



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

**CARRERA DE MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO  
EN MEDIO AMBIENTE**

**TEMA:**

**ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR  
DE LOS RESIDUOS DEL ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)**

**AUTORES:**

**MENOSCAL CHICHANDA RICHARD ESTEVEN  
RODRÍGUEZ MENDOZA ELVIN DANIEL**

**TUTORA:**

**ING. TERESA VIVAS SALTOS, Mg. C.A.**

**CALCETA, JUNIO 2017**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Richard Esteven Menoscal Chichanda y Elvin Daniel Rodríguez Mendoza, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**RICHARD E. MENOSCAL CHICHANDA**

---

**ELVIN D. RODRÍGUEZ MENDOZA**

## CERTIFICACIÓN DE TUTORA

Teresa Vivas Saltos certifica haber tutelado la tesis **ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL ALMIDON DE YUCA (*Manihot esculenta*)**, que ha sido desarrollada por Richard Esteven Menoscal Chichanda y Elvin Daniel Rodríguez Mendoza, previa la obtención del título a Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. TERESA VIVAS SALTOS, MG. C.A.**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** la tesis **ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL ALMIDON DE YUCA (*Manihot esculenta*)**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Richard Esteven Menoscal Chichanda y Elvin Daniel Rodríguez Mendoza, previa la obtención del título a Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

ING. CARLOS DELGADO VILLAFUERTE, MG. C.A.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

ING. JORGE CEVALLOS BRAVO, MSc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

ING. CARLOS VILLAFUERTE VÉLEZ, MG. C.A.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

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

A Dios por darme fuerza y fe para seguir adelante en mi vida estudiantil.

A mis padres por el apoyo que me brindaron durante todo este proyecto. Y en los momentos difíciles de mi vida, gracias a ellos soy lo que ahora soy y con el esfuerzo de ellos y mi esfuerzo ahora puedo ser un gran profesional y seré un gran orgullo para ellos y para todos los que confiaron en mí.

A mis hermanos que desde muy temprano me motivaron a seguir los estudios universitarios.

**RICHARD E. MENOSCAL CHICHANDA**

## **AGRADECIMIENTO**

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

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje.

A mis padres, Eloy y Ramona, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos, Eloy, Edison y Erick, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar y por todo el apoyo que me han brindado.

**ELVIN D. RODRÍGUEZ MENDOZA**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme apoyado a lo largo de todo este camino que ya estoy culminando y este título va dedicado a ellos y a todos los que me han apoyado durante todo el periodo universitario, a los facilitadores, a mis hermanos y a todos los que estuvieron conmigo en esos momentos ya sean de alegría, tristeza y que nunca me dejaron solo en mi arduo camino a la culminación de una etapa más y este título obtenido con gran esfuerzo es para ellos, para mis padres.

**RICHARD E. MENOSCAL CHICHANDA**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme apoyado a lo largo de todo este camino que ya estoy culminando y este título va dedicado a ellos y a todos los que me han apoyado durante todo el periodo universitario, a los facilitadores, a mis hermanos y a todos los que estuvieron conmigo en esos momentos ya sean de alegría, tristeza y que nunca me dejaron solo en mi arduo camino a la culminación de una etapa más y este título obtenido con gran esfuerzo es para ellos, para mis padres.

**ELVIN D. RODRÍGUEZ MENDOZA**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS .....	xi
CUADROS .....	xi
GRÁFICOS.....	xi
FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
PALABRAS CLAVES. ....	xii
ABSTRACT .....	xiii
KEYWORD.....	xiii
1 CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Hipótesis, premisa o idea a defender.....	3
2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Aspectos conceptuales .....	4
2.1.1. Contaminación ambiental .....	4
2.1.2. Residuos solidos.....	4
2.1.3. Laminas biodegradables.....	5
2.2. Aspectos referenciales.....	6
2.2.1. Yuca.....	6
2.2.2. Problemas ambientales de los plásticos .....	6

2.2.3. Componentes utilizados para la elaboración de láminas biodegradables.....	7
2.2.4. Tipos de contaminantes.....	9
2.2.5. Plástico como agentes contaminantes.....	10
2.2.6. Composición bioquímica de la yuca .....	11
2.3. Polietileno .....	11
2.3.1. Polímeros derivados del petróleo .....	12
2.3.2. Fabricación de láminas biodegradables.....	12
2.3.3. Beneficios de las láminas biodegradables .....	13
2.4. Coeficiente de variación.....	13
3 CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	15
3.1. Ubicación .....	15
3.2. Duración.....	15
3.3. Método .....	15
3.4. Factores en estudio .....	15
3.5. Tratamientos .....	16
3.6. Diseño experimental .....	16
3.7. Unidad experimental .....	16
3.8. Variables .....	17
3.8.1. Variable independiente .....	17
3.8.2. Variable dependiente .....	17
3.9. Procedimientos .....	17
3.9.1. FASE 1. Identificación de los componentes.....	17
3.9.2. FASE 2. Proceso para la elaboración de láminas biodegradables. ....	18
3.9.3. FASE 3. Determinar el tiempo de biodegradabilidad de las láminas. ....	18
4 CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
4.1. Identificación de los componentes utilizados .....	20
4.2. Realización del proceso para la elaboración de láminas biodegradables. .	21
4.2.1. Descripción del proceso de elaboración de láminas biodegradables ....	22
4.3. Determinación el tiempo de biodegradabilidad de las láminas .....	23
5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	28
5.1. Conclusiones .....	28
5.2. Recomendaciones .....	28

