se realizó mediante una licuadora industrial.

- **Filtrado:** Una vez reducido el tamaño de las cortezas, se filtró la mezcla obtenida mediante un filtro de tela (lienzo). Esta acción se repitió tres veces hasta que el agua de lavado dejó de presentar un color blanquecino.
  
- **Sedimentación:** Toda el agua de lavado se dejó en reposo en baldes plásticos durante 60min.
  
- **Decantación:** Se eliminó el agua que se encontraba en la parte superior del recipiente, al sedimento se le añadió más agua limpia y se dejó precipitar. Esta operación se realizó tres veces hasta que el agua sobrenadante quedó completamente clara.
  
- **Secado:** El precipitado se secó al sol durante tres días.
  
- **Tamizado:** Se procedió a desintegrar todos los grumos formados durante el proceso desecado mediante un molino eléctrico.

### 3.2.2 ANÁLISIS DEL ALMIDÓN

Los análisis del almidón se realizaron con el fin de evitar que sus propiedades interfirieran en la calidad del producto final obtenido.

### **3.2.2.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

Consiste en eliminar toda el agua libre de la muestra por volatilización. Para determinar el porcentaje de humedad se empleó la NORMA INEN 1462 Determinación de humedad en harinas.

Primero se requirió estabilizar la estufa durante 45 min para alcanzar la temperatura de trabajo (105-130 °C). Una vez que la estufa alcanzó la temperatura necesaria se introdujo la cápsula, se calentó durante 1 hora y se dejó enfriar. Se pesó 2gr de la muestra bien mezclada y se colocó en la cápsula para luego ser llevada a la estufa a 130 °C durante una hora. Se dejó enfriar en un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente. Una vez enfriada la muestra se reportó el residuo de harina como cantidad de sólidos totales y pérdida de peso como humedad (método indirecto).

### **3.2.2.2 DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS**

Consiste en determinar alguna partícula extraña (piedras, ramas o insectos), que pudiera haber permanecido durante el proceso de extracción del almidón.

Se dispersó completamente 5gr de muestra en 30 mililitros de agua destilada en un platillo cristizador y se dejó sedimentar la suspensión durante dos horas. Se comparó la muestra con otra normal para ver el contenido de impurezas y partículas extrañas observadas desde la parte inferior del recipiente y en suspensión en el líquido.

En el siguiente cuadro se puede observar la escala de calidad establecida A, B y C de acuerdo a la cantidad de impurezas presente.

### **Especificaciones**

<b>CALIDAD</b>	<b>IMPUREZAS</b>
<b>A</b>	Ninguna
<b>B</b>	Muy Pocas
<b>C</b>	Pocas

### **3.2.2.3 DETERMINACIÓN DE APARIENCIA EN SECO**

Consiste en determinar la calidad final del almidón secó, su apariencia, color y la presencia de manchas extrañas en la muestra.

Se tomó una cantidad suficiente de almidón, para formar con ella un rectángulo de aproximadamente, 2,5mmx3mm de longitud y 1,5 mm de altura. Se colocó el almidón sobre una hoja de papel blanco y con una espátula se le dió forma aplastando uno de los lados; junto a este se hizo otro montoncito análogo con un almidón normal. Los dos montoncitos se observaron y compararon a luz neutral, sin reflejos directos y sin sombras.

En el siguiente cuadro se puede observar la escala de calidad establecida A, B y C de acuerdo a la apariencia en seco que presentó la muestra de almidón.

### **Especificaciones**

<b>CALIDAD</b>	<b>IMPUREZAS</b>
<b>A</b>	Ninguna
<b>B</b>	Muy Pocas
<b>C</b>	Pocas

#### **3.2.2.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ALMIDÓN**

Para determinar el porcentaje de almidón se empleó la NORMA INEN 0524 Harinas de origen vegetal. Determinación de almidón.

Se pesaron alrededor de 5gr de harina. La muestra fue lavada con agua destilada tres veces y se filtró utilizando un lienzo. Al agua resultante de este proceso se le añadió metanol para que el almidón precipite. Luego se procedió a filtrar el agua resultante usando papel filtro. El almidón retenido en el papel, se secó y se pesó. Para comparar el rendimiento de la muestra se utilizó como patrón harina de yuca comercial.

### **3.3 OBTENCIÓN DEL BIOPOLÍMERO**

#### **3.3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Para comprobar la hipótesis planteada en la presente investigación, se utilizó el diseño factorial  $axbxcxd$ , es decir se manipularon cuatro variables independientes:

almidón (a), glicerina (b), agua (c), y ácido acético (d); todas las variables con tres niveles (alto, medio, bajo). Además se realizó una replica por cada ensayo y se estableció el rango óptimo de temperatura dentro del cual se dió el mejor proceso de polimerización.

### **3.3.2 TRATAMIENTOS**

Inicialmente se evaluaron 81 tratamientos, que resultan en la combinación de 3 niveles de almidón x 3 niveles de glicerina x 3 niveles de ácido acético x 3 niveles de agua; con dos repeticiones cada una (R1 Y R2), aplicado en tres matrices.

### **3.3.3 VARIABLES EN ESTUDIO**

Las variables dependientes utilizadas para determinar la calidad del producto final fueron:

- Olor
- Uniformidad
- Adaptación al molde
- Secado
- Humedad
- Penetración
- Absorción de agua
- Densidad.

### 3.3.4 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CADA UNO DE LOS FACTORES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Debido a que la estructura y textura del biopolímero está directamente relacionado con las proporciones de agua y almidón que constituyen la mezcla, se realizaron pruebas preliminares<sup>17</sup> en las cuales se fue variando la relación de porcentajes entre el agua y el almidón.

La cantidad de almidón se mantuvo constante durante todo el proceso y se fue variando la cantidad de agua adicionada a la mezcla.

Se tomaron como iniciadores la relación almidón:agua (1:0,5). Un gramo de almidón, por cada 0,5 gramos de agua. Se fue aumentando 1 gramo de agua por cada prueba hasta llegar a una relación almidón:agua (1:10) Los intervalos establecidos fueron los siguientes:

**CUADRO 6.** Intervalos establecidos para las pruebas preliminares de almidón

INTERVALOS DE LAS PRUEBAS PRELIMIANRES	
CANTIDAD DE ALMIDON (gr)	CANTIDAD DE H <sub>2</sub> O (gr)
1	0,5
1	1
1	2
1	3
1	4
1	5
1	6
1	7
1	8
1	9
1	10

Elaboración: La Autora

<sup>17</sup> Los resultados de las pruebas preliminares se encuentran adjuntas en los ANEXOS.

Una vez realizadas las pruebas preliminares, se seleccionaron los rangos dentro de los cuales se llegó a dar el proceso de polimerización, y a partir de estos resultados se establecieron los valores medios para la elaboración de las 3 matrices del diseño experimental, estas están expuestas en el cuadro 7.

**CUADRO 7.** Relaciones medias seleccionadas para la elaboración de las 3 matrices del diseño experimental. Relación peso/peso

PRIMERA RELACION (MATRIZ 1)	RELACION ALMIDON (gr) / AGUA (gr) 1:2
SEGUNDA RELACION (MATRIZ 2)	RELACION ALMIDON (gr) / AGUA (gr) 1:3
TERCERA RELACION (MATRIZ 3)	RELACION ALMIDON (gr) / AGUA (gr) 1:6

Elaboración: La Autora

Los niveles de glicerina fueron de 5%-10% y los niveles de ácido acético de 0,1%-10% por composición de mezcla para cada una de las tres matriz del diseño experimental.

Estas relaciones se establecieron para los niveles medios de cada una de las tres matrices. Los niveles altos y bajo presentaron una variación de más  $\pm 10$ gr para el almidón,  $\pm 0,2$ gr para el ácido acético y  $\pm 1$ gr para la glicerina.

En los cuadros 9, 11, 13; se describen los niveles establecidos para los tres tratamientos.

- **Primera Relación:** Para la relación almidón:agua 1:2 se establecieron los siguientes porcentajes.

**CUADRO 8.** Porcentajes de las variables independientes de la matriz 1, de la relación almidón agua 1:2

VARIABLES	ALMIDÓN	AGUA	ACIDO ACÉTICO	GLICERINA
<b>PORCENTAJES %</b>	31	62	0,3	6,7

**Elaboración:** La Autora

**CUADRO 9.** Niveles de las variables independientes de la matriz 1. (Relación peso/peso, almidón agua 1:2).

VARIABLES	ALMIDÓN	AGUA	ACIDO ACÉTICO	GLICERINA
<b>ALTO (gr)</b>	41	72	0,5	7,7
<b>MEDIO (gr)</b>	31	62	0,3	6,7
<b>BAJO (gr)</b>	21	52	0,1	5,7

**Elaboración:** La Autora

- **Segunda Relación:** Para la relación almidón:agua 1:3 se establecieron los siguientes porcentajes.

**CUADRO 10.** Porcentajes de las variables independientes de la matriz 2, de la relación almidón agua 1:3

VARIABLES	ALMIDÓN	AGUA	ACIDO ACÉTICO	GLICERINA
<b>PORCENTAJES %</b>	23	69	0,4	7,6

**Elaboración:** La Autora

**CUADRO 11.** Niveles de las variables independientes de la matriz 2. (Relación peso/peso, almidón agua 1:3).

VARIABLES	ALMIDÓN	AGUA	ACIDO ACÉTICO	GLICERINA
<b>ALTO (gr)</b>	33	79	0,6	8,6
<b>MEDIO (gr)</b>	23	69	0,4	7,6
<b>BAJO (gr)</b>	13	59	0,2	6,6

**Elaboración:** La Autora

- **Tercera Relación:** Para la relación almidón :agua 1:6 se establecieron los siguientes porcentajes.

**CUADRO 12.** Porcentajes de las variables independientes de la matriz 3, de la relación almidón agua 1:6

VARIABLES	ALMIDÓN	AGUA	ACIDO ACÉTICO	GLICERINA
PORCENTAJES %	13	78	0,5	8,5

Elaboración: La Autora

**CUADRO 13.** Niveles de las variables independientes de la matriz 3. (Relación peso/peso, almidón agua 1:6)

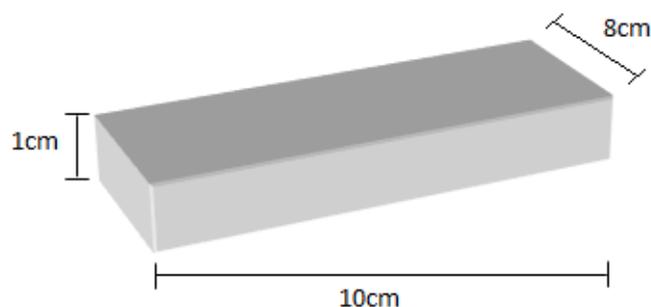
VARIABLES	ALMIDÓN	AGUA	ACIDO ACÉTICO	GLICERINA
ALTO (gr)	23	88	0,7	9,5
MEDIO (gr)	13	78	0,5	8,5
BAJO (gr)	3	68	0,3	7,5

Elaboración: La Autora

Los niveles establecidos para las tres matrices fueron propuestos en base a las pruebas preliminares realizadas, en las que se pudo establecer los rangos dentro de los cuales se daba el proceso de polimerización en base a la relación almidón:agua.

Los moldes utilizados fueron hechos de material plástico de 10X8X1cm.

**FIGURA 7.** Moldes de material plástico



Elaboración: La Autora

### 3.3.5 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIOPOLÍMERO

Las diferentes proporciones de almidón obtenido de las cortezas de yuca, fue mezclado con la glicerina y las diferentes cantidades de agua destilada hasta lograr una pasta uniforme, es decir que no quede ningún grumo sobrenadando o harina en los bordes. Una vez que la mezcla fue hecha, se añadió ácido acético y se calentó con agitación constante hasta finalizar el proceso. Se controló la temperatura, no debe sobre-pasar los 69°C. Una vez obtenido el biopolímero con ayuda de una espátula, se colocó el producto final sobre los moldes y se dejó secar en la estufa a 40°C hasta que alcanzó una humedad del 10%.

### 3.3.6 OPERATIVIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

La determinación de la calidad de los biopolímeros obtenidos con las diferentes combinaciones de los factores en estudio, se hizo en base a los siguientes análisis de laboratorio.

**CUADRO 14.** Propiedades tomadas en cuenta para el análisis del biopolímero.

<b>ANÁLISIS DEL BIOPOLÍMERO</b>
Olor
Uniformidad
Adaptación al molde de ensayo
Secado
Humedad
Resistencia al Impacto
Densidad
Absorción al Agua

**Elaboración:** La Autora

### 3.3.7 ANÁLISIS DEL BIOPÓLIMERO

#### 3.3.7.1 NÚMERO DE PRUEBAS

Se realizaron 486 tratamientos empleando las 81 combinaciones del diseño experimental con dos repeticiones y tres matrices para cada una. A todos se les realizó tres análisis iniciales: Capacidad de adaptación al molde, uniformidad y olor. De estos tres análisis se seleccionaron 80 ensayos, los cuales se observaron durante el tiempo de secado. De las muestras secas se escogieron 40 tratamientos que presentaron una calidad tipo A y se les realizó análisis de penetración, densidad y absorción de agua. En base a estos resultados se seleccionó el mejor tratamiento.

#### 3.3.7.2 OLOR

Se realizó mediante el contacto directo con las muestras al momento de su elaboración. Se percibió si las muestras presentan algún olor desagradable (vinagre) como el que presenta el ácido acético.

En el siguiente cuadro se puede observar la escala de calidad establecida A y B de acuerdo a la ausencia o presencia de olor.

#### Especificaciones

CALIDAD	OLOR
A	NO PRESENTA
B	PRESENTA

### 3.3.7.3 UNIFORMIDAD

Se realizó mediante el contacto directo con las muestras al momento de su elaboración. Se observó la uniformidad que presenta el material, es decir si todo el material polimerizó, no presenta quemaduras y su color es crema claro.

En el siguiente cuadro se puede observar la escala de calidad establecida A, B y C de acuerdo a la uniformidad y apariencia que presentaron las muestras

#### Especificaciones

CALIDAD	UNIFORMIDAD	APARIENCIA
A	Uniforme	Polimeriza completamente
B	Parcialmente Uniforme	Polimeriza parcialmente
C	No uniforme	No polimeriza

### 3.3.7.4 ADAPTABILIDAD AL MOLDE

Se realizó mediante el contacto directo con las muestras al momento de su elaboración. Se observó la capacidad del biopolímero de adaptarse al molde de ensayo, es decir si lo hace con facilidad, o si es muy viscoso y no corre sobre el molde.

En el siguiente cuadro se puede observar la escala de calidad establecida A, B y C de acuerdo a la capacidad del biopolímero a adaptarse al molde.

### Especificaciones

CALIDAD	ADAPTABILIDAD AL MOLDE
A	Completamente
B	Parcialmente
C	No se adapta

#### 3.3.7.5 Secado

Tiene como objeto eliminar el agua superficial del biopolímero mediante evaporación. Las muestras fueron secadas en una estufa a 40°C, y se controló su pérdida de peso cada dos horas. Estas fueron desecadas hasta alcanzar una humedad del 10-15%. Menor a esta humedad el biopolímero pierde su humectación y se vuelve frágil y quebradizo. Al finalizar el proceso de secado se observó las propiedades que presentaba el biopolímero, como son: uniformidad, contracción y forma.

En el siguiente cuadro se puede observar la escala de calidad establecida A, B y C de acuerdo a las propiedades observadas luego del proceso de secado.

### Especificaciones

SECADO				
CALIDAD	SECADO	UNIFORME	CONTRACCIÓN	FORMA
A	Completamente	Completamente	0 - 0,1mm	Mantiene
B	Parcialmente	Parcialmente	0,5 - 10mm	Mantiene difícilmente
C	No se adapta	No es uniforme	>10mm	No mantiene

### **3.3.7.6 Humedad**

Se utilizó la NORMA ASTM D6980-09 Standard Test Methods for Determine Moisture in Plastics

Se estabilizó la estufa a  $40^{\circ}\text{C} \pm 5$ . Se pasaron las muestras y se colocaron en la estufa durante 4 horas. Las muestras se enfriaron e inmediatamente pesaron y la humedad fue calculada en relación a la pérdida de peso.

### **3.3.7.7 Densidad**

Se utilizó la NORMA ASTM D792-08 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by displacement.

Este método permite determinar la gravedad específica (densidad relativa) y densidad de los plásticos sólidos ya sea en forma de tubos, láminas, varillas y artículos moldeados.

Se empleó el método para pruebas de plástico sólidos en agua. Se pesaron las 40 muestras de ensayo. Luego se colocó en un vaso de precipitación agua destilada en la cual se sumergieron las muestras. Se adjuntó a la balanza un trozo de alambre fino largo para llegar desde el tope por encima de la balanza hasta el fondo del vaso de precipitación. La muestra de biopolímero se insertó en el alambre, se sumergió en el vaso de precipitación sin tocar el fondo del mismo y se registró su peso.

### 3.3.7.8 Absorción de Agua

Se utilizó la NORMA ASTM D570 – 98 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

Mediante este análisis se puede determinar el rango relativo de absorción de agua de los plásticos al ser sumergidos en ella. Este método se aplica a todos los tipos de plástico, incluyendo aquellos que se han moldeado en frío o en caliente, plásticos homogéneos y laminados en barra, en forma de tubo y en hojas de 0,13 mm o más de espesor.

Para la elaboración de la muestra se empleó el modelo de la NORMA ISO de 40X30X1mm ( $\pm 0,5$  de espesor).

Primero las muestras fueron secadas en la estufa durante dos horas a  $170^{\circ}\text{C} \pm 5$ , enfriadas e inmediatamente pesadas. Luego las muestras se sumergieron en un contenedor de agua destilada durante 24 horas a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Una vez terminado el tiempo las muestras fueron retiradas del agua una por una, fueron secadas con un paño seco para remover toda el agua superficial y fueron pesadas.

Inmediatamente las muestras se sumergieron nuevamente en agua. Y se las dejó totalmente sumergidas durante un mes. El aumento de peso por absorción de agua fue controlado cada dos días durante la primera semana y luego una vez por semana.

### 3.3.7.9 Penetración

Se utilizó la NORMA ASTM F1306-02 Standard Test Method for slow penetration resistance on flexible plastic barrier laminate

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura.

Primero se comprobó que el vástago de la aguja estuviese completamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre la guía. Se colocó el peso suplementario de 50gr sobre el vástago, para poder obtener el peso móvil total de  $100 \pm 1$  gr. Cada una de las muestras fue colocada sobre el soporte y la penetración tuvo una duración de 5 seg. Se realizaron tres repeticiones para cada muestra, sobre diferentes puntos de la superficie separados, con mínimo 10mm entre si. Se registraron las medidas obtenidas en cada penetración y se obtuvo un promedio entre las tres repeticiones.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

---

#### 4.1 OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

##### 4.1.1 PRUEBAS PRELIMINARES PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

Se recolectaron cortezas de yuca de tres zonas contiguas a la ciudad de Loja (Ecuador), específicamente del Cantón de Catamayo, la Parroquia Malacatos y del Cantón de Zamora.

En el cuadro 15 se muestra el rendimiento de obtención de harinas de cada una de las materias primas utilizadas para esta investigación

**CUADRO 15.** Rendimiento de obtención de harinas de cada una de las materias primas de los tres sitios de recolección.

LUGAR	RENDIMIENTO
CATAMAYO	63,1%
ZAMORA	65,4%
MALACATOS	63,5%

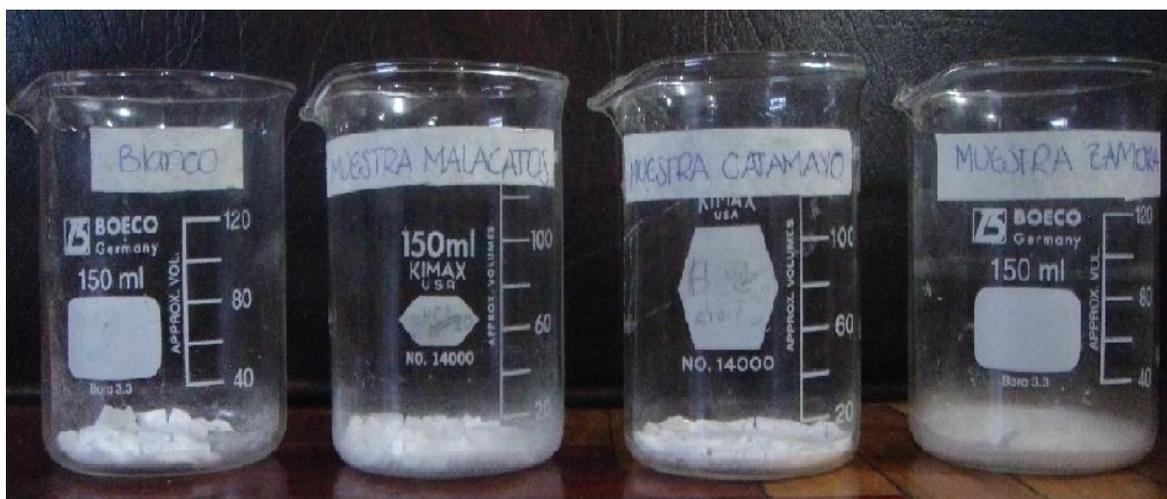
**Elaboración:** La autora

En el cuadro 16 se muestran los porcentajes de almidón de cada una de las materias primas procedentes de los tres sitios de recolección.