BIBLIOGRAFÍA .....	30
ANEXOS .....	35
ANEXO 1 REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	36

## **CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS**

### **CUADROS**

2.1. Tabla nutricional de la yuca .....	11
2.2. Rango de CV (Pimentel, 1985).....	14
3.1. Tratamientos a realizarse .....	16
3.2. Descripción de las unidades experimentales .....	16
4.1. Tiempo de degradación de los tratamientos.....	23
4.2. Prueba de Shapiro-Wilks modificado del tiempo de degradación de las muestras.....	23
4.3. ANOVA de los tratamientos.....	24
4.4. Prueba de Tukey de los porcentajes de residuo de almidón utilizados .....	24
4.5. Prueba de Tukey de los tratamientos .....	25
4.6. Precio por la elaboración de una lámina de 10 cmx15 cm .....	26

### **GRÁFICOS**

4.1. Relación proporción de almidón-tiempo de degradación .....	26
-----------------------------------------------------------------	----

### **FIGURAS**

4.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bioplásticos.....	21
------------------------------------------------------------------------	----

## RESUMEN

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

### PALABRAS CLAVES.

Almidón de yuca, biodegradabilidad, componentes, plástico común,

## ABSTRACT

This research aimed at developing biodegradable sheets from the residues of cassava (*Manihot esculenta*) starch as an alternative to reduce contamination caused by non-biodegradable residues, as an alternative to using common plastic. The selection of the raw material to be used and its proportions were established; due to its availability, cassava starch was used in the highest proportion (80%, 50%, 30%); in addition, water, glycerin and vinegar were used as plasticizers, because of the additional properties that they provide to the plastic. The materials formed 3 mixtures in w/w ratio; 80% starch + 13% water + 0.3% acetic acid + 6.7 glycerin; 50% starch + 42% water + 0.4% acetic acid + 7.6 glycerin; and 30% starch + 5% acetic acid + 8.5 glycerin, each mixture was blended, heated (between 60°C and 67°C) and poured into molds, 6 experimental units of 100g for each mixture were prepared, forming 18 sheets of 15x10 cm. 9 sheets were buried and 9 were left outdoor for 90 days, monitoring was done twice a week until reaching at least 90% of degradation. Treatment 1 which used the highest proportion of raw material (80%) showed the highest degradation time  $90.67 \pm 0.58$  and  $59.67 \pm 1.53$  days outdoor and buried respectively, with a cost of \$ 2.82 per sheet.

## KEYWORD

Cassava starch, Biodegradability, Components, common plastic

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La problemática generada por el uso intensivo del plástico radica en su baja biodegradabilidad y, por consiguiente, en su elevada generación de residuos. Los plásticos son muy resistentes a las agresiones del medio, son livianos en comparación con otros materiales utilizados para los mismos fines y son de bajo costo debido a su alta producción en escala industrial (Meneses *et al.*, 2007).

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

Según el Análisis Sectorial de Residuos Sólidos de Ecuador, realizado por la OPS (2002) la falta de infraestructura y la carencia de servicios eficientes para el manejo de los residuos son el motivo fundamental para que se registren coberturas sumamente deficientes en cuanto a su recolección y disposición final. Esta situación, de por sí grave, reviste una mayor importancia, si se considera que sin duda alguna está impactando espacios ambientalmente sensibles, de alta diversidad ecológica, así como reservas ecológicas y parques nacionales (EMASEO, 2010).

Ante la problemática mencionada, unas de las alternativas para disminuir el uso de residuos no biodegradable es el uso de plástico biodegradable. En tal virtud, el reciclaje de residuos sólidos no biodegradables es la opción más práctica pues se evita que el material ya existente se convierta en un problema una vez terminado su uso (Solano, 2011).

En Bahía, los funcionarios municipales estiman que al menos unas 120 mil fundas son procesadas en los basureros de las ciudades, de las cuales 30 mil aproximadamente son generadas por empresas comerciales. Además, informaron que se manipulan alrededor de 23 toneladas diarias de residuos sólidos, de donde el 11% es plástico (Mers, 2010).

¿Mediante los residuos del almidón de yuca se podrá elaborar láminas biodegradables?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Según lo dispuesto en la Constitución del Ecuador 2008 que incorpora el principio del buen vivir o Sumak Kawsay (Título VI: Régimen de Desarrollo) en el artículo 278 literal 2 establece “Producir, intercambiar y consumir bienes y servicios con Responsabilidad social y ambiental”.

En la Sección octava Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, de la constitución ecuatoriana en el artículo 385 literal 3 establece “Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.”

Las láminas biodegradables se elaboran de ingredientes naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente, se requiere menos energía para reciclar proporcionando una producción más rápida y eficiente. En la producción, se requiere la mitad de la energía para producir productos biodegradables que la necesaria para los productos no biodegradables.

La ventaja de estas láminas biodegradable es permitir que todos sus elementos que la constituyen puedan volver a la naturaleza adaptándose en los ciclos naturales de materia. A diferencia que los productos no biodegradables que estos constan con un periodo de descomposición mucho más extenso y por tanto representa una problemática al ambiente.

Mediante esta investigación se pretende elaborar láminas biodegradables a base de los residuos de almidón de yuca con el fin de minimizar el uso del plástico común, la elaboración de láminas biodegradable sería una alternativa para reducir la contaminación por residuos no biodegradable.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*).

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los componentes que puedan ser utilizados para la elaboración de láminas biodegradables.
- Realizar el proceso para la elaboración de láminas biodegradables.
- Determinar el tiempo de biodegradabilidad de las láminas.

### **1.4. HIPÓTESIS, PREMISA O IDEA A DEFENDER**

Mediante los residuos del almidón de yuca se podrá elaborar láminas biodegradables.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ASPECTOS CONCEPTUALES**

#### **2.1.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra o el agua, que puede afectar nocivamente la vida humana o la de especies beneficiosas, los procesos industriales, las condiciones de vida del ser humano y puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables. Los elementos de contaminación son los residuos de las actividades realizadas por el ser humano organizado en sociedad (Atilio, 2009).

#### **2.1.2. RESIDUOS SOLIDOS**

Los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles o superfluos. El término “Residuo Sólido” es general, y comprende tanto la masa heterogénea de los desechos de la comunidad urbana como la acumulación más homogénea de los residuos agrícolas, industriales y minerales (Tchobanogloous & Thiesen, 1998)

##### **2.1.2.1. RESIDUOS BIODEGRADABLES**

Son aquellos residuos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En esta clasificación se encuentran las frutas, vegetales, resto de alimentos madera y otros residuos que puedan ser transformados en materia orgánica (Alessandrello, 2013).

##### **2.1.2.2. RESIDUOS NO BIODEGRADABLES**

Los desperdicios no biodegradables son aquellos que no se descomponen fácilmente. Los ejemplos de desperdicios no biodegradables incluyen los materiales electrónicos, plásticos, vidrio, metal y baterías. La EPA comenta que los estadounidenses generaron alrededor de 11,8 millones de toneladas de

desperdicios de vidrio, solamente en 2009. Uno de los métodos para reducir los desperdicios no biodegradables es el reciclado. Por ejemplo, la EPA aconseja que las personas usen baterías recargables para reducir la cantidad de desperdicio generado por baterías (Alessandrello, 2013).

### **2.1.3. LAMINAS BIODEGRADABLES**

Estas láminas biodegradables pueden ser conservadas en condiciones normales de almacenamiento y de utilización durante unos 18 meses, sin ningún tipo de alteración de la estructura o del material. Lo más interesante de las láminas biodegradables al 100% es que sabemos que no van a dañar al medio ambiente y, a su vez, se garantiza la calidad, la resistencia a la tracción y a la perforación, contando también con un sellado fiable, siendo tan fuertes como las bolsas de polietileno convencional (Esther, 2015). Las láminas biodegradables, a diferencia de las convencionales cuentan con un aditivo especial de última generación denominado TDPA (Totally Degradable Plastic Additives), el cual les permite, una vez desechadas y después de aproximadamente un año. Así mismo las bolsas biodegradables mantienen las mismas características que una tradicional y se pueden reutilizar en casa para propósitos domésticos (RPP, 2009).

## **2.2. ASPECTOS REFERENCIALES**

### **2.2.1. YUCA**

La yuca (*Manihot esculenta* Grantz) es una planta originaria de América del Sur, usada principalmente para el consumo tanto humano como animal, y en un pequeño porcentaje para la obtención de almidón y otros usos industriales. El uso de esta planta se caracteriza por el consumo de su raíz, en la que se acumulan gran cantidad de componentes, entre ellos el almidón (forma natural como la planta almacena energía por asimilación del carbono atmosférico mediante la clorofila presente en las hojas). (Meneses *et al.*, 2007)

#### **2.2.1.1. ALMIDÓN DE YUCA**

El almidón es un polímero natural cuyos gránulos consisten en estructuras macromoleculares ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo con el tipo de fuente de la que provenga. El almidón puede encontrarse además en otras raíces, frutos, semillas, tubérculos e incluso en bacterias que lo generan como mecanismo de defensa ante situaciones de estrés presentes en su medio.

El almidón de yuca puede clasificarse como agrio y nativo (dulce). El almidón agrio sufre un proceso de fermentación que le otorga propiedades deseables para los alimentos; el almidón nativo o dulce no es sometido a un proceso de fermentación, y es el que se usa generalmente en la industria. (Meneses *et al.*, 2007). En el caso del almidón de yuca, su tamaño puede variar de 5  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$ , su forma es entre redonda y achatada y su contenido de amilosa es alrededor del 17% (Meneses *et al.*, 2007).

### **2.2.2. PROBLEMAS AMBIENTALES DE LOS PLÁSTICOS**

A pesar de su indiscutible utilidad en la vida cotidiana, una vez que los plásticos se han utilizado se convierten en residuos que forman parte de los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en grandes cantidades. Los RSU originan

problemas de contaminación del agua, aire y suelo, que impactan directamente al ambiente y a la salud. (Perdomo, 2002)

A nivel mundial, se calcula que 25 millones de toneladas de plásticos por año se acumulan en el ambiente y pueden permanecer inalterables por un periodo de entre 100 y 500 años. Esto se debe a que su degradación es muy lenta y consiste principalmente en su fragmentación en partículas más pequeñas, mismas que se distribuyen en los mares (en estos se han encontrado entre 3 a 30 kg/km<sup>2</sup>), ríos, sedimentos y suelos, entre otros. Es común observar paisajes en caminos, áreas naturales protegidas, carreteras, lagos, entre otros, con plásticos tirados como parte de lo mismo. (Perdomo, 2002)

Existen diferentes causas que dificultan el reciclaje: desde su separación, hasta la obtención de nuevos productos. Éstas pueden ser el bajo valor económico del plástico; por ejemplo, los envases de bebidas que no son retornables; su baja densidad que eleva el costo de transporte, y la diversidad de materiales plásticos de diferente composición que exige una separación por familias antes de ser reciclado, complicando la recolección selectiva. (Ortiz, 2013)

### **2.2.3. COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES**

#### **2.2.3.1. AGUA DESTILADA**

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

#### **2.2.3.2. GLICEROL.**

Es un alcohol con tres grupos hidroxilo. Estos grupos hidroxilos le permiten ser soluble en agua. Tiene un aspecto de líquido incoloro y viscoso. No es tóxico, lo que le permite ser un buen lubricante para máquinas alimenticias (Charro, 2015)

### **2.2.3.3. ÁCIDO ACÉTICO.**

También llamado ácido etanoico, es un ácido orgánico de dos átomos de carbono. Este es un ácido que se encuentra en el vinagre. Es Líquido, incoloro, Soluble en agua, alcohol, éter, glicerina, acetona, benceno, y tetracloruro de carbono. (Meneses *et al.*, 2007).