**CUADRO 16.** Porcentaje de almidón de las muestras de harina de corteza de yuca obtenidas de las tres zonas de recolección.

LUGAR	PORCENTAJE DE ALMIDÓN
CATAMAYO	65,59%
ZAMORA	66,71%
MALACATOS	65,85%
BLANCO	99,94%

Elaboración: La autora



**Figura 8.** Almidón obtenido a partir la harina de corteza de yuca de las tres distintas zonas de recolección.

No existió varianza significativa entre las muestras de las tres zonas de recolección, la varianza obtenida fue de  $\sigma^2 = 0,34$ . Por lo que se decidió trabajar con la materia prima de Malacatos debido a la facilidad de obtención del desecho en los restaurantes locales.

#### 4.1.2 ANALISIS DEL ALMIDÓN

Al almidón obtenido se le realizaron cuatro parámetros de laboratorio para garantizar que sus propiedades no afecten la calidad del producto final, obteniéndose los resultados citados en el cuadro 17.

**CUADRO 17.** Parámetros utilizados para caracterizar al almidón de la corteza de yuca de Malacatos.

TIPO DE ANÁLISIS	RESULTADOS
HUMEDAD	14,17%
APARIENCIA EN SECO	A
IMPUREZAS	A
PORCENTAJE DE ALMIDÓN	65,85%

**Elaboración:** La autora

#### 4.2 ANALISIS DEL BIOPOLÍMERO

De acuerdo a los requerimientos que debe presentar el material para utilizarlo como materia prima para la elaboración de artículos de decoración y uso doméstico se analizaron siete propiedades o variables dependientes al biopolímero obtenido: olor, uniformidad, adaptabilidad al molde, secado, densidad, penetración y absorción de agua.

Para identificación de los resultados de las propiedades medidas en cada tratamiento se describieron las cantidades en gramos de cada uno de los factores manteniendo un orden constante de (almidón) (glicerina) (agua) (ácido acético), en todos los análisis.

#### 4.2.1 OLOR, UNIFORMIDAD Y ADAPTABILIDAD AL MOLDE

Los resultados de estas tres propiedades se presentan en los cuadros 18, 19 y 20; que corresponden a las matrices 1, 2 y 3 del diseño experimental, anotándose entre paréntesis la composición en gramos de los cuatro componentes de cada muestras: almidón, glicerina, agua y ácido acético.

#### MATRIZ 1

CUADRO 18. Olor, apariencia y adaptabilidad al molde de las muestras de la MATRIZ 1.

N° DE MUESTRA (gr)	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(41)(7,7)(72)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(72)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(21)(7,7)(72)(0,5)	A	A	B	B	A	A
(41)(6,7)(72)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(72)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(21)(6,7)(72)(0,5)	A	A	B	B	A	A
(41)(5,7)(72)(0,5)	A	A	C	C	B	B
(31)(5,7)(72)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(21)(5,7)(72)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(41)(7,7)(72)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(72)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(21)(7,7)(72)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(41)(6,7)(72)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(72)(0,3)	A	A	B	A	B	B
(21)(6,7)(72)(0,3)	A	A	B	B	A	A
(41)(5,7)(72)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(72)(0,3)	A	A	B	B	C	C
(21)(5,7)(72)(0,3)	A	A	B	B	A	A
(41)(7,7)(72)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(72)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(21)(7,7)(72)(0,1)	A	A	B	B	C	C
(41)(6,7)(72)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(72)(0,1)	A	A	B	A	B	B
(21)(6,7)(72)(0,1)	A	A	B	B	A	A
(41)(5,7)(72)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(72)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(21)(5,7)(72)(0,1)	A	A	A	A	A	A
(41)(7,7)(62)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(62)(0,5)	A	A	C	C	C	C

Continúa...

CUADRO 18. Continuación...

N° DE MUESTRA	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(21)(7,7)(62)(0,5)	A	A	B	B	A	A
(41)(6,7)(62)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(62)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(21)(6,7)(62)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(41)(5,7)(62)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(62)(0,5)	A	A	B	B	C	C
(21)(5,7)(62)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(41)(7,7)(62)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(62)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(21)(7,7)(62)(0,3)	A	A	A	A	B	B
(41)(6,7)(62)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(62)(0,3)	A	A	A	A	B	B
<b>(21)(6,7)(62)(0,3)</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
(41)(5,7)(62)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(62)(0,3)	A	A	B	B	B	B
(21)(5,7)(62)(0,3)	A	A	A	B	B	B
(41)(7,7)(62)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(62)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(21)(7,7)(62)(0,1)	A	A	C	C	B	B
(41)(6,7)(62)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(31)(6,7)(62)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(21)(6,7)(62)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(41)(5,7)(62)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(62)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(21)(5,7)(62)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(41)(7,7)(52)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(52)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(21)(7,7)(52)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(41)(6,7)(52)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(52)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(21)(6,7)(52)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(41)(5,7)(52)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(52)(0,5)	A	A	B	C	B	B
(21)(5,7)(52)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(41)(7,7)(52)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(52)(0,3)	A	A	B	B	B	B
(21)(7,7)(52)(0,3)	A	A	B	B	B	B
(41)(6,7)(52)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(52)(0,3)	A	A	B	B	B	B
(21)(6,7)(52)(0,3)	A	A	B	B	B	B
(41)(5,7)(52)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(52)(0,3)	A	A	B	B	B	B

Continúa...

N° DE MUESTRA	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(21)(5,7)(52)(0,3)	A	A	B	B	B	B
(41)(7,7)(52)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(7,7)(52)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(21)(7,7)(52)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(41)(6,7)(52)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(6,7)(52)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(21)(6,7)(52)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(41)(5,7)(52)(0,1)	A	A	C	C	C	C
(31)(5,7)(52)(0,1)	A	A	B	B	B	B
(21)(5,7)(52)(0,1)	A	A	B	B	B	B

**Elaboración:** La Autora

(**OLOR:** (A: no presenta Y B: presenta)), (**APARIENCIA:** (A: uniforme y polimeriza completamente, B: parcialmente uniforme y polimeriza parcialmente, Y C: no es uniforme y no polimeriza)) Y (**ADAPTABILIDAD AL MOLDE:** (A: completamente, B: difícilmente, Y C: no se adapta al molde)).

Todas las 81 muestras trabajadas en la matriz I, con la relación almidón:agua 1:2, fueron inoloras, no presentando ningún olor desagradable, lo que demuestra que los niveles utilizados en la matriz eran adecuados desde el punto de vista estético; respecto a la apariencia solamente 5 tratamientos (6%) terminaron el proceso de polimerización, y la gran mayoría no lo hizo porque la cantidad de plastificante (agua y glicerina) no resultó suficiente para hidratar todos los gránulos de almidón, por lo que estos permanecieron secos en forma de grumos.

Como la orientación del producto final es a la utilización del biopolímero en la confección de artículos de decoración, se analizó la capacidad de adaptación al molde, encontrándose que 8 tratamientos (10%) se adaptaban completamente al molde. Solamente 4 tratamientos (5%) alcanzaron una calificación de A en las tres variables en estudio, mismos que se encuentran resaltados con color verde.

## MATRIZ 2

CUADRO 19. Olor, apariencia y adaptabilidad al molde de las muestras de la MATRIZ 2.

N° DE MUESTRA (gr)	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(33)(8,6)(79)(0,6)	A	A	B	B	B	B
(23)(8,6)(79)(0,6)	A	A	B	B	A	A
(13)(8,6)(79)(0,6)	A	A	B	B	A	A
(33)(7,6)(79)(0,6)	A	A	B	B	B	B
(23)(7,6)(79)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,6)(79)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(79)(0,6)	A	A	B	B	A	A
(23)(6,6)(79)(0,6)	A	A	B	B	A	A
(13)(6,6)(79)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(79)(0,4)	A	A	C	C	B	B
(23)(8,6)(79)(0,4)	A	A	B	B	A	A
(13)(8,6)(79)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(79)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,6)(79)(0,4)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,6)(79)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(79)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(6,6)(79)(0,4)	A	A	B	B	B	B
(13)(6,6)(79)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(79)(0,2)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,6)(79)(0,2)	A	A	B	B	B	B
(13)(8,6)(79)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(79)(0,2)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,6)(79)(0,2)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,6)(79)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(79)(0,2)	A	A	B	B	C	C
(23)(6,6)(79)(0,2)	A	A	B	B	A	A
(13)(6,6)(79)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(69)(0,6)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,6)(69)(0,6)	A	A	B	B	B	B
(13)(8,6)(69)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(69)(0,6)	A	A	B	B	C	C
(23)(7,6)(69)(0,6)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,6)(69)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(69)(0,6)	A	A	C	C	C	C
(23)(6,6)(69)(0,6)	A	A	B	B	B	B
(13)(6,6)(69)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(69)(0,4)	A	A	B	B	A	A
(23)(8,6)(69)(0,4)	A	A	B	B	A	A
(13)(8,6)(69)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(69)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,6)(69)(0,4)	A	A	A	A	A	A

Continúa...

N° DE MUESTRA (gr)	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(13)(7,6)(69)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(69)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(6,6)(69)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(13)(6,6)(69)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(69)(0,2)	A	A	B	B	B	B
(23)(8,6)(69)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,6)(69)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(69)(0,2)	A	A	B	B	B	B
(23)(7,6)(69)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,6)(69)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(69)(0,2)	A	A	B	B	B	B
(23)(6,6)(69)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(13)(6,6)(69)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(59)(0,6)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,6)(59)(0,6)	A	A	A	A	B	B
(13)(8,6)(59)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(59)(0,6)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,6)(59)(0,6)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,6)(59)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(59)(0,6)	A	A	C	C	C	C
(23)(6,6)(59)(0,6)	A	A	A	A	B	B
(13)(6,6)(59)(0,6)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(59)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,6)(59)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,6)(59)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(59)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,6)(59)(0,4)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,6)(59)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(59)(0,4)	A	A	C	C	C	C
(23)(6,6)(59)(0,4)	A	A	A	A	B	B
(13)(6,6)(59)(0,4)	A	A	A	A	A	A
(33)(8,6)(59)(0,2)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,6)(59)(0,2)	A	A	A	A	B	B
(13)(8,6)(59)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(7,6)(59)(0,2)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,6)(59)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,6)(59)(0,2)	A	A	A	A	A	A
(33)(6,6)(59)(0,2)	A	A	C	C	C	C
(23)(6,6)(59)(0,2)	A	A	B	B	B	B
(13)(6,6)(59)(0,2)	A	A	A	A	A	A

Elaboración: La Autora

(OLOR: (A: no presenta Y B: presenta)), (APARIENCIA: (A: uniforme y polimeriza completamente, B: parcialmente uniforme y polimeriza parcialmente, Y C: no es uniforme

y no polimeriza)) Y (**ADAPTABILIDAD AL MOLDE:** (A: completamente, B: difícilmente, Y C: no se adapta al molde)).

Como se observa en el cuadro anterior cuando se aumentó la relación de agua con respecto al almidón, se obtuvieron mejores resultados, ya que de las 81 muestras analizadas igualmente todas fueron inoloras, 38 (47%) completaron su proceso de polimerización obteniendo un resultado uniforme y 42 (52%) se adaptaron fácilmente a los moldes.

Se obtuvieron mejores resultados debido a que la cantidad de agua en relación al almidón aumentó en un 10%, por lo que todos los gránulos de almidón se hidrolizaron. Sin embargo casi la mitad de las muestras no culminó correctamente su proceso de polimerización y no se adaptó correctamente al molde debido a que la cantidad de almidón aún era excesiva y existió una mayor resistencia al mezclado debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que generó una mayor rigidez, volviéndolo muy viscoso (*Meneses et al, 2007*).

Considerando los resultados de las tres propiedades, 31 tratamientos (38%) presentaron características óptimas para la elaboración de artículos de decoración, mismos que están resaltados de color verde.

### MATRIZ 3

**CUADRO 20.** Olor, apariencia y adaptabilidad al molde de las muestras de la MATRIZ 3.

N° DE MUESTRA (gr)	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(23)(9,5)(88)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(88)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(88)(0,7)	A	A	C	C	C	C

Continúa...

CUADRO 20. Continuación...

N° DE MUESTRA (gr)	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(23)(8,5)(88)(0,7)	A	A	B	B	B	B
(13)(8,5)(88)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(88)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(88)(0,7)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,5)(88)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(88)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(88)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(13)(9,5)(88)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(88)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(88)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(13)(8,5)(88)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(88)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(88)(0,5)	A	A	B	B	B	B
(13)(7,5)(88)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(88)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(88)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(88)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(88)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(88)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,5)(88)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(88)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(88)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,5)(88)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(88)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(78)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(78)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(78)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(78)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,5)(78)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(78)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(78)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,5)(78)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(78)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(78)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(78)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(78)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(78)(0,5)	A	A	B	B	A	A
(13)(8,5)(78)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(78)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(78)(0,5)	A	A	B	B	A	A
(13)(7,5)(78)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(78)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(78)(0,3)	A	A	B	A	A	A
(13)(9,5)(78)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(78)(0,3)	A	A	C	C	C	C

Continúa...

CUADRO 20. Continuación...

N° DE MUESTRA (gr)	OLOR		APARIENCIA		ADAPTABILIDAD	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2
(23)(8,5)(78)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,5)(78)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(78)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(78)(0,3)	A	A	B	B	A	A
(13)(7,5)(78)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(78)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(68)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(68)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(68)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(68)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,5)(68)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(68)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(68)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,5)(68)(0,7)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(68)(0,7)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(68)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(68)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(68)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(68)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,5)(68)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(68)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(68)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,5)(68)(0,5)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(68)(0,5)	A	A	C	C	C	C
(23)(9,5)(68)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(9,5)(68)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(9,5)(68)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(8,5)(68)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(8,5)(68)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(8,5)(68)(0,3)	A	A	C	C	C	C
(23)(7,5)(68)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(13)(7,5)(68)(0,3)	A	A	A	A	A	A
(3)(7,5)(68)(0,3)	A	A	C	C	C	C

**Elaboración:** La Autora

(**OLOR:** (A: no presenta Y B: presenta)), (**APARIENCIA:** (A: uniforme y polimeriza completamente, B: parcialmente uniforme y polimeriza parcialmente, Y C: no es uniforme y no polimeriza)) Y (**ADAPTABILIDAD AL MOLDE:** (A: completamente, B: difícilmente, Y C: no se adapta al molde)).

Observando los resultados presentados en el cuadro anterior, se ratifica que al aumentar la relación de agua con respecto al almidón, se obtiene mejores resultados, el 100% de los tratamientos resultaron inoloros, 46 tratamientos (57%) completaron el proceso de polimerización y 49 tratamientos (60%) tuvieron una buena adaptación al molde.

Los resultados de la matriz 3 mejoraron casi en un 15% en relación a la matriz 2, esto se debe a que la cantidad de agua adicionada a la mezcla es la adecuada para que los gránulos de almidón se hidrolicen correctamente y el proceso de polimerización culmine sin generar una alta viscosidad.

Sin embargo las muestras que presentaron un porcentaje de agua mayor al 85%, permanecieron en estado de gel, debido a que superaban los límites permitidos de plastificante en la mezcla que es alrededor de 70%-75% (*Meneses et al, 2007*).

Considerando las tres propiedades, 45 tratamientos (56%) obtuvieron resultados satisfactorios para su utilización.

#### **4.2.2 ANÁLISIS DE SECADO**

En función de las propiedades utilizadas: olor, apariencia y adaptabilidad al molde; en las tres matrices se escogieron 80 tratamientos, los cuales presentaron una calidad TIPO A en el momento de su elaboración. Estas muestras fueron secadas bajo atmósfera controlada a 40°C hasta alcanzar una humedad del 10 -15 %. Una vez finalizado el proceso se obtuvieron los resultados expuestos en los cuadros 21 y 22.

CUADRO 21. Resultados de las características observadas durante el secado.

N° DE MUESTRA (gr)	MUESTRAS SECAS		
	R1	R2	
1	(21)(5,7)(72)(0,5)	B	B
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	A	A
3	(21)(5,7)(72)(0,1)	B	B
4	(21)(6,7)(62)(0,3)	A	A
5	(23)(7,6)(79)(0,6)	A	A
6	(13)(8,6)(79)(0,4)	A	A
7	(13)(7,6)(79)(0,4)	B	B
8	(13)(6,6)(79)(0,4)	A	A
9	(13)(8,6)(79)(0,2)	B	B
10	(13)(7,6)(79)(0,2)	A	A
11	(13)(6,6)(79)(0,2)	B	B
12	(13)(8,6)(69)(0,6)	B	B
13	(13)(7,6)(69)(0,6)	B	B
14	(13)(6,6)(69)(0,6)	B	B
15	(13)(8,6)(69)(0,4)	B	B
16	(23)(7,6)(69)(0,4)	B	B
17	(13)(7,6)(69)(0,4)	B	B
18	(13)(6,6)(69)(0,4)	B	B
19	(23)(8,6)(69)(0,2)	B	B
20	(13)(8,6)(69)(0,2)	B	B
21	(23)(7,6)(69)(0,2)	B	A
22	(13)(7,6)(69)(0,2)	A	A
23	(23)(6,6)(69)(0,2)	B	B
24	(13)(6,6)(69)(0,6)	B	B
25	(13)(8,6)(59)(0,6)	B	B
26	(13)(7,6)(59)(0,6)	B	B
27	(13)(6,6)(59)(0,6)	A	A
28	(23)(8,6)(59)(0,4)	A	A
29	(13)(8,6)(59)(0,4)	B	B
30	(13)(7,6)(59)(0,4)	A	A
31	(13)(6,6)(59)(0,4)	A	A
32	(23)(7,6)(59)(0,2)	A	A
33	(13)(8,6)(59)(0,2)	A	A
34	(13)(7,6)(59)(0,2)	A	A
35	(13)(6,6)(59)(0,2)	A	A
36	(23)(9,5)(88)(0,7)	A	A
37	(13)(9,5)(88)(0,7)	B	B
38	(13)(8,5)(88)(0,7)	A	A
39	(13)(7,5)(88)(0,7)	B	B
40	(13)(9,5)(88)(0,5)	A	A
41	(13)(8,5)(88)(0,5)	B	B
42	(13)(7,5)(88)(0,5)	B	B
43	(23)(9,5)(88)(0,3)	A	A
44	(13)(9,5)(88)(0,3)	A	A
45	(23)(8,5)(88)(0,3)	A	A
46	(13)(8,5)(88)(0,3)	B	B
47	(23)(7,5)(88)(0,3)	A	A

Continúa...

	N° DE MUESTRA (gr)	MUESTRAS SECAS	
		R1	R2
48	(13)(7,5)(88)(0,3)	B	B
49	(23)(9,5)(78)(0,7)	A	A
50	(13)(9,5)(78)(0,7)	B	B
51	(23)(8,5)(78)(0,7)	A	A
52	(13)(8,5)(78)(0,7)	A	A
53	(23)(7,5)(78)(0,7)	B	B
54	(13)(7,5)(78)(0,7)	A	A
55	(13)(9,5)(78)(0,5)	B	B
56	(23)(9,5)(78)(0,5)	A	A
57	(13)(8,5)(78)(0,5)	A	A
58	(13)(7,5)(78)(0,5)	A	A
59	(13)(9,5)(78)(0,3)	A	A
60	(23)(8,5)(78)(0,3)	A	A
61	(13)(8,5)(78)(0,3)	B	B
62	(13)(7,5)(78)(0,3)	A	A
63	(23)(9,5)(68)(0,7)	A	A
64	(13)(9,5)(68)(0,7)	A	A
65	(23)(8,5)(68)(0,7)	B	B
66	(13)(8,5)(68)(0,7)	B	B
67	(23)(7,5)(68)(0,7)	A	A
68	(13)(7,5)(68)(0,7)	B	B
69	(23)(9,5)(68)(0,5)	B	B
70	(13)(9,5)(68)(0,5)	A	A
71	(23)(8,5)(68)(0,5)	B	B
72	(13)(8,5)(68)(0,5)	A	A
73	(23)(7,5)(68)(0,5)	B	B
74	(13)(7,5)(68)(0,5)	A	A
76	(13)(9,5)(68)(0,3)	B	B
77	(23)(8,5)(68)(0,3)	A	A
78	(13)(8,5)(68)(0,3)	A	A
79	(23)(7,5)(68)(0,3)	A	A
80	(13)(7,5)(68)(0,3)	B	B

**Elaboración:** La Autora

**A:** completamente seco, se contrae de 0,1-0,4 mm y mantiene su forma, **B:** parcialmente uniforme, se contrae de 0,5-10mm y mantiene difícilmente su forma, y **C:** no es uniforme, se contrae >10mm y no mantiene su forma.

De las 80 muestras pre-seleccionadas 40, es decir el 50% se secaron completamente, contrayéndose menos de 5mm y manteniendo su forma; de estas dos corresponden a la matriz 1, 13 tratamientos a la matriz dos y 25 tratamientos a la matriz 3.

Lo que indica que una mayor proporción de agua respecto al almidón, mejora la calidad el proceso de gelatinización, lo que facilita el secado y evita la aglomeración de los gránulos de almidón durante el secado.