Luego se analizarán las características físico-químicas de la materia prima para una adecuada elaboración, obteniendo las siguientes a continuación:

### **2.2.3.4. GELATINIZACIÓN**

Se define como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua, con muy poca o ninguna ocurrencia de despolimerización. 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 temperaturas entre los 60 °C y 67 °C, lo que consiste en un hinchamiento de las moléculas de almidón debido a que el agua penetra en su estructura molecular. (Meneses *et al.*, 2007)

### **2.2.3.5. 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 se presenta el fenómeno denominado retrogradación. La retrogradación se define como un incremento espontáneo del estado del orden, es decir, una reorganización 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. (Meneses *et al.*, 2007)

La temperatura a la cual ocurre este fenómeno se conoce como temperatura de transición vítrea, que tiene influencia sobre varias propiedades del polímero, entre las cuales se encuentran la rigidez en las cadenas, entrecruzamiento de cadenas, presencia de cristales, incremento de las secciones amorfas, entre otras. (Meneses *et al.*, 2007)

#### **2.2.3.6. DESESTRUCTURACIÓN**

La desestructuración del almidón nativo consiste en la transformación de los gránulos de almidón cristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo, acompañada por un rompimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón, de un lado, y la despolimerización parcial de las moléculas, del otro. El proceso de desestructuración puede generarse por la aplicación de energía al almidón. Los factores químicos y físicos involucrados son temperatura, esfuerzo cortante, como el que genera una máquina tradicional para trabajar plásticos como las extrusoras e inyectoras, tasa de esfuerzo, tiempo de residencia, contenido de agua y cantidad de energía aplicada. (Meneses *et al.*, 2007)

#### **2.2.3.7. BIODEGRADABILIDAD**

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

#### **2.2.4. TIPOS DE CONTAMINANTES**

##### **2.2.4.1. CONTAMINANTES NO DEGRADABLES**

Son aquellos que no se descomponen por procesos naturales. La mejor forma de tratar los contaminantes no degradables es evitar que se desechen al medio ambiente en vez de reciclarlos y volverlos a utilizar. Una vez que estos productos se encuentran contaminando el agua, el aire o el suelo, es necesario tratarlos o eliminarlos, algo costoso y, a veces, imposible (Conde, 2013)

##### **2.2.4.2. CONTAMINANTES DE DEGRADACIÓN LENTA O PERSISTENTE**

Son aquellas sustancias que se introducen en el medio ambiente y que necesitan décadas o más tiempo para degradarse. Ejemplos de contaminantes

de degradación lenta o persistente son el DDT y la mayor parte de los plásticos (Conde, 2013)

#### **2.2.4.3. CONTAMINANTES DEGRADABLES O NO PERSISTENTES**

Los contaminantes degradables o no persistentes se descomponen completamente o se reducen a niveles aceptables mediante procesos naturales físicos, químicos o biológicos (Conde, 2013)

#### **2.2.4.4. CONTAMINANTES BIODEGRADABLES**

Los contaminantes químicos complejos que se descomponen en compuestos químicos más sencillos por la acción de organismos vivos se denominan contaminantes biodegradables. Ejemplo de este tipo de contaminación son las aguas residuales humanas en un río, las que se degradan muy rápidamente por las bacterias, a no ser que los contaminantes se incorporen con mayor rapidez antes del proceso de descomposición (Conde, 2013).

#### **2.2.5. PLÁSTICO COMO AGENTES CONTAMINANTES**

De acuerdo con la Sociedad Océano Azul para la Conservación del Mar, 46.000 pedazos de basura plástica flotan en cada milla cuadrada de superficie del mar, y cerca de 100.000 mamíferos marinos y un millón de aves mueren anualmente al ingerirlos o quedar atrapados en su trama (SOACM, 2008).

Lo más grave es que los plásticos son fabricados fundamentalmente a partir de petróleo y gas, tienen una vida estimada de 1.000 años, antes de romperse en pequeñas partículas tóxicas. Así, la invasión de esta basura presenta una alarmante senda de acumulación hacia el futuro: de acuerdo con la Agencia Ambiental de los Estados Unidos, en la actualidad se producen en el mundo entre 500.000 millones y un billón de bolsas de plástico por año (Rodríguez, 2008).

### 2.2.6. COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DE LA YUCA

Su composición química es básicamente de amilasa y amilopectina, dos carbohidratos de estructura diferente, que son los que le dan las propiedades funcionales al almidón. Ambos se encuentran en proporciones diferentes dependiendo de dónde se obtenga el almidón y de otras variables. (Carvajal & Insuasti, 2010)

La composición química de las raíces de yuca varía mucho, de forma general están constituidas del 64 al 72% de almidón y 4% de azúcares, estos últimos comprenden un 71% de sacarosa, 13% de glucosa, 9% de fructuosa y 3% de maltosa; casi no contiene proteínas (1-2%), lípidos (0,5%) ni vitaminas. Del 40 al 60% de nitrógeno que existe en las raíces de yuca, el 1% está presente como proteína verdadera y el 25 al 30% como compuestos nitrogenados aun no identificados (Ortiz, 2013)

La yuca es muy rica en hidratos de carbono complejos, pobre en proteínas, grasas, y muy buena fuente de vitaminas B y C, además de magnesio, potasio y calcio. A continuación, en el cuadro 2.1, se describe la tabla nutricional de la yuca. (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2014; Carvajal & Insuasti, 2010)

**Cuadro 2.1.** Tabla nutricional de la yuca

COMPONENTES	CANTIDAD
Calorías	120 cal
Proteínas	3,1 g
Grasas	0,4 g
Hidratos de carbono	26,9 g
Magnesio	66 g
Potasio	764 mg
Vitamina B6	0,3 mg
Vitamina C	48,2 mg
Almidón	19%

Fuente: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2014

### 2.3. POLIETILENO

Polímero preparado a partir de un derivado hidrocarbúrico, el etileno. Este monómero es un alqueno, el más pequeño de todos, es un gas incoloro de olor

ligeramente dulce, es muy inflamable y arde con una llama brillante. Es muy reactivo y forma fácilmente numerosos productos, entre ellos el polietileno. (Perdomo, 2002)

### **2.3.1. POLÍMEROS DERIVADOS DEL PETRÓLEO**

A pesar de que la ciencia y tecnología de los polímeros había conseguido importantes progresos al principio de la década de 1950, aún quedaban grandes obstáculos por superar. Debido a la abundancia y al bajo coste de los componentes derivados del petróleo o "monómeros", los polímeros de hidrocarburos que sólo contienen átomos de carbono (C) e hidrógeno (H) representaban una clase de sustancias que podían resultar de gran utilidad. Los objetivos especialmente atractivos eran los polímeros compuestos por los monómeros más pequeños y abundantes, etileno y propileno (que contienen dos y tres átomos de carbono respectivamente). La capacidad general de estos tipos de moléculas, que contienen parejas de átomos de carbono conectados mediante "enlaces dobles", para unirse y formar largas cadenas. Sin embargo, el caso del etileno y el propileno constituía un importante reto. La "polimerización" del etileno se había llevado a cabo, pero únicamente a niveles de temperatura y presión excesivamente elevados, obteniendo polímeros cuyas propiedades dejaban mucho que desear. La polimerización del propileno seguía siendo un reto pendiente. (National Academy of Sciences, 2003)

### **2.3.2. FABRICACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES**

Las láminas biodegradables, realizadas con un material compuesto a base de materias primas naturales renovables (azúcar, almidón, cereales, aceite, maíz, entre otros.), a través de un proceso que desestructura el almidón, obteniendo un material que iguala el comportamiento de los plásticos convencionales, por lo que no contaminan en su producción, son 100 % orgánicas, y se biodegradan en un ambiente de compostaje adecuado, minimizando el impacto ambiental. Se pueden producir en diferentes formatos (Biobolsas, s.f.)

### 2.3.3. BENEFICIOS DE LAS LÁMINAS BIODEGRADABLES

Entre los beneficios que poseen las láminas biodegradables se encuentran:

- Reduce la contaminación de ríos, playas y calles.
- Alarga la vida útil de los rellenos sanitarios.
- Crea conciencia ambiental en la comunidad.
- Aporta un importante paso para reducir la contaminación ambiental
- Se descomponen al final de su vida útil de manera natural.
- No genera residuos tóxicos.
- Fabricadas de materia prima natural, 100% renovable.
- Su descomposición apenas dura 180 días (Alfonzo *et al.*, 2011)

### 2.4. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Para algunos investigadores el coeficiente de variación de Pearson es considerado fundamental como indicador de la calidad del experimento (Ruíz, 2010). Muchos científicos usan el coeficiente de variación (CV) para aceptar o rechazar la validez de los experimentos (Bowman, 2001). El CV es la desviación estándar expresada como porcentaje de la media aritmética (Patel *et al.*, 2001). Esto lo hace un coeficiente adimensional al estar conformado por una razón entre dos estadísticos que reflejan diferentes características de la población (Vásquez, 2011).

Tradicionalmente el coeficiente de variación ha sido utilizado para decidir si un experimento es confiable o no. Esto último es criticado por varios autores debido a la relación que tiene este estadístico con la media ambiental (Bowman, 2001), el CV deja de ser útil cuando la media se aproxima a cero (Silveira *et al.*, 1986). No obstante, Patel (2001), es más específico al indicar que los CV varían considerablemente de acuerdo al tipo de experimento, indicando que los rangos aceptables deben ser entre 6 a 8% para evaluación de cultivares, 10 a 12% para fertilización y 13 a 15% para ensayos de evaluación de plaguicidas.

Por otro lado, Pimentel (1985) señala que normalmente en los ensayos agrícolas de campo los CV se consideran:

**Cuadro 2.2.** Rango de CV (Pimentel, 1985).

COEFICIENTE DE VARIACIÓN	VALORES
Bajos	Inferiores a 10%;
Medios	De 10 a 20%
Altos	De 20 a 30%
Muy altos (datos deben ser descartados por baja precisión)	Superiores a 30%

## **CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN**

La investigación se realizó en el laboratorio de química del área agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, ubicada en la ciudad de Calceta, cantón Bolívar de la provincia de Manabí con 590543 de longitud y 9908645 de latitud

### **3.2. DURACIÓN**

La investigación tuvo una duración de nueve meses, a partir de la aprobación del proyecto de tesis.