**CUADRO 22.** Porcentaje de humedad alcanzada durante el proceso de secado.

HUMEDAD						
NÚMERO	PRUEBA N° (gr)	HUMEDAD (%)				
		R1	R2	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$f$
<b>MATRIZ 1</b>						
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	10,05	10,06	10,06	0,0001	±0,01
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	10,09	10,06	10,08	0,0005	±0,02
<b>MATRIZ 2</b>						
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	10,11	10,06	10,09	0,0013	±0,04
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	10,46	10,49	10,47	0,0004	±0,02
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	9,98	9,97	9,98	0,0000	±0,01
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	10,90	10,86	10,88	0,0005	±0,02
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	10,03	10,07	10,05	0,0008	±0,03
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	9,97	9,97	9,97	0,0000	±0,00
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	10,22	10,23	10,23	0,0000	±0,00
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	10,19	10,21	10,20	0,0002	±0,01
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	10,08	10,07	10,07	0,0002	±0,01
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	10,10	10,10	10,10	0,0000	±0,01
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	10,90	10,90	10,90	0,0000	±0,00
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	10,12	10,15	10,13	0,0004	±0,02
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	11,02	11,09	11,05	0,0025	±0,05
<b>MATRIZ 3</b>						
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	11,08	12,09	11,58	0,5062	±0,71
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	10,98	10,96	10,97	0,0002	±0,01
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	10,75	10,57	10,66	0,0166	±0,13
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	10,07	10,05	10,06	0,0001	±0,01
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	10,18	10,17	10,17	0,0000	±0,01
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	10,15	10,15	10,15	0,0000	±0,00
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	10,09	10,08	10,08	0,0001	±0,01
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	10,35	10,49	10,42	0,0088	±0,09
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	10,02	10,01	10,01	0,0000	±0,00
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	9,97	9,97	9,97	0,0000	±0,00
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	10,68	10,71	10,70	0,0005	±0,02

Continúa...

CUADRO 22. Continuación...

NÚMERO	PRUEBA N° (gr)	HUMEDAD (%)				
		R1	R2	$\bar{X}$	$\sigma^2$	$f$
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	10,42	10,40	10,41	0,0003	±0,02
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	10,26	10,29	10,27	0,0004	±0,02
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	10,17	10,17	10,17	0,0000	±0,00
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	10,09	10,12	10,10	0,0005	±0,02
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	10,11	10,10	10,11	0,0000	±0,00
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	10,26	10,24	10,25	0,0003	±0,02
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	10,34	10,32	10,33	0,0004	±0,02
34	(23)(7,5)(88)(0,3)	10,01	10,01	10,01	0,0000	±0,00
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	10,05	10,00	10,03	0,0012	±0,03
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	10,10	10,11	10,11	0,0000	±0,01
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	10,15	10,15	10,15	0,0000	±0,00
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	10,09	10,10	10,10	0,0001	±0,01
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	10,15	10,14	10,15	0,0000	±0,01
40	(23)(8,5)(78)(0,7)	10,06	10,06	10,06	0,0000	±0,00

**Elaborado:** La Autora

La humedad de las muestras obtenidas presentó un rango entre 9,97% Y 11,58%, observándose que menor a esta humedad el biopolímero se vuelve frágil y quebradizo ratificando.

#### 4.2.3 ANÁLISIS DE DENSIDAD

A los tratamientos seleccionados se les determinó su densidad, los promedios se encuentran descritos en el cuadro 23.

**CUADRO 23.** Promedios del análisis de densidad de las dos repeticiones (R1 y R2).

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )				
		REPETICIONES		$\bar{x}$	$\sigma^2$	$f$
		R1	R2			
<b>MATRIZ 1</b>						
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	4,87	3,91	4,39	0,461	±0,68
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	5,48	4,91	5,20	0,162	±0,40
<b>MATRIZ 2</b>						
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	6,08	4,89	3,93	0,718	±0,84
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	1,30	1,77	3,09	0,110	±0,33
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	4,91	4,87	4,91	0,001	±0,03
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	3,52	3,52	3,52	0,000	-
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	5,39	5,39	5,39	0,001	±0,03
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	4,21	2,12	5,39	2,184	±1,48
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	2,23	6,57	4,05	9,428	±3,07
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	4,91	5,87	4,70	0,461	±0,68
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	4,49	4,49	4,71	0,000	-
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	5,23	5,87	3,85	0,205	±0,45
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	4,38	4,93	5,13	0,151	±0,39
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	2,46	2,46	3,19	0,000	-
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	3,84	3,91	3,84	1,489	±1,22
<b>MATRIZ 3</b>						
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	4,1954	4,1954	4,20	0,000	-
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	4,9381	4,9381	4,94	0,000	-
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	4,9057	1,9871	3,45	4,269	±2,06
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	6,0823	5,2809	5,68	0,321	±0,57
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	4,9057	3,2885	4,10	1,318	±1,14
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	7,2988	7,2988	7,30	0,000	-
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	4,2148	2,7799	3,50	1,039	±1,01
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	2,8099	6,4355	4,62	6,572	±2,56
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	5,8676	5,8676	5,87	0,000	-
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	4,2148	2,1223	3,17	2,199	±1,48
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	4,8659	6,4355	5,65	1,232	±,111
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	5,8676	5,8676	5,87	0,000	-
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	5,8676	6,5115	6,19	0,217	±0,46
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	5,8676	5,8676	5,87	0,000	-
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	6,4355	9,6532	8,04	5,187	±2,28
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	1,9818	1,9818	1,98	0,000	-
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	4,4932	4,9057	4,70	0,095	±0,29
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	5,4808	7,2988	6,39	1,653	±1,29

Continúa...

CUADRO 23. Continuación...

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )				
		REPETIIONES		$\bar{x}$	$\sigma^2$	f
		R1	R2			
34	(23)(7,5)(88)(0,3)	6,4355	6,4355	6,44	0,000	-
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	4,4932	3,8073	4,15	0,245	±0,49
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	5,8676	6,4355	6,15	0,161	±0,40
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	1,8404	1,4182	1,63	0,099	±0,30
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	3,9118	4,3793	4,15	0,119	±0,33
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	4,4932	4,9381	4,72	0,099	±0,31
40	(23)(8,5)(78)(0,7)	6,0504	6,0504	6,05	0,000	-

**Elaboración:** La Autora

#### 4.2.4 ANÁLISIS DE PENETRACIÓN

Los resultados de penetración se exponen a continuación en el cuadro 24, en donde se anota los resultados de las tres penetraciones realizadas a cada muestra y los respectivos promedios.

**CUADRO 24.** Promedios del análisis de penetración de las dos repeticiones (R1 y R2).

NÚMERO	N° MUESTRA	PENETRACIÓN (mm)				
		REPETICIONES		$\bar{x}$	$\sigma^2$	f
		R1	R2			
<b>MATRIZ 1</b>						
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	2	2	2	0,000	-
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	11	11	11	0,000	-
<b>MATRIZ 2</b>						
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	12	12	12	0,000	-
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	0	0	0	0,000	-
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	5	5	5	0,000	-
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	1	0	0,5	0,500	±0,71
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	0	0	0	0,000	-
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	12	14	13	2,000	±1,41
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	6	6	6	0,000	-
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	3	7	5	8,000	±2,83
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	10	10	10	0,000	-

Continúa...

CUADRO 24. Continuación...

NÚMERO	N° MUESTRA	PENETRACIÓN (mm)				
		REPETICIONES		$\bar{x}$	$\sigma^2$	f
		R1	R2			
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	3	1	2	2,000	±1,41
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	20	24	22	8,000	±2,83
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	2	2	2	0,000	-
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	8	6	7	2,000	±1,41
<b>MATRIZ 3</b>						
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	2	3	2,5	0,500	±0,71
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	0	1	0,5	0,500	±0,71
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	0,5	1	0,75	0,125	±0,35
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	9	10	9,5	0,500	±0,71
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	12	10	11	2,000	±1,41
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	22	22	22	0,000	-
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	40	40	40	0,000	-
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	20	18	19	2,000	±1,41
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	2	1	1,5	0,500	±0,71
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	30	30	30	0,000	-
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	20	20	20	0,000	-
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	10	12	11	2,000	±1,41
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	3	3	3	0,00	-
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	21	24	22,5	4,500	±2,12
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	15	15	15	0,000	-
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	25	13	19	72,00	±8,49
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	35	35	35	0,000	-
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	9	9	9	0,000	-
34	(23)(7,5)(88)(0,3)	1	0	0,5	0,500	±0,71
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	8	7	7,5	0,500	±0,71
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	3	0	1,5	4,500	±2,12
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	16	16	16	0,000	-
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	11	13	12	2,000	±1,41
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	18	18	18	0,000	-
40	(23)(8,5)(78)(0,7)	14	20	17	18,000	±4,24

Elaboración: La Autora

#### 4.2.5 ANÁLISIS DE ABSORCIÓN AL AGUA

Los promedios fueron obtenidos de los datos tomados a las 24 horas, 48 horas, 2 semanas y 4 semanas después de la inmersión. Los resultados se encuentran plasmados en el cuadro 25 expuesto a continuación.

**CUADRO 25.** Promedios de los análisis de aumento de peso por absorción de agua, por repeticiones (R1 y R2)

NÚMERO	PRUEBA N° (gr)	% AUMENTO DE PESO				
		R1	R2	$\bar{x}$	$\sigma^2$	$f$
<b>MATRIZ 1</b>						
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	84,83	84,85	84,84	0,000	±0,014
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	89,25	89,3	89,28	0,001	±0,035
<b>MATRIZ 2</b>						
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	56,99	57,03	57,01	0,001	±0,028
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	94,42	94,48	94,45	0,002	±0,042
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	77,28	76,95	77,12	0,054	±0,233
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	31,25	31,27	31,26	0,000	±0,014
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	45,32	45,31	45,32	0,000	±0,007
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	60,17	60,08	60,13	0,004	±0,064
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	72,91	72,83	72,87	0,003	±0,057
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	88,89	88,78	88,84	0,006	±0,078
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	71,81	71,79	71,80	0,000	±0,014
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	32,07	32,10	32,09	0,000	±0,021
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	79,2	78,87	79,04	0,054	±0,233
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	45,35	45,43	45,39	0,003	±0,057
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	57,11	57,10	57,11	0,000	±0,007
<b>MATRIZ 3</b>						
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	35,17	35,14	35,16	0,000	±0,021
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	73,80	73,75	73,78	0,001	±0,035
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	68,82	68,78	68,80	0,001	±0,028
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	69,15	69,54	69,35	0,076	±0,276
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	63,30	63,26	63,28	0,001	±0,028
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	81,07	80,99	81,03	0,003	±0,057
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	91,36	91,32	91,34	0,001	±0,028
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	71,45	71,42	71,44	0,000	±0,021

Continúa...

NÚMERO	PRUEBA N° (gr)	% AUMENTO DE PESO				
		R1	R2	PROMEDIO	$\sigma^2$	<i>f</i>
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	38,95	38,99	38,97	0,001	±0,028
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	89,14	89,15	89,15	0,000	±0,007
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	87,90	87,88	87,89	0,000	±0,014
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	73,32	73,37	73,35	0,001	±0,035
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	29,81	29,91	29,86	0,005	±0,071
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	75,76	75,99	75,88	0,026	±0,163
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	83,29	83,4	83,35	0,006	±0,078
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	67,03	67,10	67,07	0,002	±0,049
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	77,99	78,00	78,00	0,000	±0,007
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	84,99	84,85	84,92	0,010	±0,099
34	(23)(8,5)(78)(0,7)	90,34	90,26	90,30	0,003	±0,057
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	91,97	92,00	91,99	0,000	±0,021
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	70,77	70,80	70,79	0,000	±0,021
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	79,10	79,07	79,09	0,000	±0,021
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	72,39	72,35	72,37	0,001	±0,028
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	75,60	75,50	75,55	0,005	±0,071
40	(23)(7,5)(88)(0,3)	25,29	25,31	25,30	0,000	±0,014

**Elaboración:** La Autora.

### 4.3 EFECTO DE LOS NIVELES DE LOS FACTORES EN ESTUDIO SOBRE LA DENSIDAD, PENETRACIÓN Y ABSORCIÓN DE AGUA.

Con los datos de los cuadros 23, 24 y 25; se elaboraron los siguientes cuadros resumen para el análisis de los resultados de densidad, penetración y absorción de agua, considerando los niveles de almidón, agua, ácido acético y glicerina de las tres matrices.

#### 4.3.1 RESULTADO DE LA DENSIDAD, PENETRACIÓN Y ABSORCIÓN DE AGUA DE ACUERDO A LOS NIVELES DE ALMIDÓN ESTABLECIDOS PARA LAS TRES MATRICES.

**CUADRO 26.** Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua de acuerdo a los niveles de almidón establecidos para las tres matrices.

FACTOR: ALMIDÓN								
NÚMERO	Nº DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
REPETICIONES			Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL	Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL	Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL
<b>MATRIZ 1</b>								
1	(21)(7,7)(72)(0,3)	BAJO 21gr	5,20	4,79	11,00	6,50	89,28	87,06
2	(21)(6,7)(62)(0,3)		4,39		2,00		84,84	
<b>MATRIZ 2</b>								
3	(23)(7,6)(79)(0,6)	MEDIO 23gr	3,52	4,60	0,50	6,17	31,26	56,17
4	(23)(8,6)(59)(0,4)		5,39		13,00		60,13	
5	(23)(7,6)(59)(0,2)		4,91		5,00		77,12	
6	(13)(8,6)(79)(0,4)	BAJO13gr	3,19	4,18	7,00	6,50	57,11	64,39
7	(13)(6,6)(79)(0,4)		3,84		2,00		45,32	
8	(13)(7,6)(79)(0,2)		5,13		22,00		79,04	
9	(13)(7,6)(69)(0,2)		3,85		1,00		32,09	
10	(13)(6,6)(59)(0,6)		4,71		10,00		71,80	
11	(13)(7,6)(59)(0,4)		4,05		6,00		72,87	
12	(13)(6,6)(59)(0,4)		4,70		5,00		88,84	
13	(13)(6,6)(59)(0,2)		5,39		0,00		45,39	
14	(13)(7,6)(59)(0,2)		3,93		12,00		57,01	
15	(13)(8,6)(59)(0,2)		3,09		0,00		94,45	
<b>MATRIZ III</b>								
16	(23)(9,5)(88)(0,3)	ALTO 23gr	6,15	4,53	1,50	11,75	70,79	70,90
17	(23)(8,5)(88)(0,3)		4,15		12,00		72,37	
18	(23)(7,5)(88)(0,3)		6,44		0,00		25,30	

Continúa...

CUADRO 25. Continuación...

FACTOR: ALMIDÓN								
NÚMERO	Nº DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
REPETICIONES			Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL	Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL	Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL
19	(23)(9,5)(78)(0,7)	ALTO 23gr	4,15	4,53	7,50	11,75	91,99	70,90
20	(23)(8,5)(78)(0,7)		6,05		17,00		90,30	
21	(23)(9,5)(78)(0,5)		1,98		19,00		67,07	
22	(23)(8,5)(78)(0,3)		5,87		1,00		38,97	
23	(23)(9,5)(68)(0,7)		3,50		40,00		91,34	
24	(23)(7,5)(68)(0,7)		3,17		30,00		89,15	
25	(23)(8,5)(68)(0,3)		4,94		0,50		73,78	
26	(23)(7,5)(68)(0,3)		3,45		0,75		68,80	
27	(13)(8,5)(88)(0,7)	MEDIO 13gr	4,20	5,35	3,00	14,46	35,16	70,44
28	(13)(9,5)(88)(0,5)		4,72		18,00		75,55	
29	(13)(9,5)(88)(0,3)		1,63		16,00		79,09	
30	(13)(8,5)(78)(0,7)		6,39		9,00		84,92	
31	(13)(7,5)(78)(0,7)		4,70		35,00		78,00	
32	(13)(8,5)(78)(0,5)		5,87		22,50		75,88	
33	(13)(7,5)(78)(0,5)		8,04		15,00		81,35	
34	(13)(9,5)(78)(0,3)		5,65		20,00		87,89	
35	(13)(7,5)(78)(0,3)		6,19		3,00		29,86	
36	(13)(7,5)(68)(0,5)		5,68		9,50		69,35	
37	(13)(9,5)(68)(0,5)		4,10		11,00		63,28	
38	(13)(9,5)(68)(0,7)		7,30		22,00		81,03	
39	(13)(8,5)(68)(0,5)		4,62		19,00		71,44	
40	(13)(8,5)(68)(0,3)		5,87		11,00		73,35	

Elaboración: La Autora

Con la matriz uno, solamente con el nivel bajo de almidón (21gr) se logró culminar el proceso de polimerización de dos tratamientos; con los niveles medio (31) y alto (41 g) no se logró terminar el proceso, porque la cantidad de agua fue insuficiente para que se realice correctamente el proceso de gelatinización del almidón.

En la matriz dos, en el nivel bajo de almidón (13gr), se obtuvo una densidad de 4,60 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que con el nivel medio la densidad bajó a 4,18 gr/cm<sup>3</sup>, debido a que cuando la cantidad de almidón aumenta hay una mayor rigidez de la estructura polimérica, lo que determina una menor expansión, estos resultados coinciden con lo manifestado con Durán *et al* (2005), en el sentido que la expansión polimérica y densidad es inversamente proporcional; es decir cuanto mayor sea la expansión polimérica, menor es el valor de densidad. La penetración fue ligeramente menor en el nivel medio que el bajo, esto se debe a que existió una mayor cantidad de gránulos de almidón, aumentando así el orden de los puentes de hidrogeno y reorientación de las cadenas moleculares, lo que lo volvió más resistente (Fritz *et al*, 1994). En cambio respecto al incremento de peso por absorción de agua se obtuvo un mayor valor con el nivel bajo que con el medio, lo que ratifica lo expresado por Meneses *et al* (2007), quienes indican que a mayor concentración de almidón el biopolímero presenta una mayor resistencia debido al choque de los gránulos hinchados impidiendo la captación de más agua.

En la matriz tres, respecto a la densidad se obtuvo una tendencia diferente, ya que, a pesar de haberse utilizado la misma cantidad de almidón que en la matriz 2, se obtuvo en el nivel medio (13gr) una densidad de 5,35 gr/cm<sup>3</sup> y con el nivel alto (23gr) una densidad de 4,53gr/cm<sup>3</sup>, estas diferencias en las tendencias con la matriz 2, se debe a la influencia de los otros factores que se encontraban en distintas proporciones. El índice de penetración fue mayor con el nivel medio (13gr) que con el nivel alto (23gr), similar comportamiento que en la matriz dos; y, respecto al aumento de peso por absorción no se presentó diferencia en los niveles medio y alto.

#### 4.3.2 RESULTADO DE LA DENSIDAD, PENETRACIÓN Y ABSORCIÓN DE AGUA DE ACUERDO A LOS NIVELES DE AGUA ESTABLECIDOS PARA LAS TRES MATRICES.

**CUADRO 26.** Resultado de densidad, penetración y absorción de agua acuerdo a los niveles de agua establecidos para las tres matrices.

FACTOR: AGUA								
NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
REPETICIONES			Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL	Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL	Ẋ/MUESTRA	Ẋ/NIVEL
<b>MATRIZ 1</b>								
1	(21)(7,7)(72)(0,3)	ALTO 72gr	5,20	<b>5,20</b>	11,00	<b>11,00</b>	89,28	<b>89,28</b>
2	(21)(6,7)(62)(0,3)	MEDIO 62gr	4,39	<b>4,39</b>	2,00	<b>2,00</b>	84,84	<b>84,84</b>
<b>MATRIZ 2</b>								
3	(23)(7,6)(79)(0,6)	ALTO 79gr	3,56	<b>3,93</b>	0,50	<b>7,87</b>	31,26	<b>53,20</b>
4	(13)(8,6)(79)(0,4)		3,19		7,00		57,11	
5	(13)(6,6)(79)(0,4)		3,84		2,00		45,39	
6	(13)(7,6)(79)(0,2)		5,13		22,00		79,04	
7	(13)(7,6)(69)(0,2)	MEDIO 69 gr	3,85	<b>3,85</b>	1,00	<b>1,00</b>	32,09	<b>32,09</b>
8	(13)(6,6)(59)(0,6)	BAJO 59gr	4,71	<b>4,23</b>	10,00	<b>4,88</b>	71,8	<b>70,95</b>
9	(23)(8,6)(59)(0,4)		3,52		13,00		60,13	
10	(23)(7,6)(59)(0,2)		4,91		5,00		77,12	
11	(13)(7,6)(59)(0,4)		4,05		6,00		72,87	
12	(13)(8,6)(59)(0,2)		3,09		0,00		94,45	
13	(13)(7,6)(59)(0,2)		3,93		12,00		57,01	
14	(13)(6,6)(59)(0,4)		4,70		5,00		88,84	
15	(13)(6,6)(59)(0,2)		5,39		0,00		45,39	
<b>MATRIZ 3</b>								
16	(13)(8,5)(88)(0,7)		4,20	<b>4,55</b>	3,00	<b>8,42</b>	35,16	<b>59,71</b>

Continúa...

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm3)		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
			Ā/NIVEL	Ā/MUESTRA	Ā/NIVEL	Ā/MUESTRA	Ā/NIVEL	Ā/MUESTRA
17	(13)(9,5)(88)(0,5)	ALTO 88gr	4,72	4,55	18,00	8,42	75,55	59,71
18	(23)(9,5)(88)(0,3)		6,15		1,50		70,79	
19	(23)(8,5)(88)(0,3)		4,15		12,00		72,37	
20	(23)(7,5)(88)(0,3)		6,44		0,00		25,30	
21	(13)(9,5)(88)(0,3)		1,63		16,00		79,09	
22	(23)(9,5)(78)(0,7)	MEDIO 78gr	4,15	5,48	7,50	14,90	91,99	72,62
23	(13)(8,5)(78)(0,7)		6,39		9,00		84,92	
24	(13)(7,5)(78)(0,7)		4,70		35,00		78,00	
25	(23)(8,5)(78)(0,7)		6,05		17,00		90,30	
26	(13)(8,5)(78)(0,5)		5,87		22,50		75,88	
27	(13)(7,5)(78)(0,5)		8,04		15,00		81,35	
28	(23)(9,5)(78)(0,5)		1,98		19,00		67,07	
29	(23)(8,5)(78)(0,3)		5,87		1,00		38,97	
30	(13)(9,5)(78)(0,3)		5,65		20,00		87,89	
31	(13)(7,5)(78)(0,3)		6,19		3,00		29,86	
32	(13)(9,5)(68)(0,7)	BAJO 68gr	7,30	4,74	22,00	14,38	81,03	75,72
33	(23)(9,5)(68)(0,7)		3,50		40,00		91,34	
34	(23)(7,5)(68)(0,7)		3,17		30,00		89,15	
35	(13)(8,5)(68)(0,5)		4,62		19,00		71,44	
36	(13)(9,5)(68)(0,5)		4,10		11,00		63,28	
37	(13)(7,5)(68)(0,5)		5,68		9,5,00		69,35	
38	(13)(8,5)(68)(0,3)		5,87		11,00		73,35	
39	(23)(8,5)(68)(0,3)		4,94		0,5,00		73,78	
40	(23)(7,5)(68)(0,3)		3,45		0,75,00		68,80	

Elaboración: La Autora

Respecto al efecto del factor agua en la matriz 1, la densidad fue ligeramente mayor con el nivel alto que con el medio, con valores de  $5,20 \text{ gr/cm}^3$  y  $4,39 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente, donde se nota una gran diferencia es en el índice de penetración, que fue de 11mm para el nivel alto y 2 para el nivel medio, probablemente porque durante el proceso de gelatinización las moléculas se hincharon porque absorbieron mayor cantidad de agua, quedando mayores espacios libres que al reordenarse disminuyeron la resistencia a la penetración (*Meneses et al 2007*). Respecto al incremento de peso por absorción de agua no hubo mayor diferencia, ya que fue de 89,28% cuando se utilizaba un nivel alto de agua y de 84,84 % cuando el nivel era medio.

Analizando la matriz dos, respecto, a la densidad, hay una relación inversa entre el nivel del agua utilizada en el proceso y la densidad del material, ya que con el nivel bajo de agua la densidad fue de  $4,23 \text{ gr/cm}^3$ , con el nivel medio de  $3,85 \text{ gr/cm}^3$  y con el alto  $3,95 \text{ gr/cm}^3$ , porque a menor concentración de agua, el biopolímero se vuelve más viscoso y en lugar de expandirse se contrae, haciéndose más pesado. Respecto a la penetración, al igual que en la matriz 1, también se obtiene el valor más alto con el nivel alto de agua llegando hasta 7,88mm. Respecto al aumento de peso por absorción de agua este fue mayor con el nivel bajo que con el nivel alto, obteniéndose valores de 70,95%, y 53,20% respectivamente.

Un comportamiento distinto se observó en la matriz tres, ya que respecto a la densidad, el mayor valor se obtuvo con el nivel medio con  $5,49 \text{ gr/cm}^3$ , seguido del nivel bajo de agua  $4,74 \text{ gr/cm}^3$  y con el nivel alto se obtuvo el menor valor con  $4,55 \text{ gr/cm}^3$ ; en cambio en la penetración se obtuvieron valores mucho más altos en los niveles medio y bajo, en relación al nivel alto; y finalmente el aumento de peso por absorción de agua fue mayor con el nivel bajo que con el alto.

### 4.3.3 RESULTADO DE LA DENSIDAD, PENETRACIÓN Y ABSORCIÓN DE AGUA DE ACUERDO A LOS NIVELES DE GLICERINA ESTABLECIDOS PARA LAS TRES MATRICES.

**CUADRO 27.** Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua acuerdo a los niveles de glicerina establecidos para las tres matrices.

FACTOR: GLICERINA								
NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
			REPETICIONES	Ā/NIVEL	Ā/MUESTRA	Ā/NIVEL	Ā/MUESTRA	Ā/NIVEL
<b>MATRIZ 1</b>								
1	(21)(7,7)(72)(0,3)	ALTO 7,7 gr	5,20	5,20	11,00	11,00	89,28	89,28
2	(21)(6,7)(62)(0,3)	MEDIO 6,7 gr	4,39	4,39	2,00	2,00	84,84	84,84
<b>MATRIZ 2</b>								
3	(13)(8,6)(79)(0,4)	ALTO 8,6 gr	3,19	4,11	7,00	6,67	57,11	70,56
4	(23)(8,6)(59)(0,4)		5,39		13,00		60,13	
5	(13)(8,6)(59)(0,2)		3,09		0,00		94,45	
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	MEDIO 7,6 gr	3,52	4,23	0,50	7,75	31,26	58,23
7	(13)(7,6)(79)(0,2)		5,13		22,00		79,04	
8	(13)(7,6)(69)(0,2)		3,85		1,00		32,09	
9	(13)(7,6)(59)(0,4)		4,05		6,00		72,87	
10	(13)(7,6)(59)(0,2)		3,93		12,00		57,01	
11	(23)(7,6)(59)(0,2)		4,91		5,00		77,12	
12	(13)(6,6)(79)(0,4)	BAJO 6,6 gr	3,84	4,03	2,00	3,40	45,39	62,84
13	(13)(6,6)(59)(0,4)		4,70		5,00		88,84	
14	(13)(6,6)(59)(0,2)		5,39		0,00		45,39	
15	(13)(6,6)(59)(0,6)		4,71		10,00		71,80	

Continúa...

CUADRO 27. Continuación...

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)					
			Ȳ/NIVEL	Ȳ/MUESTRA	Ȳ/NIVEL	Ȳ/MUESTRA	Ȳ/NIVEL	Ȳ/MUESTRA				
REPETICIONES												
MATRIZ 3												
16	(23)(9,5)(78)(0,7)		4,15		7,5		91,99					
17	(23)(9,5)(68)(0,7)	ALTO 9,5 gr	3,50	4,35	40,00	17,22	91,34	78,67				
18	(13)(9,5)(68)(0,7)		7,30		22,00		81,03					
19	(23)(9,5)(78)(0,5)		1,98		19,00		67,07					
20	(13)(9,5)(88)(0,5)		4,72		18,00		75,55					
21	(13)(9,5)(68)(0,5)		4,10		11,00		63,28					
22	(23)(9,5)(88)(0,3)		6,15		1,50		70,79					
23	(13)(9,5)(88)(0,3)		1,63		16,00		79,09					
24	(13)(9,5)(78)(0,3)		5,65		20,00		87,89					
25	(23)(8,5)(78)(0,7)		MEDIO 8,5 gr		6,05		5,33		17,00	10,56	90,30	68,46
26	(13)(8,5)(78)(0,7)				6,39				9,00		84,92	
27	(13)(8,5)(88)(0,7)	4,20		3,00	35,16							
28	(13)(8,5)(78)(0,5)	5,87		22,5	75,88							
29	(13)(8,5)(68)(0,5)	4,62		19,00	71,44							
30	(23)(8,5)(78)(0,3)	5,87		1,00	38,97							
31	(23)(8,5)(88)(0,3)	4,15		12,00	72,37							
32	(23)(8,5)(68)(0,3)	4,94		0,50	73,78							
33	(13)(8,5)(68)(0,3)	5,87		11,00	73,35							
34	(13)(7,5)(78)(0,7)	BAJO 7,5 gr		4,70	5,38	35,00		13,32	78,00		63,12	
35	(23)(7,5)(68)(0,7)		3,17	30,00		89,15						
36	(13)(7,5)(78)(0,5)		8,04	15,00		81,35						
37	(13)(7,5)(68)(0,5)		5,68	9,50		69,35						
38	(23)(7,5)(88)(0,3)		6,44	0,00		25,30						
39	(13)(7,5)(78)(0,3)		6,19	3,00		29,86						
40	(23)(7,5)(68)(0,3)		3,45	0,75		68,8						

Elaboración: Autora

En la matriz uno se observó tuvo un comportamiento similar a la analizada respecto al factor agua, la densidad fue ligeramente mayor con el nivel alto que con el medio. El índice de penetración presentó una gran diferencia, siendo de 11mm para el nivel alto y 2 para el nivel medio. Respecto al incremento de peso por absorción de agua no hubo mayor diferencia, ya que fue de 89,28% para el nivel alto y de 84,84 % cuando el nivel era medio.

En la matriz dos, en cuanto a densidad no se observó una diferencia significativa entre los tres niveles de glicerina. Respecto a la penetración se obtuvo un valor más bajo 4,25mm con el nivel bajo de glicerina, disminuyendo su resistencia a la penetración conforme la cantidad de glicerina iba aumentando.

En la matriz tres la densidad fue inversamente proporcional a la glicerina ya que a niveles más altos se obtuvieron densidades bajas hasta  $4,35 \text{ gr/cm}^3$ . Con respecto a la penetración se obtuvieron resultados similares en los niveles bajos y medios de glicerina, siendo menos resistente con el nivel alto. Y la absorción de agua fue proporcional a los niveles de glicerina, obteniéndose con el nivel más alto una absorción de 78.67%, con el nivel medio 68,46% y con el nivel bajo 63,12%.

La presencia de glicerina es fundamental para que el biopolímero tenga la elasticidad necesaria, para adaptarse a las diferentes formas de los moldes (*Meneses et al, 2007*). Pudiéndose decir que todos los niveles de glicerina utilizados en los 40 tratamientos fueron satisfactorios, ya que se adaptaron correctamente a los moldes utilizados.

#### 4.3.4 RESULTADO DE LA DENSIDAD, PENETRACIÓN Y ABSORCIÓN DE AGUA DE ACUERDO A LOS NIVELES DE ÁCIDO ACÉTICO ESTABLECIDOS PARA LAS TRES MATRICES.

**CUADRO 28.** Resultado de la densidad, penetración y absorción de agua acuerdo a los niveles de ácido acético establecidos para las tres matrices.

FACTOR: ÁCIDO ACÉTICO								
NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD(gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
REPETICIONES			̄/NIVEL	̄/MUESTRA	̄/NIVEL	̄/MUESTRA	̄/NIVEL	̄/MUESTRA
<b>MATRIZ 1</b>								
1	(21)(7,7)(72)(0,3)	MEDIO 0,3gr	5,20	4,79	11,00	6,50	89,28	87,06
2	(21)(6,7)(62)(0,3)		4,39		2,00		84,84	
<b>MATRIZ 2</b>								
3	(23)(7,6)(79)(0,6)	ALTO 0,6gr	3,52	4,12	0,50	5,25	31,26	51,53
4	(13)(6,6)(59)(0,6)		4,71		10,00		71,80	
5	(13)(6,6)(79)(0,4)	MEDIO 0,4gr	3,84	4,23	2,00	6,60	45,32	64,86
6	(13)(8,6)(79)(0,4)		3,19		7,00		57,11	
7	(23)(8,6)(59)(0,4)		5,39		13,00		60,13	
8	(13)(7,6)(59)(0,4)		4,05		6,00		72,87	
9	(13)(6,6)(59)(0,4)		4,70		5,00		88,84	
10	(13)(8,6)(59)(0,2)	BAJO 0,2gr	3,09	4,07	0,00	6,67	94,45	64,18
11	(23)(7,6)(59)(0,2)		4,91		5,00		77,12	
12	(13)(7,6)(69)(0,2)		3,85		1,00		32,09	
13	(13)(7,6)(79)(0,2)		5,13		22,00		79,04	
14	(13)(7,6)(59)(0,2)		3,93		12,00		57,01	
15	(13)(6,6)(59)(0,2)		3,39		0,00		45,39	
<b>MATRIZ 3</b>								
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	ALTO 0,7gr	4,20	4,13	3,00	15,38	35,16	80,24

Continúa...

CUADRO 28. Continuación...

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	NIVELES	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )		PENETRACIÓN (mm)		ABSORCIÓN DE AGUA (%)	
			Ȫ/NIVEL	Ȫ/MUESTRA	Ȫ/NIVEL	Ȫ/MUESTRA	Ȫ/NIVEL	Ȫ/MUESTRA
REPETICIONES								
17	(23)(9,5)(78)(0,7)	ALTO 0,7gr	4,15	4,13	7,50	15,38	91,99	80,24
18	(23)(8,5)(78)(0,7)		6,05		17,00		90,30	
19	(13)(8,5)(78)(0,7)		6,39		9,00		84,92	
20	(23)(9,5)(68)(0,7)		3,50		40,00		91,34	
21	(23)(7,5)(68)(0,7)		3,17		30,00		89,15	
22	(13)(7,5)(78)(0,7)		4,70		35,00		78,00	
23	(13)(9,5)(68)(0,7)		7,30		22,00		81,03	
24	(23)(9,5)(78)(0,5)	MEDIO 0,5gr	1,98	4,16	19,00	16,29	67,07	71,99
25	(13)(9,5)(88)(0,5)		4,72		18,00		75,55	
26	(13)(8,5)(78)(0,5)		5,87		22,50		75,88	
27	(13)(7,5)(78)(0,5)		8,04		15,00		81,35	
28	(13)(7,5)(68)(0,5)		5,68		9,5,0		69,35	
29	(13)(9,5)(68)(0,5)		4,10		11,00		63,28	
30	(13)(8,5)(68)(0,5)		4,62		19,00		71,44	
31	(23)(9,5)(88)(0,3)	BAJO 0,3gr	6,15	5,03	1,50	6,57	70,79	62,02
32	(13)(9,5)(88)(0,3)		1,63		16,00		79,09	
33	(23)(8,5)(88)(0,3)		4,15		12,00		72,37	
34	(23)(7,5)(88)(0,3)		6,44		0,00		25,3	
35	(23)(8,5)(78)(0,3)		5,87		1,00		38,97	
36	(23)(8,5)(68)(0,3)		4,94		0,50		73,78	
37	(23)(7,5)(68)(0,3)		3,45		0,75		68,8	
38	(13)(9,5)(78)(0,3)		5,65		20,00		87,89	
39	(13)(7,5)(78)(0,3)		6,19		3,00		29,86	
40	(13)(8,5)(68)(0,3)		5,87		11,00		73,35	

Elaboración: La Autora

Respecto al efecto del factor ácido acético dentro de la mezcla, este tiene una influencia importante solamente en el aumento de peso por absorción de agua. En la matriz I con el nivel medio de ácido acético (0,3gr) se obtiene un alto nivel de absorción que llega al 87,06%. En la matriz 2 los mayor niveles de absorción se obtienen con el nivel bajo (0,2gr), que llegó a 64,18%, y con el nivel medio que llegó a 64,86%, siendo estos niveles superiores al obtenido con el nivel alto (0,6gr) que fue de 51,53%. Esta tendencia coincide con lo manifestado por *Peñaranda et al (2008)*, de que al introducir un grupo éster en un polisacárido modifica su naturaleza hidrofílica, brindándole al material propiedades de hidrofobicidad.

En la matriz tres se observa una tendencia aparentemente distinta, pero hay que considerar, por una parte que todos los promedios son altos, por otra que existe la influencia de otros factores como almidón y agua en el tratamiento.

#### 4.4 TRATAMIENTOS SELECCIONADOS DE ACUERDO A LOS NIVELES ÓPTIMOS DE LAS PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA CALIDAD DEL BIOPOLÍMERO.

Para realizar la selección de los mejores tratamientos se consideraron los valores óptimos que deben tener respecto a las principales propiedades que influyen en la calidad del biopolímero esto es penetración menor o igual a 1mm y un incremento de peso por absorción de agua entre 20-30% parámetros establecidos por la NORMAS ASTM F1306 (1998) y D570 (2002).

**CUADRO 29.** Resumen de los tratamientos que presentaron condiciones satisfactorias para la elaboración de artículos de decoración:

TRATAMIENTOS QUE PRESENTARON BUENA CALIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMERO				
NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	DENSIDAD(gr/cm <sup>3</sup> )	PENETRACIÓN (mm)	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
REPETICIONES		Ȫ/MUESTRA	Ȫ/MUESTRA	Ȫ/MUESTRA
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	3,52	0,50	31,26
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	5,39	0,00	45,39
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	3,85	1,00	32,09
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	5,87	1,00	38,97
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	6,19	3,00	29,86
34	(23)(7,5)(88)(0,3)	6,44	0,00	25,30

**Elaboración:** La Autora.

Con estas consideraciones el mejor tratamiento es el 34 que consistía en la mezcla de (19,36%) de almidón, (6,31%) de glicerina, (74,08%) de agua y (0,25%) de ácido acético, que tuvo una penetración de 0,0mm y un porcentaje de aumento de peso por absorción de agua de 25,30%, siendo el único tratamiento que cumple con los rangos establecidos en ambas propiedades.

## PROTOCOLO

---

# MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CORTEZA DE YUCA

## 1. APLICACIÓN

**1.1** Este método permite elaborar biopolímeros a partir de almidón de materiales orgánicos de desecho como las cortezas de yuca. Describe el procedimiento que debe llevarse a cabo desde la extracción de las cortezas de yuca, hasta el proceso de polimerización que se da al almidón obtenido. Este método se ha diseñado para producir resultados de ensayo reproducibles y repetibles bajo condiciones controladas de mezclado y temperatura.

**1.2** Para hacer posible la fabricación de un biopolímero a partir de almidón, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros.

**1.3** *Los plastificantes:* Son pequeñas moléculas agregadas para suavizar un polímero por debajo de su transición vítrea para reducir su cristalinidad o punto de fusión. Los plastificantes utilizados en el presente método son: glicerina y agua.

**1.4 Modificador Químico:** A partir de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos se obtienen productos con diferentes grados de sustitución, y dependiendo de este grado las aplicaciones del almidón modificado pueden variar. La modificación química del almidón está directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón. Como modificador químico en el presente método se utiliza ácido acético.

## **2. IMPORTANCIA Y USO**

**2.1** Los problemas ambientales en el planeta son evidentes, y la urgente necesidad de cambio se ha convertido en uno de los pilares de la investigación. Desarrollando cada día nuevos materiales que no solo replacen a los convencionales, sino que no generen contaminación.

**2.2** La elaboración de materiales a partir de fuentes renovables es una alternativa que se está explotando en la actualidad y ha traído consigo grandes logros. Materiales como celulosa, almidón y fibras naturales han venido a reemplazar materiales de uso masivo como fibra de vidrio, plásticos y metales.

**2.3** La utilización de materiales de desecho como son las cortezas de yuca, representan una elevada fuente de almidón, a partir del cual se puede elaborar biopolímeros que presentan propiedades similares a los plásticos y pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de artículos de decoración y obras de arte.

### 3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

#### 3.1 Normas INEN

**NTE 1462.** *Determinación de humedad en harinas.*

**NTE 0524.** *Harinas de origen vegetal. Determinación de almidón.*

#### 3.2 Normas ASTM

**ASTM 6980** *Standard Test Methods for determining moisture in plastics.*

**ASTM D-792** *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by displacement.*

**ASTM D570 Standard** *Test Method for Water Absorption of Plastics.*

**ASTM F1306** *Standard Test Method for Slow penetration resistance on plastics.*

### 4. RESUMEN DEL MÉTODO

Este método consiste en lo siguiente:

**4.1** Recolección de la materia prima

**4.2** Selección de las cortezas y despojo de la corteza externa.

**4.3** Eliminación de impurezas y lavado

**4.4** Licuado de las cortezas seleccionadas y filtrado

**4.5** Sedimentación y decantación

#### 4.6 Secado

4.7 Las propiedades del almidón obtenido se determinan mediante las normas INEN citadas anteriormente.

4.8 El almidón obtenido es mezclado con los plastificantes (agua y glicerina) y el modificador químico (ácido acético).

4.9 La mezcla obtenida es calentada para llevar a cabo el proceso de polimerización.

4.10 El biopolímero obtenido es colocado en moldes y secado en la estufa bajo temperatura controlada.

4.11 La medición de sus propiedades se las realiza en base a lo establecido en las normas ASTM citadas anteriormente

## 5. PROCEDIMIENTO

### 5.1 EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN

La extracción de almidón se realiza mediante un proceso manual, descrita en los siguientes pasos:

- **Selección de las cortezas:** En esta operación se desechan las cortezas en mal estado y se separan la corteza externa de la interna. Desechándose la corteza externa.