### **3.3. MÉTODO**

Se emplearon los métodos cuantitativo-deductivos experimentales pues la investigación abarcó la realización de tratamientos con niveles y factores distintos en condiciones controladas y su análisis estadístico para constatar y asegurar la veracidad de los datos.

### **3.4. FACTORES EN ESTUDIO**

— FACTOR A. Porcentaje de materia prima.

1. 80%
2. 50%
3. 30%

— FACTOR B. Lugar de exposición.

1. A la intemperie
2. Enterrada

### 3.5. TRATAMIENTOS

**Cuadro 3.1.** Tratamientos a realizarse

Tratamiento 1	Muestra enterrada (bajo tierra)	80% residuo de almidón
Tratamiento 2	Muestra enterrada (bajo tierra)	50% residuo de almidón
Tratamiento 3	Muestra enterrada (bajo tierra)	30% residuo de almidón
Tratamiento 4	Muestra a la intemperie	80% residuo de almidón
Tratamiento 5	Muestra a la intemperie	50% residuo de almidón
Tratamiento 6	Muestra a la intemperie	30% residuo de almidón

### 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Dentro de la investigación se utilizó un Diseño Completamente al azar (DCA) con 3 replica, utilizando el software estadístico Infostat, descrito de la siguiente manera:

FACTOR DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
Porcentaje de materia prima	2
Lugar de exposición	1
Tratamientos	2
Repeticiones	2
Error Experimental	5
Total	15

### 3.7. EXPERIMENTAL

Las unidades experimentales corresponden a muestras de 100 g, conformadas de la siguiente manera:

**Cuadro 3.2.** Descripción de las unidades experimentales

% MATERIA PRIMA (g)			
RESIDUO DE ALMIDÓN	AGUA	ÁCIDO ACÉTICO	GLICERINA
80%	13%	0,3%	6,7%
50%	42%	0,4%	7,6%
30%	61%	0,5%	8,5%

## **VARIABLES**

### **3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Residuos del almidón

### **3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Láminas biodegradables

## **3.8. PROCEDIMIENTOS**

### **3.8.1. FASE 1. IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES**

#### **3.8.1.1. ACTIVIDAD 1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Para la ejecución de esta fase, se procedió a una revisión bibliográfica (Aguirre & Tijerina, 2014) cuyo fin fue identificar los componentes apropiados para la elaboración de las láminas biodegradables, además de estipular las definiciones que se establecen en capítulo anterior. Orellana y Sánchez (2006) consideran que las fuentes documentales y el acceso a internet permiten la realización de esta tarea con eficiencia, con facilidad y costos relativamente bajos.

#### **3.8.1.2. ACTIVIDAD 2. VISITAS DE CAMPO**

Además, se realizaron visitas in situ a zonas productoras de almidón de yuca para determinar la producción aproximada de residuos mediante una medición cuantitativa y pesaje inicial y final de los materiales. Pues Atencio *et al* (2011) consideran que estas permiten procesar infinitas formas de datos y fuentes significativas que brindan riqueza y profundidad a la investigación.

## **3.8.2. FASE 2. PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES.**

### **3.8.2.1. ACTIVIDAD 3. MEZCLA DE MATERIALES**

Para la elaboración de láminas biodegradables se depositó el residuo de almidón de yuca en un vaso de precipitación junto con el ácido acético (vinagre), con el glicerol o glicerina y el agua destilada (Ruiz, 2006). Posteriormente se agitó hasta obtener una mezcla homogénea (resina base) (Durán *et al.*, 2005).

### **3.8.2.2. ACTIVIDAD 4. CALENTAMIENTO Y SECADO**

Luego de obtener dicha mezcla se llevó al proceso de calentamiento entre 90-160°C (Ruiz, 2006) hasta conseguir una pasta consistente en un tiempo aproximado de 40 min (Averous *et al.*, 2000).

Luego de adquirir la pasta, ésta fue llevada al molde hasta su posterior secado, en un tiempo aproximado de 4 días. Se aplicó de acuerdo al Método validado según la norma ASTM D618 (2013).

## **3.8.3. FASE 3. DETERMINAR EL TIEMPO DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS LÁMINAS.**

### **3.8.3.1. ACTIVIDAD 5. ANÁLISIS FÍSICO**

Se procedió a realizar la comparación mediante un análisis físico para determinar la degradabilidad de las láminas (ASTM D618, 2013).

Para la determinación del tiempo de biodegradabilidad de las láminas fabricadas, se expuso al ambiente los productos obtenidos (Durán *et al.*, 2005), durante un período de 90 días.

### **3.8.3.2. ACTIVIDAD 6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico de los resultados se determinó la normalidad y homogeneidad de los datos mediante la prueba de Shapiro y Wilks, que de

comprobar que no existe una distribución normal se procedió a aplicar la prueba de estadística no paramétrica Kruskal Wallis (Herrera *et al.*, 2012) y de existir diferencias significativas se realizó la prueba TUKEY que permite determinar la magnitud de las diferencias entre los tratamientos (García *et al.*, 2001).

En caso de existir normalidad entre el conjunto de datos y sus varianzas inter grupos se realizó el análisis de Varianza (ANOVA) (Herrera *et al.*, 2012) y la prueba de Duncan para definir la magnitud de diferencias (García *et al.*, 2001).