- **Lavado de las cortezas:** Se realiza con agua fría, conjunto a un cepillo se procede a eliminar todas las impurezas (lodo, pajas, piedras, etc.)
- **Licuada o Rayado de las cortezas:** Consiste en licuar las cortezas para reducir su tamaño. Esta operación se realiza mediante una licuadora industrial.
- **Filtrado:** Una vez reducido el tamaño de las cortezas, se filtra la mezcla obtenida mediante un filtro de tela (lienzo). Esta acción se repite tres veces hasta que el agua de lavado dejó de presentar un color blanquecino.
- **Sedimentación:** Toda el agua de lavado se deja en reposo en baldes plásticos durante 60min.
- **Decantación:** Se elimina el agua que se encuentra en la parte superior del recipiente, al sedimento se le añade más agua limpia y se deja precipitar. Esta operación se realiza tres veces hasta que el agua sobrenadante quede completamente clara.
- **Secado:** El precipitado se seca al sol durante tres días.
- **Tamizado:** Se procede a desintegrar todos los grumos formados durante el proceso desecado mediante un molino eléctrico.

El almidón extraído debe presentar una humedad entre el 14-15%, según lo establece la *NORMA INEN 1462*, no debe presentar impurezas, su color debe ser crema claro y no debe poseer manchas oscuras.

## 5.2 ELABORACIÓN DEL BIOPOLÍMERO DE ALMIDÓN

La mezcla debe estar compuesto de: 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético.

- El almidón obtenido de las cortezas de yuca, es mezclado con glicerina y agua destilada hasta lograr una pasta uniforme, es decir que no quede ningún grumo sobrenadando o harina.
- Una vez que la mezcla está hecha, se añade ácido acético y se calienta con agitación constante hasta finalizar el proceso.
- Se controla que la temperatura, no debe sobre-pasar los 69°C, ya que a temperaturas superiores el biopolímero se quema.
- Una vez obtenido el biopolímero con ayuda de una espátula, se coloca el producto final sobre los moldes.
- El biopolímero no debe presentar ningún olor desagradable (ácido acético), debe adaptarse al molde y polimerizar completamente, sin que ninguno de sus bordes se queme presentando un color café oscuro.
- El biopolímero se deja secar en la estufa a 40°C durante dos horas o hasta que alcance una humedad del 10-25%.
- Finalizado el tiempo de secado, se controla que el proceso haya sido uniforme y completo, que su contracción fuese menor a 0,1mm y que mantenga su forma inicial.
- El biopolímero seco debe tener las siguientes propiedades: Densidad entre: 3,5-7 gr/cm<sup>3</sup>, una porcentaje de aumento de peso por absorción de agua entre: 25-30% y una penetración entre: 0-1mm. La medición de propiedades se realiza de acuerdo a las normas ASTM D6980-09, ASTM D-792, ASTM D-570 y ASTM F1306; citadas anteriormente.

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- La corteza de yuca es un insumo que se lo puede obtener fácilmente y en gran cantidad en diferentes locales de Malacatos y otros valles aledaños a la provincia de Loja.
  
- Es similar el contenido de almidón de las cortezas de yuca provenientes de Malacatos 65,85%, Catamayo 65,59% y Zamora 66,71%. Sin embargo se seleccionó las cortezas de la Parroquia Malacatos debido a la abundancia del desecho en la zona por parte de los restaurantes locales.
  
- Todos los tratamientos fueron inoloros, el 37% culminó el proceso de polimerización y presento un aspecto uniforme, y el 41% se adaptó sin dificultad a los moldes.
  
- A mayor cantidad de almidón existe una mayor contracción del biopolímero durante el proceso de secado, haciendo que difícilmente conserven su forma inicial.
  
- A mayor cantidad de almidón, mayor será la densidad y el porcentaje de aumento de peso por absorción de agua; mientras que el índice de

penetración decrece a medida que el porcentaje de agua aumenta en la mezcla.

- Cuando existe un alto nivel de almidón y un bajo porcentaje de agua en la mezcla, al parecer el biopolímero pierde considerablemente su capacidad de adaptación al molde.
  
- La humedad de las muestras obtenidas presentó un rango entre 9,97% y 11,58%, observándose que menor a esta humedad el biopolímero se vuelve frágil y quebradizo.
  
- El ácido acético influencia directamente en el aumento de peso por absorción de agua, debido a que permite modificar la naturaleza hidrofílica del biopolímero, volviéndolo más resistente al agua.
  
- La temperatura a la cual se obtuvo el mejor tratamiento fue de 69°C, ligeramente mayor a la hipótesis planteada.
  
- En base a los rangos establecidos por las NORMAS ASTM F1306 (1998) y D570 (2002), el tratamiento con el cual se obtuvo el biopolímero de mejor calidad, estuvo compuesto de: 19,36% de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético. Presentando una densidad de 6,44 gr/cm<sup>3</sup>, 0,0mm de penetración y 25,3% de aumento de peso por absorción de agua.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Aprovechar el almidón obtenido a partir de corteza de yuca para la elaboración de biopolímeros, por ser un insumo que se lo puede obtener fácilmente y a bajos costos.
- Elaborar artículos de decoración y figuras de arte a partir de biopolímeros obtenidos de almidón de corteza de yuca.
- Durante el proceso de elaboración del biopolímero la mezcla debe ser constante, para así lograr que el almidón se hidrolice correctamente y el biopolímero tenga un acabado uniforme.

## CAPÍTULO VI.

### BIBLIOGRAFÍA

---

#### LIBROS, PATENTES Y REVISTAS

1. Cadena Francisco y Quiroz Francisco. *Manual de Reciclaje de Plásticos*.Cooperación OIKOS, 2000.
2. Ceballos Hernán y De la Cruz Gabriel Antonio. *La yuca en el Tercer Milenio. Sistemas modernos de Producción, Procesamiento, Comercialización y Utilización*. CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical. Publicación No.327 Colombia, 2002.
3. Ceballos, Hernán y De la Cruz, Gabriel Antonio. *Taxonomía y morfología de la yuca. La yuca en el tercer milenio*. Editorial OSPINA Colombia, 2002.
4. Cock James H. *La yuca, nuevo potencial para el desarrollo tradicional*. CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical.Colombia, 1997.
5. Conrad U. *Polymers from Plants to develop biodegradable plastics, TRENDS in Plants Science*, Vol.10, N.11, Noviembre, 2005.
6. Durán V., Jorge A.; Morales G., Mónica Andrea; Yusti L. Roland.Redalyc. *Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383*. Red de Revistas Científicas de

América Latina, el Caribe, España y Portugal. Revista Científica Guillermo de Ockham, vol. 3, núm. 2, julio-diciembre, 2005.

7. Fritz, H. G.; Seidenstucker, T.; Bolz, U. and Juza, M. *Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials*. Stuttgart. European Commission. 1994.
8. Heinze, T., Liebert, T., Koschella, A. *Esterification of Polysaccharides*. Vol. XVI, 2006,
9. Johnson, R. M Y Raymond, W. D *The chemical composition of some tropical food plants*. London, 1965.
10. Koolman Jan y Röhm laus-Heinrich. *Bioquímica Texto y Atlas*. 3 er ed.; Editorial Panamericana, 2004.
11. Kumar Aril y Gupta Rakesh K. *Fundamentals of Polymers Engineering*, 2 do ed.; Marcel Dekker, 2003.
12. Leidenger Otto. *Procesos Industriales*. 1er ed.; Edición Universidad Pontificia del Perú: Perú, 1997.
13. Meneses Juliana, Corrales Catalina María y Valencia Marco. *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*.

Escuela de Ingeniería de Antioquia. Revista EIA, N. 8 Diciembre, 2007.  
ISSN 1794-1237.

**14.**Montaldo Alvaro. *Cultivo de raíces y Tubérculos tropicales*. 2da ed.; Editorial IICA: Perú 1991.

**15.**Montaldo Álvaro. *Yuca o Mandioca*. 1 er ed.; Editorial IICA: Costa Rica, 1985.

**16.**Myllymäki, V., Aksela, R., Patente W/O 2005/023873 A1, 2005.

**17.**Pérez S, Baldwin P, Gallant DJ. *Structural features of starch*. In: *Starch-Chemistry and Technology, 3rd edition*. BeMiller J, Whistler R (eds.):New York, 2009.

**18.**Peñaranda Oscar Iván, Perilla PerillaJairo Ernesto y Algecira Enciso Néstor Ariel. *A review of using organic acids to chemically modify starch*. Revista Redalyc. Sistema de Información Científica. Universidad Nacional de Colombia .Investigación, Vol. 28, Núm. 3, Diciembre, Colombia, 2008.

**19.**Plastivia. *Degradación de los Materiales Plásticos*, Boletín Tec. Inf. N. 21, Gerencia Técnica, Centro de Inf. Técnica: Argentina, 2006.

20. Ponce Tania. *Perfil de la Yuca*. Editorial CORPEI: Ecuador, 2009.
21. Seymour Raimond B. y Carraher Charles E. Jr. *Introducción a la Química de Polímeros*. Editorial Reverté: Nueva York, 2002.
22. Sperling L.H. *Introducción to Physical Polymer Science, 3 er ed.*; Jhon Wiley & Sons, Inc: Canada, 2006.
23. Stevens, E. S. *Green plastics: An introduction to the new science of biodegradable plastics*: Princeton University Press: New Jersey, 2002.
24. Villada Héctor S., Acosta Harold A. y Velasco Reinado J.. *Biopolymers naturals used in biodegradable packaging. Revista de divulgación científica. Facultad de Ciencias Agrícolas, 2007. 0122-7610.*

## PAGINAS WEB

1. Textos científicos. *Polímeros derivados de almidón*. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/almidon> (Obtenido septiembre, 2011). Acceso Febrero 20, 2012.
2. Saber sobre ciencia. *Almidón* [http:// sabertodociencia. blogspot. com/2011/09/ almidones.html](http://sabertodociencia.blogspot.com/2011/09/almidones.html). Acceso Abril 16, 2012.

**NORMAS**

1. NORMA INEN *Determinación de humedad en harinas*. NTE 1462. INEN. Ecuador.1987.
2. NORMA INEN *Harinas de origen vegetal. Determinación de almidón*. NTE 0524. INEN. Ecuador. 1981.
3. NORMA ASTM. *Standard for determining moisture in plastics*. ASTM 6980. United States.2009.
4. NORMA ASTM *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by displacement*. ASTM D-792. United States.2008.
5. NORMA ASTM *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. ASTM D570. United States .1998.
6. NORMA ASTM *Standard Test Method for Slow penetration resistance on plastics*. ASTM F1306. United States. 2002

## CAPÍTULO VII.

### ANEXOS

#### 7.1 PRUEBAS PRELIMINARES PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

PRUEBAS PRELIMINARES (gr)					
NÚMERO°	ALMIDÓN	AGUA	A.ACÉTICO	GLICERINA	TOTAL
1	1	0,25	0,037	0,73	2,02
2	1	0,5	0,037	0,73	2,27
3	1	1	0,037	0,73	2,77
4	1	2	0,037	0,73	3,77
5	1	3	0,037	0,73	4,77
6	1	4	0,037	0,73	5,77
7	1	5	0,037	0,73	6,77
8	1	6	0,037	0,73	7,77
9	1	7	0,037	0,73	8,77
10	1	8	0,037	0,73	9,77
11	1	9	0,037	0,73	10,77
12	1	10	0,037	0,73	11,77

PRUEBAS PRELIMINARES (%)					
NÚMERO°	ALMIDÓN	AGUA	A.ACÉTICO	GLICERINA	TOTAL
1	49,58	12,39	1,83	36,19	100,00
2	44,11	22,06	1,63	32,20	100,00
3	36,14	36,14	1,34	26,38	100,00
4	26,55	53,09	0,98	19,38	100,00
5	20,98	62,93	0,78	15,31	100,00
6	17,34	69,36	0,64	12,66	100,00
7	14,78	73,89	0,55	10,79	100,00
8	12,87	77,25	0,48	9,40	100,00
9	11,41	79,84	0,42	8,33	100,00
10	10,24	81,91	0,38	7,47	100,00
11	9,29	83,59	0,34	6,78	100,00
12	8,50	84,98	0,31	6,20	100,00

Los tratamientos resaltados son aquellos con los que se obtuvieron mejores resultados, y se los tomó como valores medios para la elaboración de las matrices experimentales.

## 7.2 ESQUEMA DE LAS MATRICES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

MATRIZ DEL DISEÑO EXPERIMENTAL												
GRAMOS DE MEZCLA				AGUA (c)								
				ALTO c1			MEDIO c2			BAJO c3		
				GLICERINA (b)								
				ALTO b1	MEDIO b2	BAJO b3	ALTO b1	MEDIO b2	BAJO b3	ALTO b1	MEDIO b2	BAJO b3
ÁCIDO ACÉTICO (d)	ALTO d1	ALMIDON (a)	ALTO a1	a1b1c1d1	a1b2c1d1	a1b3c1d1	a1b1c2d1	a1b2c2d1	a1b3c2d1	a1b1c3d1	a1b2c3d1	a1b3c3d1
			MEDIO a2	a2b1c1d1	a2b2c1d1	a2b3c1d1	a2b1c2d1	a2b2c2d1	a2b3c2d1	a2b1c3d1	a2b2c3d1	a2b3c3d1
			BAJO a3	a3b1c1d1	a3b2c1d1	a3b3c1d1	a3b1c2d1	a3b2c2d1	a3b3c2d1	a3b1c3d1	a3b2c3d1	a3b3c3d1
	MEDIO d2		ALTO a1	a1b1c1d2	a1b2c1d2	a1b3c1d2	a1b1c2d2	a1b2c2d2	a1b3c2d2	a1b1c3d2	a1b2c3d2	a1b3c3d2
			MEDIO a2	a2b1c1d2	a2b2c1d2	a2b3c1d2	a2b1c2d2	a2b2c2d2	a2b3c2d2	a2b1c3d2	a2b2c3d2	a2b3c3d2
			BAJO a3	a3b1c1d2	a3b2c1d2	a3b3c1d2	a3b1c2d2	a3b2c2d2	a3b3c2d2	a3b1c3d2	a3b2c3d2	a3b3c3d2
	BAJO d3		ALTO a1	a1b1c1d3	a1b2c1d3	a1b3c1d3	a1b1c2d3	a1b2c2d3	a1b3c2d3	a1b1c3d3	a1b2c3d3	a1b3c3d3
			MEDIO a2	a2b1c1d3	a2b2c1d3	a2b3c1d3	a2b1c2d3	a2b2c2d3	a2b3c2d3	a2b1c3d3	a2b2c3d3	a2b3c3d3
			BAJO a3	a3b1c1d3	a3b2c1d3	a3b3c1d3	a3b1c2d3	a3b2c2d3	a3b3c2d3	a3b1c3d3	a3b2c3d3	a3b3c3d3

MATRIZ I RELACIÓN ALMIDÓN:AGUA (1:2)												
GRAMOS DE MEZCLA				AGUA (c)								
				ALTA 72 gr			MEDIA 62 gr			BAJA 52 gr		
				GLICERINA (b)								
				ALTO 7,7 gr	MEDIO 6,7 gr	BAJO 5,7	ALTO 7,7 gr	MEDIO 6,7 gr	BAJO 5,7	ALTO 7,7 gr	MEDIO 6,7 gr	BAJO 5,7
ÁCIDO ACÉTICO (d)	ALTO 0,5gr	ALMIDON (a)	ALTO 41gr	(41)(7,7)(72)(0,5)	(41)(6,7)(72)(0,5)	(41)(5,7)(72)(0,5)	(41)(7,7)(62)(0,5)	(41)(6,7)(62)(0,5)	(41)(5,7)(62)(0,5)	(41)(7,7)(52)(0,5)	(41)(6,7)(52)(0,5)	(41)(5,7)(52)(0,5)
			MEDIO 31 gr	(31)(7,7)(72)(0,5)	(31)(6,7)(72)(0,5)	(31)(5,7)(72)(0,5)	(31)(7,7)(62)(0,5)	(31)(6,7)(62)(0,5)	(31)(5,7)(62)(0,5)	(31)(7,7)(52)(0,5)	(31)(6,7)(52)(0,5)	(31)(5,7)(52)(0,5)
			BAJO 21gr	(21)(7,7)(72)(0,5)	(21)(6,7)(72)(0,5)	(21)(5,7)(72)(0,5)	(21)(7,7)(62)(0,5)	(21)(6,7)(62)(0,5)	(21)(5,7)(62)(0,5)	(21)(7,7)(52)(0,5)	(21)(6,7)(52)(0,5)	(21)(5,7)(52)(0,5)
	MEDIO 0,3gr		ALTO 41gr	(41)(7,7)(72)(0,3)	(41)(6,7)(72)(0,3)	(41)(5,7)(72)(0,3)	(41)(7,7)(62)(0,3)	(41)(6,7)(62)(0,3)	(41)(5,7)(62)(0,3)	(41)(7,7)(52)(0,3)	(41)(6,7)(52)(0,3)	(41)(5,7)(52)(0,3)
			MEDIO 31 gr	(31)(7,7)(72)(0,3)	(31)(6,7)(72)(0,3)	(31)(5,7)(72)(0,3)	(31)(7,7)(62)(0,3)	(31)(6,7)(62)(0,3)	(31)(5,7)(62)(0,3)	(31)(7,7)(52)(0,3)	(31)(6,7)(52)(0,3)	(31)(5,7)(52)(0,3)
			BAJO 21gr	(21)(7,7)(72)(0,3)	(21)(6,7)(72)(0,3)	(21)(5,7)(72)(0,3)	(21)(7,7)(62)(0,3)	(21)(6,7)(62)(0,3)	(21)(5,7)(62)(0,3)	(21)(7,7)(52)(0,3)	(21)(6,7)(52)(0,3)	(21)(5,7)(52)(0,3)
	BAJO 0,1gr		ALTO 41gr	(41)(7,7)(72)(0,1)	(41)(6,7)(72)(0,1)	(41)(5,7)(72)(0,1)	(41)(7,7)(62)(0,1)	(41)(6,7)(62)(0,1)	(41)(5,7)(62)(0,1)	(41)(7,7)(52)(0,1)	(41)(6,7)(52)(0,1)	(41)(5,7)(52)(0,1)
			MEDIO 31 gr	(31)(7,7)(72)(0,1)	(31)(6,7)(72)(0,1)	(31)(5,7)(72)(0,1)	(31)(7,7)(62)(0,1)	(31)(6,7)(62)(0,1)	(31)(5,7)(62)(0,1)	(31)(7,7)(52)(0,1)	(31)(6,7)(52)(0,1)	(31)(5,7)(52)(0,1)
			BAJO 21gr	(21)(7,7)(72)(0,1)	(21)(6,7)(72)(0,1)	(21)(5,7)(72)(0,1)	(21)(7,7)(62)(0,1)	(21)(6,7)(62)(0,1)	(21)(5,7)(62)(0,1)	(21)(7,7)(52)(0,1)	(21)(6,78)(52)(0,1)	(21)(5,7)(52)(0,1)

MATRIZ II RELACIÓN ALMIDÓN:AGUA (1:3)												
GRAMOS DE MEZCLA		AGUA (c)										
		ALTO 79			MEDIO 69			BAJO 59				
		GLICERINA (b)										
		ALTO 8,6	MEDIO 7,6	BAJO 6,6	ALTO 8,6	MEDIO 7,6	BAJO 6,6	ALTO 8,6	MEDIO 7,6	BAJO 6,6		
ÁCIDO ACÉTICO (d)	ALTO 0,6 gr	ALMIDON (a)	ALTO 33 gr	(33)(8,6)(79)(0,6)	(33)(7,6)(79)(0,6)	(33)(6,6)(79)(0,6)	(33)(8,6)(69)(0,6)	(33)(7,6)(69)(0,6)	(33)(6,6)(69)(0,6)	(33)(8,6)(59)(0,6)	(33)(7,6)(59)(0,6)	(33)(6,6)(59)(0,6)
			MEDIO 23 gr	(23)(8,6)(79)(0,6)	(23)(7,6)(79)(0,6)	(23)(6,6)(79)(0,6)	(23)(8,6)(69)(0,6)	(23)(7,6)(69)(0,6)	(23)(6,6)(69)(0,6)	(23)(8,6)(59)(0,6)	(23)(7,6)(59)(0,6)	(23)(6,6)(59)(0,6)
			BAJO 13 gr	(13)(8,6)(79)(0,6)	(13)(7,6)(79)(0,6)	(13)(6,6)(79)(0,6)	(13)(8,6)(69)(0,6)	(13)(7,6)(69)(0,6)	(13)(6,6)(69)(0,6)	(13)(8,6)(59)(0,6)	(13)(7,6)(59)(0,6)	(13)(6,6)(59)(0,6)
	MEDIO 0,4 gr		ALTO 33 gr	(33)(8,6)(79)(0,4)	(33)(7,6)(79)(0,4)	(33)(6,6)(79)(0,4)	(33)(8,6)(69)(0,4)	(33)(7,6)(69)(0,4)	(33)(6,6)(69)(0,4)	(33)(8,6)(59)(0,4)	(33)(7,6)(59)(0,4)	(33)(6,6)(59)(0,4)
			MEDIO 23 gr	(23)(8,6)(79)(0,4)	(23)(7,6)(79)(0,4)	(23)(6,6)(79)(0,4)	(23)(8,6)(69)(0,4)	(23)(7,6)(69)(0,4)	(23)(6,6)(69)(0,4)	(23)(8,6)(59)(0,4)	(23)(7,6)(59)(0,4)	(23)(6,6)(59)(0,4)
			BAJO 13 gr	(13)(8,6)(79)(0,4)	(13)(7,6)(79)(0,4)	(13)(6,6)(79)(0,4)	(13)(8,6)(69)(0,4)	(13)(7,6)(69)(0,4)	(13)(6,6)(69)(0,4)	(13)(8,6)(59)(0,4)	(13)(7,6)(59)(0,4)	(13)(6,6)(59)(0,4)
	BAJO 0,2 gr		ALTO 33 gr	(33)(8,6)(79)(0,2)	(33)(7,6)(79)(0,2)	(33)(6,6)(79)(0,2)	(33)(8,6)(69)(0,2)	(33)(7,6)(69)(0,2)	(33)(6,6)(69)(0,2)	(33)(8,6)(59)(0,2)	(33)(7,6)(59)(0,2)	(33)(6,6)(59)(0,2)
			MEDIO 23 gr	(23)(8,6)(79)(0,2)	(23)(7,6)(79)(0,2)	(23)(6,6)(79)(0,2)	(23)(8,6)(69)(0,2)	(23)(7,6)(69)(0,2)	(23)(6,6)(69)(0,2)	(23)(8,6)(59)(0,2)	(23)(7,6)(59)(0,2)	(23)(6,6)(59)(0,2)
			BAJO 13 gr	(13)(8,6)(79)(0,2)	(13)(7,6)(79)(0,2)	(13)(6,6)(79)(0,2)	(13)(8,6)(69)(0,2)	(13)(7,6)(69)(0,2)	(13)(6,6)(69)(0,2)	(13)(8,6)(59)(0,2)	(13)(7,6)(59)(0,2)	(13)(6,6)(59)(0,2)

MATRIZ II RELACIÓN ALMIDÓN:AGUA (1:6)												
GRAMOS DE MEZCLA			AGUA (c)									
			ALTO 88			MEDIO 78			BAJO 68			
			GLICERINA (b)									
			ALTO 9,5	MEDIO 8,5	BAJO 7,5	ALTO 9,5	MEDIO 8,5	BAJO 7,5	ALTO 9,5	MEDIO 8,5	BAJO 7,5	
ÁCIDO ACE'TICO (d)	ALTO 0,7 gr	ALMIDON (a)	ALTO 23 gr	(23)(9,5)(88)(0,7)	(23)(8,5)(88)(0,7)	(23)(7,5)(88)(0,7)	(23)(9,5)(78)(0,7)	(23)(8,5)(78)(0,7)	(23)(7,5)(78)(0,7)	(23)(9,5)(68)(0,7)	(23)(8,5)(68)(0,7)	(23)(7,5)(68)(0,7)
			MEDIO 13 gr	(13)(9,5)(88)(0,7)	(13)(8,5)(88)(0,7)	(13)(7,5)(88)(0,7)	(13)(9,5)(78)(0,7)	(13)(8,5)(78)(0,7)	(13)(7,5)(78)(0,7)	(13)(9,5)(68)(0,7)	(13)(8,5)(68)(0,7)	(13)(7,5)(68)(0,7)
			BAJO 3 gr	(3)(9,5)(88)(0,7)	(3)(8,3)(88)(0,7)	(3)(7,5)(88)(0,7)	(3)(9,5)(78)(0,7)	(3)(8,3)(78)(0,7)	(3)(7,5)(78)(0,7)	(3)(9,5)(68)(0,7)	(3)(8,3)(68)(0,7)	(3)(7,5)(68)(0,7)
	MEDIO 0,5 gr		ALTO 23 gr	(23)(9,5)(88)(0,5)	(23)(8,5)(88)(0,5)	(23)(7,5)(88)(0,5)	(23)(9,5)(78)(0,5)	(23)(8,5)(78)(0,5)	(23)(7,5)(78)(0,5)	(23)(9,5)(68)(0,5)	(23)(8,5)(68)(0,5)	(23)(7,5)(68)(0,5)
			MEDIO 13 gr	(13)(9,5)(88)(0,5)	(13)(8,5)(88)(0,5)	(13)(7,5)(88)(0,5)	(13)(9,5)(78)(0,5)	(13)(8,5)(78)(0,5)	(13)(7,5)(78)(0,5)	(13)(9,5)(68)(0,5)	(13)(8,5)(68)(0,5)	(13)(7,5)(68)(0,5)
			BAJO 3 gr	(3)(9,5)(88)(0,5)	(3)(8,5)(88)(0,5)	(3)(7,5)(88)(0,5)	(3)(9,5)(78)(0,5)	(3)(8,5)(78)(0,5)	(3)(7,5)(78)(0,5)	(3)(9,5)(68)(0,5)	(3)(8,5)(68)(0,5)	(3)(7,5)(68)(0,5)
	BAJO 0,3 gr		ALTO 23 gr	(23)(9,5)(88)(0,3)	(23)(8,5)(88)(0,3)	(23)(7,5)(88)(0,3)	(23)(9,5)(78)(0,3)	(23)(8,5)(78)(0,3)	(23)(7,5)(78)(0,3)	(23)(9,5)(68)(0,3)	(23)(8,5)(68)(0,3)	(23)(7,5)(68)(0,3)
			MEDIO 13 gr	(13)(9,5)(88)(0,3)	(13)(8,5)(88)(0,3)	(13)(7,5)(88)(0,3)	(13)(9,5)(78)(0,3)	(13)(8,5)(78)(0,3)	(13)(7,5)(78)(0,3)	(13)(9,5)(68)(0,3)	(13)(8,5)(68)(0,3)	(13)(7,5)(68)(0,3)
			BAJO 3 gr	(3)(9,5)(88)(0,3)	(3)(8,5)(88)(0,3)	(3)(7,5)(88)(0,3)	(3)(9,5)(78)(0,3)	(3)(8,5)(78)(0,3)	(3)(7,5)(78)(0,3)	(3)(9,5)(68)(0,3)	(3)(8,5)(68)(0,3)	(3)(7,5)(68)(0,3)

### 7.3 CÁLCULOS

- RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINAS DE CADA UNA DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{harina obtenida}}{\text{materia prima}} * 100$$

$$\text{Rendimiento Muestra Catamayo} = \frac{631\text{gr}}{1000} * 100$$

$$\text{Rendimiento Catamayo} = 63,1\%$$

$$\text{Rendimiento Muestra Zamora} = \frac{654\text{gr}}{1000} * 100$$

$$\text{Rendimiento Zamora} = 65,4\%$$

$$\text{Rendimiento Muestra Malacatos} = \frac{635\text{gr}}{1000} * 100$$

$$\text{Rendimiento Malacatos} = 63,5\%$$

LUGAR	CANTIDAD DE CORTEZAS (gr)	CANTIDAD DE HARINA OBTENIDA (gr)	RENDIMIENTO
CATAMAYO	1000gr	631gr	63,1%
ZAMORA	1000gr	654gr	65,4%
MALACATOS	1000gr	635gr	63,5%

Elaboración: La Autora

- **PORCENTAJE DE ALMIDÓN DE HARINAS DE CADA UNA DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS.**

$$\% \text{ Porcentaje de almidon} = \frac{\text{Peso almidón obtenido}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Porcentaje de Almidon Catamayo} = \frac{3,348gr}{5,104gr} * 100$$

$$\% \text{ Porcentaje de Almidon Catamayo} = 65,59 \%$$

$$\% \text{ Porcentaje de Almidon Zamora} = \frac{3,396gr}{5,091gr} * 100$$

$$\% \text{ Porcentaje de Almidon Zamora} = 66,71 \%$$

$$\% \text{ Porcentaje de Almidon Malacatos} = \frac{3,318gr}{5,038gr} * 100$$

$$\% \text{ Porcentaje de Almidon Malacatos} = 65,85\%$$

LUGAR	CANTIDAD DE HARINA	CANTIDAD DE ALMIDÓN	PORCENTAJE DE ALMIDÓN
CATAMAYO	5,104gr	3,348gr	65,59%
ZAMORA	5,091gr	3,396gr	66,71%
MALACATOS	5,038gr	3,318gr	65,85%
BLANCO	5,055gr	5,052gr	99,94%

Elaboración: La Autora

- VARIANZA DEL PORCENTAJE DE ALMIDÓN DE HARINAS DE CADA UNA DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS.

LUGAR	% PORCENTAJE DE ALMIDÓN	PORCENTAJE AL CUADRADO
CATAMAYO	65,59	4302,05
ZAMORA	66,71	4450,22
MALACATOS	65,85	4336,22
TOTAL	198,15	13088,49

Elaboración: La Autora

#### MEDIA

$$\bar{X} = \frac{65,59 + 66,71 + 65,85}{3} = \frac{198,15}{3}$$

$$\bar{X} = 66,05$$

#### VARIANZA

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 + \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{(13088,49) - \frac{(198,15)^2}{3}}{3 - 1}$$

$$\sigma^2 = 0,34$$

- **DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN EL ALMIDÓN**

Peso de la capsula: 57,8777gr

Peso de la muestra: 4,2072

Peso de la muestra más la capsula: 62.0849

Peso final: 61,4886

$$\textit{Humedad en Almidón} = \frac{62.0849 - 61,4886}{4,2072} * 100$$

$$\textit{Humedad en Almidón} = 14,17\%$$

- **FÓRMULA PARA DETERMINAR EL AUMENTO DE PESO POR ABSORCIÓN DE AGUA.**

$$\% \textit{Incremento de peso} = \frac{\textit{peso húmedo} - \textit{peso seco}}{\textit{peso seco}} * 100$$

- **FÓRMULA PARA DETERMINAR EL AUMENTO DE PESO POR ABSORCIÓN DE AGUA.**

$$\textit{sp gr 23/23}^{\circ}\text{C} = \frac{\textit{masa aparente de la muestra}}{(\textit{masa aparente} + \textit{masa alambre} - \textit{masa muestra sumergida})}$$

$$\textit{Densidad}^{23^{\circ}\text{C}}, \textit{g/cm}^3 = \textit{sp gr 23/23}^{\circ}\text{C} * 997,5$$

- **VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE TODOS LOS VALORES DE HUMEDAD ALCANZADA DURANTE EL PROCESO DE SECADO.**

<b>HUMEDAD</b>									
<b>NÚMERO</b>	<b>PRUEBA N° (gr)</b>	<b>PESO HÚMEDO P<sub>1</sub></b>		<b>PESO SECO</b>		<b>HUMEDAD (%)</b>			
		<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b><math>(\bar{x})^2</math></b>
<b>MATRIZ 1</b>									
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	5,0001	5,0032	4,4976	4,4997	10,05	10,06	10,06	101,14
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	4,0012	4,0003	3,5973	3,5977	10,09	10,06	10,08	101,59
<b>MATRIZ 2</b>									
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	5,0001	5,0003	4,4945	4,4972	10,11	10,06	10,09	101,74
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	3,0010	3,0001	2,6872	2,6855	10,46	10,49	10,47	109,65
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	4,0002	4,0000	3,6009	3,6011	9,98	9,97	9,98	99,55
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	5,0011	5,0006	4,4561	4,4573	10,90	10,86	10,88	118,40
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	3,0002	3,0001	2,6992	2,6979	10,03	10,07	10,05	101,06
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	3,0001	3,0012	2,7009	2,7020	9,97	9,97	9,97	99,42
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	5,0012	5,0006	4,4899	4,4892	10,22	10,23	10,23	104,55
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	3,0001	3,0014	2,6944	2,6950	10,19	10,21	10,20	104,02
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	5,0021	5,0013	2,6272	2,5782	47,48	48,45	47,96	2300,52
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	4,0001	4,0003	3,5959	3,5964	10,10	10,10	10,10	102,03
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	5,0000	5,0003	4,4551	4,4555	10,90	10,90	10,90	118,74
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	4,0005	4,0011	3,5957	3,5951	10,12	10,15	10,13	102,68
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	4,0007	4,0033	3,5599	3,5594	11,02	11,09	11,05	122,17
<b>MATRIZ 3</b>									
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	4,0005	4,0009	3,5572	3,5173	11,08	12,09	11,58	134,19
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	5,0011	5,0000	4,4519	4,4519	10,98	10,96	10,97	120,38
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	5,0006	5,0007	4,4629	4,4721	10,75	10,57	10,66	113,67

Continúa...

Continuación...

19	(13)(7,5)(68)(0,5)	3,0022	3,0019	2,6999	2,7001	10,07	10,05	10,06	101,23
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	3,0013	3,0012	2,6959	2,6961	10,18	10,17	10,17	103,44
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	4,0001	4,0003	3,5941	3,5944	10,15	10,15	10,15	102,99
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	3,0042	3,0040	2,7011	2,7013	10,09	10,08	10,08	101,66
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	5,0006	5,0001	4,4828	4,4757	10,35	10,49	10,42	108,60
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	3,0004	3,0001	2,6999	2,6997	10,02	10,01	10,01	100,28
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	3,0002	3,0004	2,7010	2,7013	9,97	9,97	9,97	99,41
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	3,0004	3,0015	2,6799	2,6799	10,68	10,71	10,70	114,45
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	2,0001	2,0009	1,7916	1,7928	10,42	10,40	10,41	108,42
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	3,0008	3,0007	2,6929	2,6920	10,26	10,29	10,27	105,56
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	3,0001	3,0012	2,6951	2,6961	10,17	10,17	10,17	103,35
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	3,0003	3,0011	2,6976	2,6974	10,09	10,12	10,10	102,10
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	5,0005	5,0004	4,4951	4,4952	10,11	10,10	10,11	102,11
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	3,0012	3,0014	2,6932	2,6941	10,26	10,24	10,25	105,07
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	3,0005	3,0006	2,6901	2,6910	10,34	10,32	10,33	106,74
34	(23)(7,5)(88)(0,3)	5,0002	5,0003	4,4999	4,5000	10,01	10,01	10,01	100,11
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	4,0019	4,0001	3,5996	3,5999	10,05	10,00	10,03	100,58
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	5,0000	5,0003	4,4949	4,4947	10,10	10,11	10,11	102,15
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	3,0024	3,0004	2,6976	2,6959	10,15	10,15	10,15	103,03
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	3,0000	3,0002	2,6973	2,6971	10,09	10,10	10,10	101,94
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	2,0005	2,0005	1,7974	1,7976	10,15	10,14	10,15	102,97
40	(23)(8,5)(78)(0,7)	3,007	3,0030	2,7045	2,7009	10,06	10,06	10,06	101,20

Elaboración: La Autora

**MEDIA**

$$\bar{X} = \frac{449,17}{40} = 11,23$$

**VARIANZA**

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 + \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{6432,90 - \frac{449,17^2}{40}}{40 - 1}$$

$$\sigma^2 = 35,62$$

**DESVIACIÓN ESTANDAR**

$$f = \sqrt{\sigma^2}$$

$$f = \sqrt{35,62}$$

$$f = \pm 5,97$$

- VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE TODOS LOS VALORES DE DENSIDAD DE LOS TRATAMIENTOS

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	ESPESOR (mm)		PESO EN AIRE (gr)		PESO EN AGUA (gr)		W (Alambre)	DENSIDAD (D°23C)(gr/cm3)			
		R1	R2	a1	a2	b1	b2		R1	R2	$\bar{X}$	$(\bar{X})^2$
<b>MATRIZ 1</b>												
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	2	2	2	2	1,6	1,5	0,01	4,87	3,91	4,39	19,27
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	5	3	5	3	4,1	2,4	0,01	5,48	4,91	5,20	27,04
<b>MATRIZ 2</b>												
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,1	2	0,01	6,08	4,89	3,93	15,44
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	3	5	3	5	0,7	2,2	0,01	1,3	1,77	3,09	9,55
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	3	2	3	2	2,4	1,6	0,01	4,91	4,87	4,91	24,11
6	(13)(6,6)(59)(0,2)	3	3	3	3	2,4	2,4	0,01	4,91	4,91	3,52	12,39
7	(23)(8,6)(59)(0,4)	3	3	3	3	2,3	1,6	0,01	4,21	2,12	5,39	29,05
8	(13)(7,6)(59)(0,4)	1,8	1,8	2,7	2,7	1,5	2,3	0,01	2,23	6,57	4,05	16,40
9	(13)(6,6)(59)(0,4)	3	3	3	3	2,4	2,5	0,01	4,91	5,87	4,70	22,09
10	(13)(6,6)(59)(0,6)	5	5	5	5	3,9	3,9	0,01	4,49	4,49	4,71	22,18
11	(13)(7,6)(79)(0,2)	4	4	4	4	3,1	3,2	0,01	4,38	4,93	5,13	26,32
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	2,83	3	2,83	3	2,3	2,5	0,01	5,23	5,87	3,85	14,82
13	(13)(6,6)(79)(0,4)	2	2	2	2	1,2	1,2	0,01	2,46	2,46	3,19	10,18
14	(13)(8,6)(79)(0,4)	2	2	2	2	1,1	1,5	0,01	2,19	3,91	3,84	14,75
15	(23)(7,6)(79)(0,6)	5	5	5	5	3,9	4,1	0,01	4,49	5,48	2,25	5,06
<b>MATRIZ 3</b>												
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	1,43	1,43	1,43	1,43	1,1	1,1	0,01	4,1954	4,1954	4,20	17,64
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	5	5	5	5	4	4	0,01	4,9381	4,9381	4,94	24,40
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	3	5	3	5	2,4	2,5	0,01	4,9057	1,9871	3,45	11,90
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	2,5	2,7	2,5	2,7	2,1	2,2	0,01	6,0823	5,2809	5,68	32,26

Continúa...

Continuación...

NÚMERO	N° DE PRUEBA (gr)	ESPESOR (mm)		PESO EN AIRE (gr)		PESO EN AGUA (gr)		W (Alambre)	DENSIDAD (D°23C)(gr/cm3)			
		R1	R2	a1	a2	b1	b2		R1	R2	$\bar{X}$	$(\bar{X})^2$
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	3	3	3	3	2,4	2,1	0,01	4,9057	3,2885	4,10	16,81
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	3	3	3	3	2,6	2,6	0,01	7,2988	7,2988	7,30	53,29
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	3	1,7	3	1,7	2,3	1,1	0,01	4,2148	2,7799	3,50	12,25
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	2	2	2	2	1,3	1,7	0,01	2,8099	6,4355	4,62	21,34
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	3	3	3	3	2,5	2,5	0,01	5,8676	5,8676	5,87	34,46
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	3	3	3	3	2,3	1,6	0,01	4,2148	2,1223	3,17	10,05
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	2	2	2	2	1,6	1,7	0,01	4,8659	6,4355	5,65	31,92
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	3	3	3	3	2,5	2,5	0,01	5,8676	5,8676	5,87	34,46
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	3	2,35	3	2,35	2,5	2	0,01	5,8676	6,5115	6,19	38,32
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	3	3	3	3	2,5	2,5	0,01	5,8676	5,8676	5,87	34,46
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	2	3	2	3	1,7	2,7	0,01	6,4355	9,6532	8,04	64,64
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	3	3	3	3	1,5	1,5	0,01	1,9818	1,9818	1,98	3,92
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	5	3	5	3	3,9	2,4	0,01	4,4932	4,9057	4,70	22,09
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	5	3	5	3	4,1	2,6	0,01	5,4808	7,2988	6,39	40,83
34	(23)(8,5)(78)(0,7)	3,7	3,7	3,7	3,7	3,1	3,1	0,01	6,0504	6,0504	6,05	36,60
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	5	5	5	5	3,9	3,7	0,01	4,4932	3,8073	4,15	17,22
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	3	2	3	2	2,5	1,7	0,01	5,8676	6,4355	6,15	37,82
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	5	3	5	3	2,3	0,9	0,01	1,8404	1,4182	1,63	2,66
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	2	1,8	2	1,8	1,5	1,4	0,01	3,9118	4,3793	4,15	17,22
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	5	5	5	5	3,9	4	0,01	4,4932	4,9381	4,72	22,28
40	(23)(7,5)(88)(0,3)	2	2	2	2	1,7	1,7	0,01	6,4355	6,4355	6,44	41,47

Elaboración: La autora

**MEDIA**

$$\bar{X} = \frac{186,96}{40} = 4,67$$

**VARIANZA**

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 + \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{948,98 - \frac{186,96^2}{40}}{40 - 1}$$

$$\sigma^2 = 1,92$$

**DESVIACIÓN ESTANDAR**

$$f = \sqrt{\sigma^2}$$

$$f = \sqrt{1,92}$$

$$f = \pm 1,38$$

- VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE LA PENETRACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

NÚMERO	N° MUESTRA	PENETRACION (mm)									
		REPETICIONES								PROMEDIO	
		1	2	3	P	1	2	3	P	$\bar{X}$	$(\bar{X})^2$
<b>MATRIZ 1</b>											
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	0	2	2	2	2	0	2	2	2	4
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	11	13	11	11	8	11	13	11	11	121
<b>MATRIZ 2</b>											
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	11	12	12	12	13	12	12	12	12	144
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	5	4	5	5	5	5	5	5	5	25
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	1	1	0	1	0	0	1	0	0,5	0,25
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	12	12	15	12	14	14	15	14	13	169
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	20	6	6	6	6	15	6	6	6	36
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	9	3	3	3	10	7	7	7	5	25
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	10	7	10	10	11	8	10	10	10	100
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	1	3	3	3	0	1	1	1	2	4
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	22	20	20	20	24	25	24	24	22	484
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	3	2	12	2	2	2	2	2	2	4
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	6	8	8	8	3	6	6	6	7	49
<b>MATRIZ 3</b>											
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	1	1	2	2	2	3	3	3	2,5	6,25
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	2	0	0	0	1	3	1	1	0,5	0,25
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	0	0	0	0,5	6	1	1	1	0,75	0,56

Continúa...