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS

Mediante la revisión bibliográfica se identificaron los componentes necesarios para la elaboración de las láminas biodegradables con el fin de sustituir el plástico común. Entre los cuales se pudo identificar agua destilada, glicerol, ácido acético y el residuo de almidón de yuca.

El almidón de yuca fue seleccionado pues de acuerdo Navia *et al.*, (2011) tiene la capacidad de plastificarse en presencia de agua y otros agentes como los polialcoholes (glicerol, sorbitol, entre otros), debido a su propiedad de gelatinización (Fritz *et al.*, 1994). La yuca es uno de los de los mayores cultivos en el país (promedio de producción nacional 9 – 10 *ton/ha*) siendo el almidón uno de los tres subproductos nacionales a nivel nacional (Sánchez, 2013), considerándose a Chone y Bolívar como los sitios productores del mejor almidón existente en el país (Sánchez, 2013).

En el cantón Chone, parroquia Canuto, sitio San Pablo de Tarugo, existen pequeños productores que se dedican a la elaboración del almidón de yuca, siendo este trabajo el sustento de 150 familias (Cárdenas *et al.*, 2000) y de los cuales los residuos sólidos son usados para alimento de animales, compostaje, entre otros (Marcillo *et al.*, 2012). De acuerdo a la investigación in situ, los productores artesanales trabajan con un aproximado de 300 quintales de yuca a la semana, a partir de los cuales se obtienen 50 quintales de almidón, del restante, un aproximado del 20% (60 quintales) es considerado como un residuo aprovechable para la elaboración de plásticos biodegradables.

La utilización de esta materia prima en la fabricación de materiales alternativos refleja una gestión adecuada en el ciclo de la producción de artículos ecológicos (Guerrero *et al.*, 2011). Estos procesos permiten reducir notablemente los costos de producción por obtención de materia prima y reducción de la dependencia del petróleo (De la Torre *et al.*, 2005)

En cuanto al agua, Meneses *et al.* (2007) Expresan que es el mejor plastificante, pero no debe encontrarse en proporciones altas en relación con el almidón, pues al elevar la temperatura la ebullición del agua puede degradar la estructura molecular del almidón; asimismo, la glicerina es un plastificante que además brinda humectación al polímero. La Oficina Europea de Patentes asegura que los plastificantes en la mezcla de polímeros no deben exceder el 20% de la mezcla total.

La utilización de ácido acético en la producción de almidón con alto nivel de gelatinización en la producción de bioplásticos puede ayudar a producir membranas con buenas propiedades mecánicas, resistencia a la humedad y estabilidad (Fanta *et al.*, 1992) además de modificar el carácter hidrofílico del almidón (Valarezo, 2012; Heinze *et al.*, 2006).

#### 4.2. REALIZACIÓN DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES.

Para la elaboración de láminas biodegradables, se siguió el diagrama de flujo detallado en la Figura 4.1

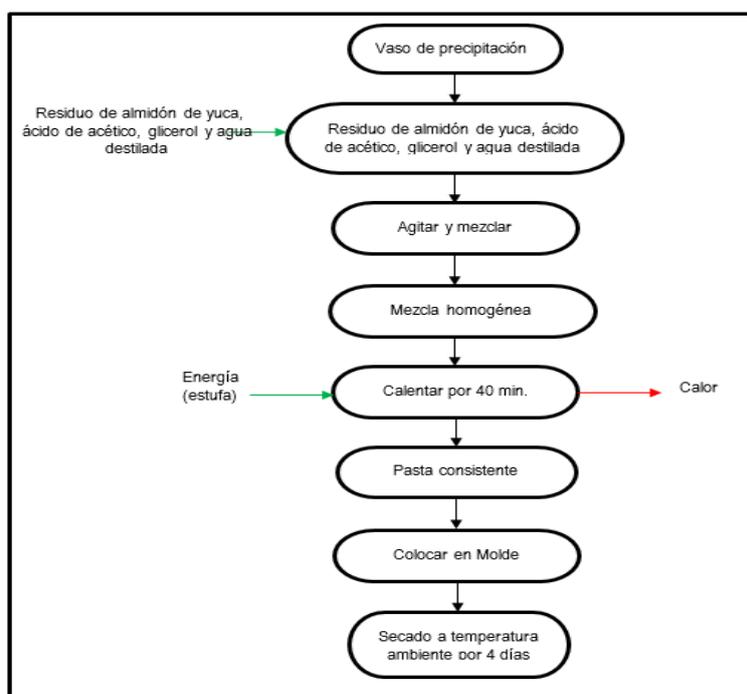


Figura 4.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de bioplásticos

#### **4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LÁMINAS BIODEGRADABLES**

El proceso fue llevado a cabo en condiciones estándar de temperatura y humedad estándar en los laboratorios del área agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, se elaboraron 3 unidades experimentales por cada tratamiento, utilizando las cantidades de materia prima detalladas en el Cuadro 3.2, obteniendo un total de 18 muestras.

Cada unidad experimental de 100 g sirvió para la formación de una biopelícula con medidas de 15cm x 10 cm aproximadamente. En general, para la preparación de las unidades experimentales se necesitó:

- Agua destilada (696 gramos)
- Glicerol (136,8 gramos) (172,37 ml)
- Ácido Acético (7,2 gramos) (7,5 ml)
- Residuo de Almidón (960 gramos)

Para el análisis de la biodegradabilidad de las láminas en condiciones de enterramiento se tomaron muestras de suelo en el Área Agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, las cuales fueron colocadas en reposo por un tiempo de 72 horas y posteriormente en recipientes plásticos donde se colocaron 9 de las unidades experimentales previamente rotuladas en condiciones promedio con temperatura de 25,76°C y humedad relativa del 82% (INAMHI, 2012).