Continuación...

NÚMERO	N° MUESTRA	PENETRACION									
		REPETICIONES								PROMEDIO	
		1	2	3	P	1	2	3	P	$\bar{X}$	$(\bar{X})^2$
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	12	9	9	9	12	10	10	10	9,5	90,25
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	13	12	12	12	8	10	10	10	11	121
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	22	23	22	22	24	23	22	22	22	484
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	42	40	40	40	43	40	40	40	40	1600
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	20	15	20	20	18	20	18	18	19	361
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	1	2	2	2	1	1	1	1	1,5	2,25
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	30	30	25	30	28	30	30	30	30	900
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	21	31	20	20	22	20	20	20	20	400
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	10	11	10	10	13	10	12	12	11	121
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	1	3	3	3	3	2	3	3	3	9
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	21	20	21	21	23	24	24	24	22,5	506,25
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	13	15	15	15	20	15	15	15	15	225
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	25	25	23	25	21	13	13	13	19	361
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	27	35	35	35	27	30	35	35	35	1225
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	9	9	7	9	16	9	9	9	9	81
34	(23)(8,5)(78)(0,7)	8	14	14	14	12	20	20	20	17	289
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	8	15	8	8	7	7	20	7	7,5	56,25
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	2	2	3	3	0	0	2	0	1,5	2,25
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	14	16	16	16	15	16	16	16	16	256
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	11	5	11	11	7	13	13	13	12	144
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	21	18	18	18	18	17	18	18	18	324
40	(23)(7,5)(88)(0,3)	1	2	1	1	1	0	0	0	0,5	0,25

Elaboración: La Autora

**MEDIA**

$$\bar{X} = \frac{441,25}{40} = 11,03$$

**VARIANZA**

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 + \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{8730,81 - \frac{441,25^2}{40}}{40 - 1}$$

$$\sigma^2 = 99,06$$

**DESVIACIÓN ESTANDAR**

$$f = \sqrt{\sigma^2}$$

$$f = \sqrt{99,06}$$

$$f = \pm 9,95$$

**- VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTANDAR DEL PORCENTAJE DE AUMENTO DE PESO POR ABSORCIÓN DE AGUA DE LOS TRATAMIENTOS**

N°.	PRUEBA N° (gr)	PESO HÚMEDO P <sub>1</sub>		PESO SECO		24 HORAS		48 HORAS		2 SEMANAS		4 SEMANAS		% AUMENTO DE PESO			
		R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	$\bar{x}$	$(\bar{x})^2$
<b>MATRIZ 1</b>																	
1	(21)(6,7)(62)(0,3)	5,0001	5,0032	4,4976	4,4997	7,4879	7,4900	8,1357	8,1378	8,3129	8,3177	8,3129	8,3177	84,83	84,85	84,84	7197,83
2	(21)(7,7)(72)(0,3)	4,0012	4,0003	3,5973	3,5977	5,8179	5,8183	6,6657	6,6661	6,8079	6,8104	6,8079	6,8104	89,25	89,3	89,28	7970,03
<b>MATRIZ 2</b>																	
3	(13)(7,6)(59)(0,2)	5,0001	5,0003	4,4945	4,4972	6,3179	6,3206	7,0157	7,0184	7,0559	7,0620	7,0559	7,0620	56,99	57,03	57,01	3250,14
4	(13)(8,6)(59)(0,2)	3,0010	3,0001	2,6872	2,6855	4,7869	4,7852	5,1433	5,1416	5,2245	5,2228	5,2245	5,2228	94,42	94,48	94,45	8920,80
5	(23)(7,6)(59)(0,2)	4,0002	4,0000	3,6009	3,6011	5,3215	5,3217	6,1231	6,1233	6,3837	6,3721	6,3837	6,3721	77,28	76,95	77,12	5946,72
6	(23)(7,6)(79)(0,6)	5,0011	5,0006	4,4561	4,4573	5,5123	5,5135	5,7965	5,7977	5,8486	5,8511	5,8486	5,8511	31,25	31,27	31,26	977,19
7	(13)(6,6)(59)(0,2)	3,0002	3,0001	2,6992	2,6979	3,5012	3,4999	5,8967	5,8954	3,9225	3,9203	3,9225	3,9203	45,32	45,31	45,32	2053,45
8	(23)(8,6)(59)(0,4)	3,0001	3,0012	2,7009	2,7020	3,7854	3,7865	4,1427	4,1438	4,3260	4,3254	4,3260	4,3254	60,17	60,08	60,13	3615,02
9	(13)(7,6)(59)(0,4)	5,0012	5,0006	4,4899	4,4892	5,8425	5,8418	7,4978	7,4971	7,7635	7,7587	7,7635	7,7587	72,91	72,83	72,87	5310,04
10	(13)(6,6)(59)(0,4)	3,0001	3,0014	2,6944	2,6950	4,4912	4,4918	4,9976	4,9982	5,0895	5,0876	5,0895	5,0876	88,89	88,78	88,84	7891,66
11	(13)(6,6)(59)(0,6)	5,0021	5,0013	2,6272	2,5782	3,8756	3,8266	4,2978	4,2488	4,5138	4,4291	4,5138	4,4291	71,81	71,79	71,80	5155,24
12	(13)(7,6)(69)(0,2)	4,0001	4,0003	3,5959	3,5964	3,9536	3,9541	4,5234	4,5239	4,7491	4,7508	4,7491	4,7508	32,07	32,10	32,09	1029,45
13	(13)(7,6)(79)(0,2)	5,0000	5,0003	4,4551	4,4555	5,9867	5,9871	7,5643	7,5647	7,9835	7,9696	7,9835	7,9696	79,2	78,87	79,04	6246,53
14	(13)(6,6)(79)(0,4)	4,0005	4,0011	3,5957	3,5951	4,0124	4,0118	5,9865	5,9859	5,2263	5,2284	5,2263	5,2284	45,35	45,43	45,39	2060,25
15	(13)(8,6)(79)(0,4)	4,0007	4,0033	3,5599	3,5594	4,3855	4,3850	5,0141	5,0136	5,5930	5,5918	5,5930	5,5918	57,11	57,10	57,11	3260,98
<b>MATRIZ 3</b>																	
16	(13)(8,5)(88)(0,7)	4,0005	4,0009	3,5572	3,5173	4,0822	4,0423	4,5511	4,5112	4,8083	4,7533	4,8083	4,7533	35,17	35,14	35,16	1235,87
17	(23)(8,5)(68)(0,3)	5,0011	5,0000	4,4519	4,4519	5,7861	5,7861	7,4867	7,4867	7,7374	7,7352	7,7374	7,7352	73,80	73,75	73,78	5442,75
18	(23)(7,5)(68)(0,3)	5,0006	5,0007	4,4629	4,4721	5,0021	5,0113	6,9845	6,9937	7,5343	7,5480	7,5343	7,5480	68,82	68,78	68,80	4733,44

Continúa...

Continuación...

N°.	PRUEBA N° (gr)	PESO HÚMEDO P <sub>1</sub>		PESO SECO		24 HORAS		48 HORAS		2 SEMANAS		4 SEMANAS		% AUMENTO DE PESO			
		R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	$\bar{x}$	$(\bar{x})^2$
19	(13)(7,5)(68)(0,5)	3,0022	3,0019	2,6999	2,7001	3,0978	3,0980	4,0876	4,0878	4,5669	4,5777	4,5669	4,5777	69,15	69,54	69,35	4808,73
20	(13)(9,5)(68)(0,5)	3,0013	3,0012	2,6959	2,6961	3,0578	3,0580	4,0123	4,0125	4,4024	4,4017	4,4024	4,4017	63,30	63,26	63,28	4004,36
21	(13)(9,5)(68)(0,7)	4,0001	4,0003	3,5941	3,5944	5,7865	5,7868	6,3978	6,3981	6,5078	6,5055	6,5078	6,5055	81,07	80,99	81,03	6565,86
22	(23)(9,5)(68)(0,7)	3,0042	3,0040	2,7011	2,7013	4,4521	4,4523	5,0876	5,0878	5,1688	5,1681	5,1688	5,1681	91,36	91,32	91,34	8343,00
23	(13)(8,5)(68)(0,5)	5,0006	5,0001	4,4828	4,4757	6,4531	6,4460	7,4589	7,4518	7,6858	7,6722	7,6858	7,6722	71,45	71,42	71,44	5102,96
24	(23)(8,5)(78)(0,3)	3,0004	3,0001	2,6999	2,6997	3,5213	3,5211	3,6845	3,6843	3,7515	3,7523	3,7515	3,7523	38,95	38,99	38,97	1518,66
25	(23)(7,5)(68)(0,7)	3,0002	3,0004	2,7010	2,7013	4,7865	4,7868	5,0679	5,0682	5,1087	5,1095	5,1087	5,1095	89,14	89,15	89,15	7946,83
26	(13)(9,5)(78)(0,3)	3,0004	3,0015	2,6799	2,6799	2,7869	2,7869	2,9967	2,9967	5,0355	5,0350	5,0355	5,0350	87,90	87,88	87,89	7724,65
27	(13)(8,5)(68)(0,3)	2,0001	2,0009	1,7916	1,7928	2,6895	2,6907	3,0579	3,0591	3,1052	3,1082	3,1052	3,1082	73,32	73,37	73,35	5379,49
28	(13)(7,5)(78)(0,3)	3,0008	3,0007	2,6929	2,6920	2,9985	2,9976	3,3986	3,3977	3,4957	3,4972	3,4957	3,4972	29,81	29,91	29,86	891,62
29	(13)(8,5)(78)(0,5)	3,0001	3,0012	2,6951	2,6961	4,002	4,0030	4,5997	4,6007	4,7369	4,7449	4,7369	4,7449	75,76	75,99	75,88	5757,02
30	(13)(7,5)(78)(0,5)	3,0003	3,0011	2,6976	2,6974	4,0067	4,0065	4,8965	4,8963	4,9444	4,9470	4,9444	4,9470	83,29	83,4	83,35	6946,39
31	(23)(9,5)(78)(0,5)	5,0005	5,0004	4,4951	4,4952	6,2319	6,2320	7,3967	7,3968	7,5082	7,5115	7,5082	7,5115	67,03	67,10	67,07	4497,71
32	(13)(7,5)(78)(0,7)	3,0012	3,0014	2,6932	2,6941	4,1254	4,1263	4,5986	4,5995	4,7936	4,7955	4,7936	4,7955	77,99	78,00	78,00	6083,22
33	(13)(8,5)(78)(0,7)	3,0005	3,0006	2,6901	2,6910	4,3261	4,3270	4,7965	4,7974	4,9764	4,9743	4,9764	4,9743	84,99	84,85	84,92	7211,41
40	(23)(8,5)(78)(0,7)	3,007	3,0030	2,7045	2,7009	4,8975	4,8939	5,0956	5,0920	5,1477	5,1387	5,1477	5,1387	90,34	90,26	90,30	8154,09
35	(23)(9,5)(78)(0,7)	4,0019	4,0001	3,5996	3,5999	5,6875	5,6878	6,8976	6,8979	6,9102	6,9118	6,9102	6,9118	91,97	92,00	91,99	8461,24
36	(23)(9,5)(88)(0,3)	5,0000	5,0003	4,4949	4,4947	6,9654	6,9652	7,5876	7,5874	7,6759	7,6769	7,6759	7,6769	70,77	70,80	70,79	5010,52
37	(13)(9,5)(88)(0,3)	3,0024	3,0004	2,6976	2,6959	4,0053	4,0036	4,7988	4,7971	4,8314	4,8275	4,8314	4,8275	79,10	79,07	79,09	6254,44
38	(23)(8,5)(88)(0,3)	3,0000	3,0002	2,6973	2,6971	3,9988	3,9986	4,5948	4,5946	4,6499	4,6485	4,6499	4,6485	72,39	72,35	72,37	5237,42
39	(13)(9,5)(88)(0,5)	2,0005	2,0005	1,7974	1,7976	2,9976	2,9978	3,1398	3,1400	3,1562	3,1548	3,1562	3,1548	75,60	75,50	75,55	5707,80
34	(23)(7,5)(88)(0,3)	5,0002	5,0003	4,4999	4,5000	5,2389	5,2390	5,6157	5,6158	5,6379	5,6390	5,6379	5,6390	25,29	25,31	25,30	640,09

Elaboración: La autora

**MEDIA**

$$\bar{X} = \frac{2752,56}{40} = 68,81$$

**VARIANZA**

$$\sigma^2 = \frac{\sum X^2 + \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{204544,87 - \frac{2752,56^2}{40}}{40 - 1}$$

$$\sigma^2 = 381,26$$

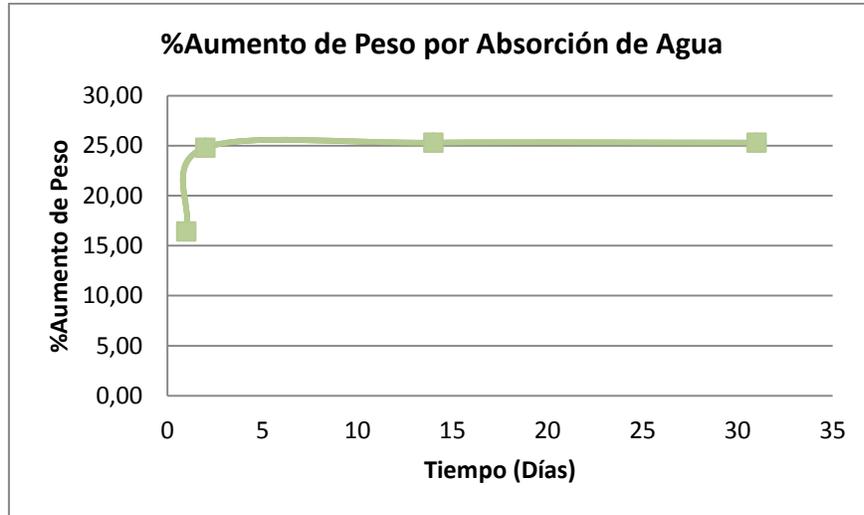
**DESVIACIÓN ESTANDAR**

$$f = \sqrt{\sigma^2}$$

$$f = \sqrt{381,26}$$

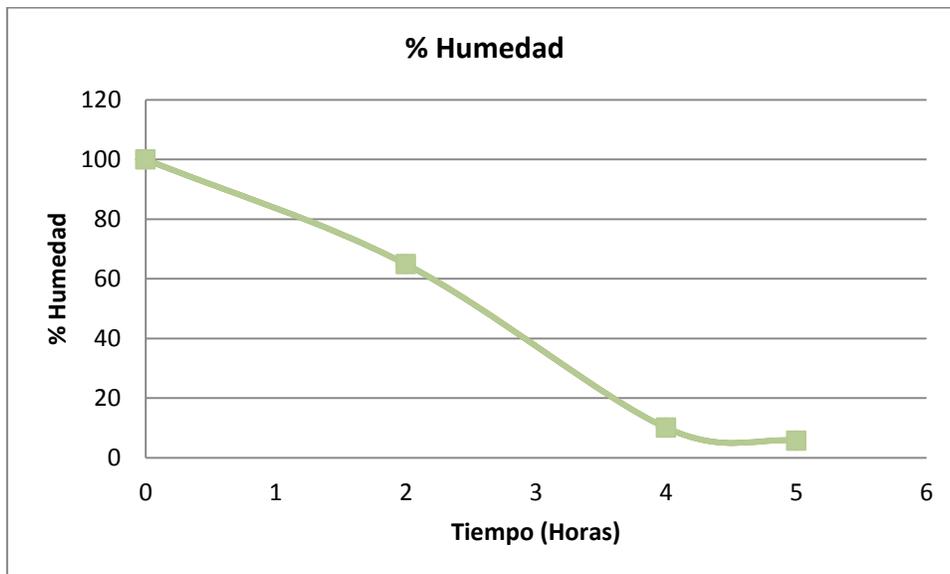
$$f = \pm 19,52$$

- **DIAGRAMA DEL PORCENTAJE DE AUMENTO DE PESO POR ABSORCIÓN DE AGUA DEL MEJOR TRATAMIENTO DE BIOPOLÍMERO (23)(7,5)(88)(0,3)**



**Elaboración:** La Autora

- **DIAGRAMA DE HUMEDAD DURANTE EL PROCESO DE SECADO DEL MEJOR TRATAMIENTO DE BIOPOLÍMERO (23)(7,5)(88)(0,3)**



**Elaboración:** La Autora

#### 7.4 MEMORIA FOTOGRÁFICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



**FIGURA 9.** Cortezas de yuca tal como fue recolectadas en la Parroquia Malacatos.



**FIGURA 10.** Cortezas de yuca una vez retirada la epidermis, materia prima para realizar la investigación.



**FIGURA 11.** Tamizado del almidón



**FIGURA 12.** Inicia el proceso de gelatinización A) y culmina el proceso de gelatinización B).



**FIGURA 13.** Colocación del biopolímero en los moldes



**FIGURA 14.** El proceso de gelatinización no culminó, y la contracción  $<10\text{mm}$  de las muestras durante el secado.



**FIGURA 15.** Tratamientos que modificaron su forma durante el proceso de secado



**FIGURA 16.** Tratamientos que poseen más del 80% de agua en la composición de mezcla.



**FIGURA 17.** Tratamiento que presentó las mejores condiciones para la elaboración de artículos de decoración, con una composición de 19,36 de almidón, 6,31% de glicerina, 74,08% de agua y 0,25% de ácido acético.

**“Development of Starch Biopolymers from Waste Organic Materials as Cassava Peel (*Manihot esculenta*)** María José Valarezo Ulloa<sup>1</sup>. [mjvalarezo@utpl.edu.ec](mailto:mjvalarezo@utpl.edu.ec)

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. NATURAL FIBER  
AREA.CHEMICAL ENGINEERING SCHOOL<sup>1</sup>.**

## ABSTRACT

The development of eco-friendly products is currently at its peak because of the continuous search for practical solutions to environmental problems and the urgent need to avoid non-renewable products. Extensive research has been conducted over the last few decades with the aim of finding new materials, which will replace other materials such as plastic and metals. An innovative solution is to use renewable raw materials such as starch for the production of biopolymers and organic macromolecules. Due to this situation and because of our desire to help reduce environmental pollution, new starch-based products have been recommended. This starch is obtained from organic waste materials such as cassava peels (*Manihot esculenta*). Using water and glycerol as plasticizers and acetic acid as chemical modifier, a resistant, flexible and elastic biopolymer has developed. This material has similar characteristics to those of plastic, but the difference is that it comes from plants and can be used to make decorative items. The biopolymer obtained consists of 36% starch, 6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid. Had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm penetration and 25.3% increase in weight due to water absorption.

**Key words:** Starch, Biopolymers, Degradation, Cassava.

## INTRODUCTION

Environmental problems are evident on the planet, and the urgent need for change has become one of the pillars of research, developing new materials every day that do not only replace those conventional, but do not generate pollution.

The development of materials from renewable sources is an alternative that is being exploited at present and has brought great achievements<sup>[1]</sup>. Materials such as cellulose, starch and natural fibers have come into widespread use to replace materials such as fiberglass, plastics and metals<sup>[2]</sup>.

The use of waste materials such as cassava peels, represent a high starch source, from which one can prepare biopolymers that have similar properties as plastics and can be used as feedstock for the production of decorative articles and artwork.



**Figure 1.** Cassava and cassava and peels.

In order to develop environmentally friendly materials, and help the unbinding of non-renewable products, it has been

developed a biopolymer made from starch of cassava peels.

## **Process of preparation of the biopolymer**

### **Initiation or gelatinization**

Is defined as the loss of crystallinity of the starch granules in the presence of high quantities of heat and water<sup>[3]</sup>.

Gelatinization occurs in a narrow temperature range which varies depending on the source of starch. Cassava starch gelatinized in water at a temperature between 55 °C and 65°C, which consists of a swelling of the starch molecules because the water penetrates in its molecular structure<sup>[2]</sup>.

The unwinding and the thermal mobility of the molecules produced by swelling, generates the decrease in crystallinity, breaking the structure. The behavior of the mixture will depend on the concentration and level of water absorption by the starch<sup>[2],[3]</sup>.

When gelatinization occurs, swollen starch granules occupy the empty spaces. Viscosity increases with temperature up to the fragmentation of the granules, which disintegrate and dissolve generating a decrease in viscosity<sup>[2]</sup>.

But under conditions of high concentration of starch, as often happens when trying to obtain a thermoplastic starch, the behavior is different. While the mixture has been more rigid, there is greater resistance due to the clash between the swollen granules, which generates a high viscosity.

Under these conditions, while more heat is added, the water retained disintegrates the ordered structure of the granules, and amylose begins to diffuse into a gel which

eventually supports the granules composed primarily of amylopectin<sup>[2], [4]</sup>.

### **Retrogradation**

After gelatinization, at the time it ceases to introduce heat and cooling stage begins, the viscosity increases again and there is a spontaneous increase in the order of hydrogen bridges and reorientation of molecular chains. Generates a parallel decrease in the cold water solubility and increased turbidity<sup>[1],[2]</sup>.

## **METHODOLOGY DEVELOPMENT**

The process for the elaboration of biopolymers from cassava peel starch and natural fiber was divided into two stages: the first stage consisted of starch extraction and the second consisted of the biopolymer.

### **First stage of development of biopolymer**

#### **Obtainment of starch**

It was performed using traditional methods. First the best peels were selected, washed in order to remove impurities, and then milled. The mixture obtained was filtered with warm water (three times) and then allowed to settle for three hours. After decanting, the obtained starch slurry was allowed to dry outdoors for three days.



**Figure2.** Obtainment of cassava starch.

**Second stage of development of biopolymer**

**Preparation of the Biopolymer**

To enable the development of a polymer from cassava peels starch, it is necessary to provide certain reagents to the mixture and ensure certain conditions for obtaining it.

Biopolymers require components to provide moisture characteristics, plasticity, elasticity, size and resistance<sup>[2]</sup>.

Water is recommended as the best plasticizer<sup>[2]</sup>, however it must be taken into account that the water concentration cannot be greater than 80% of the mixture, since its extraction requires high temperatures damaging the starch and giving rigid and fragile characteristics to the biopolymer.

The addition of glycerin or glycerol to the mixture is recommended because it is a plasticizer that gives elastic properties to the final product, allowing its malleability<sup>[2],[3]</sup>.

The acetic acid is recommended as a chemical modifier due to the fact that it has the property of decreasing the hydrophilic character of the starch, conferring hydrophobic characteristics to the material<sup>[5]</sup>.

The biopolymer produced in this investigation was performed using four independent variables or factors (starch, acetic acid, glycerin and water) they were combined into three different levels.

Because the final performance of the biopolymer used is directly related to the amount of starch and water present in the mixture the experimental design matrices of the biopolymer were established based on three ratios starch: water.

For each gram of starch added to the mixture 2 grams of water were added to

the first matrix, 3 grams to the second matrix and 6 grams for the third matrix.

Each one of the variables presented three concentration levels: high, medium and low which are described below.

**MATRIX1.** INDEPENDENT VARIABLES LEVELS OF MATRIX1. (WATER STARCHRATIO1:2)

VARIABLES	STARCH	ACETIC ACID	GLYCERIN
ALTO (gr)	41	72	0,5
MEDIO (gr)	31	62	0,3
BAJO (gr)	21	52	0,1

**MATRIX2.** INDEPENDENT VARIABLES LEVELS OF MATRIX2. (WATER STARCHRATIO1:3)

VARIABLES	STARCH	ACETIC ACID	GLYCERIN
ALTO (gr)	33	79	0,6
MEDIO (gr)	23	69	0,4
BAJO (gr)	13	59	0,2

**MATRIX3.** INDEPENDENT VARIABLES LEVELS OF MATRIX3. (WATER STARCHRATIO1:6)

VARIABLES	STARCH	ACETIC ACID	GLYCERIN
ALTO (gr)	23	88	0,7
MEDIO (gr)	13	78	0,5
BAJO (gr)	3	68	0,3

Each sample (R1) had a replica (R2).



Figure 4. Preparation of the pure biopolymer.

For the selection of the best biopolymers even properties were analyzed: Odor, Uniformity, Adaptation to the mold, drying, penetration, density and percentage of weight gain due to water absorption<sup>[5], [6], [7], [8]</sup>.

## **RESULTS**

The best treatment for preparing biopolymer is made of: 19.36% starch, 6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid. Had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm of penetration and 25.3% increase in weight due to water absorption. The treatment had not odor, it adapted successfully to the mold and the polymerization process was complete and uniform.

After drying, the shrinkage was less than 1 mm, and 10,01% of moisture.



**Figure 6.** Better treatment of pure biopolymer.

## **CONCLUSIONS**

The cassava peel is an input that can be obtained easily and also it has a high starch content that can be industrially exploited to obtain different trade items.

All treatments of pure biopolymers were odorless, the 36,62% were correctly adapted to mold and the 40.74% completed correctly the polymerization process.

The best treatment for preparing pure biopolymer is made of: 19.36% starch, 6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid.

It had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm of penetration and 25.3% increase in weight due to water absorption. The treatment had not odor, it adapted successfully to the mold and the polymerization process was complete and uniform. After drying, the

shrinkage was less than 1 mm, and 10,01% of moisture.

The temperature ranges which there is the polymerization process are between 48°C and 65°C. The temperature is directly proportional to the amount of water, if the sample has a lot of it, the temperature must be higher to initiate the process.

After the completion of this research and the measurement of the different properties we can conclude that the biopolymer is suitable for making decorative items and have similar properties as synthetic plastics.

## **REFERENCES**

1. Stevens, E. S. *Green plastics: An introduction to the new science of biodegradable plastics*: Princeton University Press: New Jersey, 2002.
2. Meneses Juliana, Corrales María Catalina and Valencia Marco. Synthesis and characterization of a biodegradable polymer from cassava starch. School of Engineering of Antioquia. El A Review, N. December 8, 2007. ISSN1794-1237.
3. Fritz, H. G.; Seidenstucker, T.; Bolz, U. and Juza, M. *Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials*. Stuttgart. European Commission. 1994.
4. V. Durán, Jorge A., G. Morales, Monica Andrea; Yusti L. Roland. Redalyc. Formulation to obtain a biodegradable polymer starch from cassava, variety Mbra 383. Network of Scientific Journals of Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal. William of

Ockham Scientific Journal, vol. 3,  
no. 2 July to December 2005.

5. Peñaranda Oscar Iván, Perilla PerillaJairo Ernesto y Algecira Enciso Néstor Ariel. *A review of using organic acids to chemically modify starch*. Revista Redalyc. Sistema de Información Científica. Universidad Nacional de Colombia .Investigación, Vol. 28, Núm. 3, Diciembre, Colombia, 2008.

9. NORMA ASTM *Standard Test Method for Slow penetration resistance on plastics*. ASTM F1306. United States. 2002

## **NORMAS**

6. NORMA ASTM. *Standard for determining moisture in plastics*. ASTM 6980. United States.2009.
7. NORM AASTM *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by displacement*. ASTM D-792. United States.2008.
8. NORMA ASTM *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. ASTM D570. United States .1998.

**“Development of Starch Biopolymers from Waste Organic Materials as Cassava Peel (*Manihot esculenta*) and Natural Fiber (Agave)”** María José Valarezo Ulloa<sup>1</sup>. [mjvalarezo@utpl.edu.ec](mailto:mjvalarezo@utpl.edu.ec) Lic. María Gabriela Punín Burneo<sup>2</sup>. [mgpuninx@utpl.edu.ec](mailto:mgpuninx@utpl.edu.ec)

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. NATURAL FIBER AREA. CHEMICAL ENGINEERING SCHOOL<sup>1</sup>. ART AND DESIGN SCHOOL<sup>2</sup>.**

## **ABSTRACT**

---

The development of eco-friendly products is currently at its peak because of the continuous search for practical solutions to environmental problems and the urgent need to avoid non-renewable products. Extensive research has been conducted over the last few decades with the aim of finding new materials, which will replace other materials such as plastic and metals. An innovative solution is to use renewable raw materials such as starch for the production of biopolymers and organic macromolecules. Due to this situation and because of our desire to help reduce environmental pollution, new starch-based products have been recommended. This starch is obtained from organic waste materials such as cassava peels (*Manihot esculenta*). Using water and glycerol as plasticizers and acetic acid as chemical modifier, a resistant, flexible and elastic biopolymer has developed. This material has similar characteristics to those of plastic, but the difference is that it comes from plants and can be used to make decorative items. The biopolymer obtained consists of 36% starch, 6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid. Had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm penetration and 25.3% increase in weight due to water absorption. In order to improve the resistance of this bioproduct, natural fiber (agave) was used. This was previously treated with sodium hydroxide at a concentration of 1N i.e. to eliminate lignin and to change its polarity. A resistant, flexible, and elastic bioproduct was produced as a result of this process formed of 60% of agave and 40% of biopolymer.

**Key words:** Starch, Biopolymers, Degradation, Natural Fibers, Agave, Cassava, Lignin

## **INTRODUCTION**

---

Environmental problems are evident on the planet, and the urgent need for change has become one of the pillars of research, developing new materials every day that do not only replace those conventional, but do not generate pollution.

The development of materials from renewable sources is an alternative that is being exploited at present and has brought great achievements<sup>[1]</sup>. Materials such as cellulose, starch and natural fibers have come into widespread use to replace materials such as fiberglass, plastics and metals<sup>[2]</sup>.

The use of waste materials such as cassava peels, represent a high starch source, from which one can prepare biopolymers that have similar properties as plastics and can be used as feedstock for the production of decorative articles and artwork.

To increase strength and reduce its sensitivity to moisture is added to the biopolymer matrix natural fibers, previously treated with an alkali solution and crushed to achieve a better coupling<sup>[3]</sup>.

It has been scientifically proven that the cellulose microfibrils, which are formed by crystalline cellulose regions, have better

mechanic properties than those made by glass fiber<sup>[5]</sup>. This means that an ecologically profitable alternative can be produced<sup>[4]</sup>.

The most commonly used fibers in the reinforcing of polymers are: Okra, Sisal and Pineapple. These fibers are previously treated with an alkaline solution (NaOH) to remove the content of lignin. Afterwards, only cellulose is left<sup>[3]</sup>.



**Figure 1.** Processed and extracted agave.

In order to develop environmentally friendly materials, and help the unbinding of non-renewable products, it has been developed a biopolymer made from starch of cassava peels and agave as reinforcing material.

### **Process of preparation of the biopolymer**

#### **Initiation or gelatinization**

Is defined as the loss of crystallinity of the starch granules in the presence of high quantities of heat and water<sup>[6]</sup>.

Gelatinization occurs in a narrow temperature range which varies depending on the source of starch. Cassava starch gelatinized in water at a temperature between 55 °C and 65°C, which consists of a swelling of the starch molecules because the water penetrates in its molecular structure<sup>[2]</sup>.

The unwinding and the thermal mobility of the molecules produced by swelling, generates the decrease in crystallinity, breaking the structure. The behavior of the mixture will depend on the concentration

and level of water absorption by the starch<sup>[2], [7]</sup>.

When gelatinization occurs, swollen starch granules occupy the empty spaces. Viscosity increases with temperature up to the fragmentation of the granules, which disintegrate and dissolve generating a decrease in viscosity<sup>[2]</sup>.

But under conditions of high concentration of starch, as often happens when trying to obtain a thermoplastic starch, the behavior is different. While the mixture has been more rigid, there is greater resistance due to the clash between the swollen granules, which generates a high viscosity.

Under these conditions, while more heat is added, the water retained disintegrates the ordered structure of the granules, and amylose begins to diffuse into a gel which eventually supports the granules composed primarily of amylopectin<sup>[2], [7]</sup>.

#### **Retrogradation**

After gelatinization, at the time it ceases to introduce heat and cooling stage begins, the viscosity increases again and there is a spontaneous increase in the order of hydrogen bridges and reorientation of molecular chains. Generates a parallel decrease in the cold water solubility and increased turbidity<sup>[6]</sup>.

### **METHODOLOGY DEVELOPMENT**

---

The process for the elaboration of biopolymers from cassava peel starch and natural fiber was divided into two stages: the first stage consisted of starch extraction and preparation of the pure biopolymer, and the second stage consisted of the alkali treatment of agave and natural fiber coupling the biopolymer matrix.

## First stage of development of biopolymer with fiber.

### Obtainment of starch

It was performed using traditional methods. First the best peels were selected, washed in order to remove impurities, and then milled. The mixture obtained was filtered with warm water (three times) and then allowed to settle for three hours. After decanting, the obtained starch slurry was allowed to dry outdoors for three days.



**Figure 2.** Obtainment of cassava starch.

### Preparation of the Biopolymer

To enable the development of a polymer from cassava peels starch, it is necessary to provide certain reagents to the mixture and ensure certain conditions for obtaining it.

Biopolymers require components to provide moisture characteristics, plasticity, elasticity, size and resistance<sup>[2]</sup>.

Water is recommended as the best plasticizer<sup>[2]</sup>, however it must be taken into account that the water concentration cannot be greater than 80% of the mixture, since its extraction requires high temperatures damaging the starch and giving rigid and fragile characteristics to the biopolymer.

The addition of glycerin or glycerol to the mixture is recommended because it is a plasticizer that gives elastic properties to the final product, allowing its malleability<sup>[2]</sup>.

The acetic acid is recommended as a chemical modifier due to the fact that it has the property of decreasing the hydrophilic character of the starch, conferring hydrophobic characteristics to the material<sup>[9]</sup>.

The biopolymer produced in this investigation was performed using four independent variables or factors (starch, acetic acid, glycerin and water) they were combined into three different levels.

Because the final performance of the biopolymer used is directly related to the amount of starch and water present in the mixture the experimental design matrices of the biopolymer were established based on three ratios starch: water.

For each gram of starch added to the mixture 2 grams of water were added to the first matrix, 3 grams to the second matrix and 6 grams for the third matrix.

Each one of the variables presented three concentration levels: high, medium and low which are described below.

**MATRIX 1. INDEPENDENT VARIABLES LEVELS OF MATRIX1. (WATER STARCHRATIO1:2)**

VARIABLES	STARCI	ACETIC ACID	GLYCERIN	
ALTO (gr)	41	72	0,5	7,7
MEDIO (gr)	31	62	0,3	6,7
BAJO (gr)	21	52	0,1	5,7

**MATRIX 2. INDEPENDENT VARIABLES LEVELS OF MATRIX2. (WATER STARCHRATIO1:3)**

VARIABLES	STARCI	ACETIC ACID	GLYCERIN	
ALTO (gr)	33	79	0,6	8,6
MEDIO (gr)	23	69	0,4	7,6
BAJO (gr)	13	59	0,2	6,6

**MATRIX 3. INDEPENDENT VARIABLES LEVELS OF MATRIX3. (WATER STARCHRATIO1:6)**

VARIABLES	STARCI	ACETIC ACID	GLYCERIN	
ALTO (gr)	23	88	0,7	9,5
MEDIO (gr)	13	78	0,5	8,5
BAJO (gr)	3	68	0,3	7,5

Each sample (R1) had a replica (R2).



**Figure 3.**Preparation of the pure biopolymer.

For the selection of the best biopolymers even properties were analyzed: Odor, Uniformity, Adaptation to the mold, drying, penetration, density and percentage of weight gain due to water absorption<sup>[10], [11], [12], [13]</sup>

**Second stage of development of biopolymer with fiber.**

**Treatment of fibers with alkali solution.**

100gr of hemp were treated with a solution of 1N sodium hydroxide in 1000 ml of water under heating for one hour to remove the lignin present in the fiber and improve their ability to adhere to the biopolymer. This concentration was established according to previous research on extraction of lignin in natural fibers<sup>[3], [8]</sup>

Samples were ground with a 1mm sieve hammer grinder in order to achieve a better appearance, texture and contact between the fiber and the polymeric matrix.



**Figure 4.** Unmilled (a), milled 1 mm long (b) agave and dyed milled fiber (c).

**Preparation of Biopolymer with Fiber**

After selecting the best treatment for obtaining biopolymers of cassava peel starch, an experimental model based on the percentage variation between the biopolymer and natural fiber was used. Because the two components differing in weight, the ratio was on a volume percentage occupied by each treatment.

PERCENTAGE	
FIBER%	STARCH%
90	10
80	20
70	30
40	40
50	50
40	60
30	70
20	80
10	90

**TABLE1.** Experimental design based on volume percentages.

The analyzed properties carried out to the biopolymer with fiber were the same as those observed and performed to the pure biopolymer, allowing a comparison between the quality of the two products.



**Figure 5.** Preparation of the biopolymer plus natural fiber.

**RESULTS**

The best treatment for preparing biopolymer is made of: 19.36% starch,

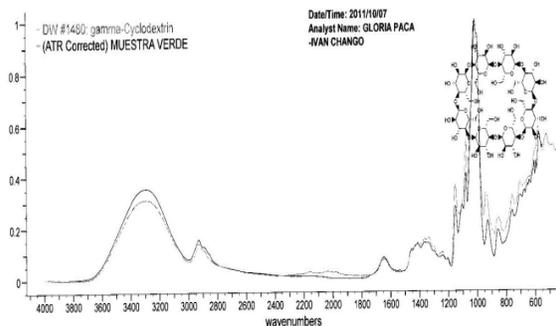
6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid. Had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm of penetration and 25.3% increase in weight due to water absorption. The treatment had not odor, it adapted successfully to the mold and the polymerization process was complete and uniform.

After drying, the shrinkage was less than 1 mm, and 10,01% of moisture.



**Figure 6.** Best treatment of pure biopolymer.

The biopolymer obtained is a Cyclooctapentylolose, whose molecular formula is C<sub>48</sub>H<sub>80</sub>O<sub>40</sub>.



**Figure 7.** Molecular structure of the biopolymer, by infrared analysis.

The optimum mixing between the biopolymer and the natural fiber is made with a concentration of 60% and 40% biopolymer crushed sisal. The treatment produced a density of 6.51 g/cm<sup>3</sup>, a penetration of 0.0 mm and a water absorption percentage of 20.82%



**Figure 8.** Best treatment of biopolymer with cabuya o agave.

## CONCLUSIONS

The cassava peel is an input that can be obtained easily and also it has a high starch content that can be industrially exploited to obtain different trade items.

The natural fiber (agave) with an alkali treatment of 1N in 1000ml of water, showed excellent results confirming what is mentioned on previous research [3], [7].

All treatments of pure biopolymers were odorless, the 36,62% were correctly adapted to mold and the 40.74% completed correctly the polymerization process.

The best treatment for preparing pure biopolymer is made of: 19.36% starch, 6.31% glycerin, 74.08% water and 0.25% acetic acid.

It had a density of 6.44 g/cm<sup>3</sup>, 0.0 mm of penetration and 25.3% increase in weight due to water absorption. The treatment had not odor, it adapted successfully to the mold and the polymerization process was complete and uniform. After drying, the shrinkage was less than 1 mm, and 10,01% of moisture.

The concentration of the mixture suitable for the bioproduct is 60% of fiber and 40% of biopolymer is It's density is slightly greater than the pure biopolymer (6.51 g/cm<sup>3</sup>), this is because the microfibrils come to occupy the empty spaces of the molecules, increases the weight of it<sup>[3]</sup>. Remained unchanged penetration of 0.0

mm and the percentage of increase in weight due to water absorption decreased to 20.82%. Giving it more resistance to moisture.

The temperature ranges which there is the polymerization process are between 48°C and 65°C. The temperature is directly proportional to the amount of water, if the sample has a lot of it, the temperature must be higher to initiate the process.

The ideal temperature for added the fiber to the biopolymer matrix is between 50°C-54°C, because the process of gelatinization has been initiated, but not ends yet so the fiber tends to mate perfectly with the matrix.

During the drying process the presence of the fiber prevents the samples to contract and help to maintain its shape.

Greater than 80% of cabuya in the mix, the process is not carried out and the fiber begins to burn.

After the completion of this research and the measurement of the different properties we can conclude that the pure biopolymer is suitable for making decorative items, and the addition of natural fiber improves its quality and resistance.

## **REFERENCES**

1. Stevens, E. S. *Green plastics: An introduction to the new science of biodegradable plastics*: Princeton University Press: New Jersey, 2002.
2. Meneses Juliana, Corrales María Catalina and Valencia Marco. Synthesis and characterization of a biodegradable polymer from cassava starch. School of Engineering of Antioquia. El A Review, N. December 8, 2007. ISSN1794-1237.
3. Manrique Nadia Flores, Gonzalez Olga Effects of chemical treatment on physical and mechanical properties of natural fibers as a substitute for glass fiber composites. Polytechnic School of the Coast (ESPOL), 2011.
4. S.V. Joshia, L.T. Drzalb, A.K. Mohanty, S. Arorac. *Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites*. Department of Agricultural Economics, Michigan State University. 2003.
5. Mohanty AK, Drazl LT, Misra M. *Engineered natural fiber reinforced polypropylene composites: influence of surface modifications and novel powder impregnation processing*. J Adhes Sci Technol 2002;16(8):999–1015.
6. Fritz, H. G.; Seidenstucker, T.; Bolz, U. and Juza, M. *Study on production oh thermoplastics and fibers based mainly on biological materials*. Stuttgart. European Commission. 1994.
7. V. Durán, Jorge A., G. Morales, Monica Andrea; Yusti L. Roland. Redalyc. Formulation to obtain a biodegradable polymer starch from cassava, variety Mbra 383. Network of Scientific Journals of Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal. William of Ockham Scientific Journal, vol. 3, no. 2 July to December 2005.
8. Punín María Gabriela. Process and Extraction of Natural Fibers in the Artistic Application.2012.
9. Peñaranda Oscar Iván, Perilla PerillaJairo Ernesto y Algecira

Enciso Néstor Ariel. A review of using organic acids to chemically modify starch. Revista Redalyc. Sistema de Información Científica. Universidad Nacional de Colombia .Investigación, Vol. 28, Núm. 3, Diciembre, Colombia, 2008.

## **NORMAS**

- 10.**NORMA ASTM. *Standard for determining moisture in plastics.* ASTM 6980. United States.2009.
- 11.**NORM AASTM *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of plastics by displacement.* ASTM D-792. United States.2008.
- 12.**NORMA ASTM *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.* ASTM D570. United States .1998.
- 13.**NORMA ASTM *Standard Test Method for Slow penetration resistance on plastics.* ASTM F1306. United States. 2008.