Se realizó la comprobación de la degradación de las láminas cada semana, comprobando su estado y extrayéndolas cada semana, realizando observaciones cualitativas (Martínez *et al.*, 2008) hasta que se realizó la degradación completa de las mismas. Los tiempos de degradación se encuentran detallados en el Cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1.** Tiempo de degradación de los tratamientos

residuo de ALMIDÓN	EXPOSICIÓN	N	TIEMPO DE DEGRADACIÓN
1	1	3	90,67±0,58
2	1	3	80,33±1,53
3	1	3	65,00±1,00
1	2	3	59,67±1,53
2	2	3	48,67±1,53
3	2	3	45,33±1,15

### 4.3. DETERMINACIÓN EL TIEMPO DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS LÁMINAS

Una vez obtenidos los datos, se realizó el análisis estadístico de las variables, realizando en primer lugar, el análisis de la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilks (cuadro 4.2), constatando la distribución no normal de los datos, razón por la cual se procedió al análisis de los resultados mediante la prueba de Kruskal Wallis y la comparación de los datos mediante la prueba de Tukey con un 5% de significancia. Adicionalmente, se obtuvo el coeficiente de variación para calificar la calidad del experimento.

**Cuadro 4.2.** Prueba de Shapiro-Wilks modificado del tiempo de degradación de las muestras.

Variable	N	Media	Desviación estándar	Valor del estadístico W de Shapiro-Wilks	p (Unilateral D)
Tiempo de degradación	18	64,94	16,71	0,86	0,0190

El coeficiente de variación de la investigación fue de 1,95%, lo que de acuerdo a Pimentel (1985) se considera bajo, considerando al experimento como confiable. Luego, a partir de la tabla de Kruskal-Wallis realizada (Cuadro 4.3), se obtuvo que las interacciones de las proporciones de yuca y el tipo de exposición influyan significativamente en el tiempo de degradación de las láminas elaboradas.

**Cuadro 4.3.** ANOVA de los tratamientos.

RESIDUO DE ALMIDÓN	EXPOSICIÓN	N	H	P-VALOR
1	1	3	16,58	0,0053
2	1	3		
3	1	3		
1	2	3		
2	2	3		
3	2	3		

La prueba de Tukey para las proporciones de residuo de almidón (Cuadro 4.4) destacó que la preparación que tuvo mejor duración (55,17 días) durante el proceso fue la que contenía la mayor proporción de residuo de almidón de yuca (80 %) y el menor (75,17 días) el que contenía la menor cantidad (30 %). De acuerdo a Cladera *et al.* (2009) esto podría deberse a la formación de centros activos de adsorción en la estructura del plástico. Este resultado coincide con los obtenidos por Navia *et al.* (2014) donde a medida que aumentan las porciones de residuo de almidón de yuca, aumenta la velocidad inicial de adsorción de agua y la capacidad de adsorción.

**Cuadro 4.4.** Prueba de Tukey de los porcentajes de residuo de almidón utilizados

PROPORCIÓN DE RESIDUO DE ALMIDÓN	MEDIAS
3 (30 %)	55,17 A
2 (50 %)	64,50 B
1 (80 %)	75,17 C

Referente a los tratamientos, (Cuadro 4.5) por normalidad los que fueron sometidos a la intemperie tuvieron los tiempos de degradación más altos, esto podría deberse principalmente a la degradación producida por los microorganismos presentes en el suelo, esta actividad se vio reflejada a partir del día 21 y 34 en las muestras enterradas y a la intemperie, respectivamente, donde las láminas comenzaron a mostrar oscurecimientos que reflejaban el inicio del proceso de degradación del polímero biodegradable.

Otro factor que podría influenciar en la disminución del tiempo de degradación es que los microorganismos atacan más fácilmente las zonas amorfas creadas en la plastificación del almidón. Así, con un mayor contenido de glicerina como plastificante se incrementa la formación de zonas amorfas que son más asequibles para los microorganismos degradantes y por lo tanto se genera una mayor tasa de biodegradación (Merchán *et al.*, 2009).

Los tiempos de degradación se ajustan a la Norma Europea EN 13432 (2007) para plásticos biodegradables que asegura que el umbral de biodegradabilidad exigido por la norma es del 90% y un máximo de seis meses. En cuanto a la desintegración, no debe quedar fragmentado el material en fragmentos superiores a 2 mm x 2 mm después de 12 semanas.

**Cuadro 4.5.** Prueba de Tukey de los tratamientos

residuo de ALMIDÓN	EXPOSICIÓN	MEDIAS
1	1	90,67 D
2	1	80,33 CD
3	1	65,00 BCD
1	2	59,67 ABC
2	2	48,67 AB
3	2	45,33 A

Adicionalmente, se realizó el análisis económico de los tratamientos (Cuadro 4.6); cabe destacar que el precio de cada aplicación, depende de la cantidad de residuo de almidón utilizada por lo que se realizó el análisis únicamente de estas proporciones.

De acuerdo al análisis realizado, debido a que, en los tratamientos con menor cantidad de almidón se utiliza un mayor volumen de glicerina, que tiene mayor costo, se puede definir que existe una relación inversamente proporcional entre el costo y el tiempo de degradación (Ver Gráfico 4.1), y siendo que los tratamiento con menor costo son los que poseen mayor proporción de almidón

(Ver Cuadro 4.6), se puede definir además que a medida que el precio aumenta, el tiempo de degradación disminuye.

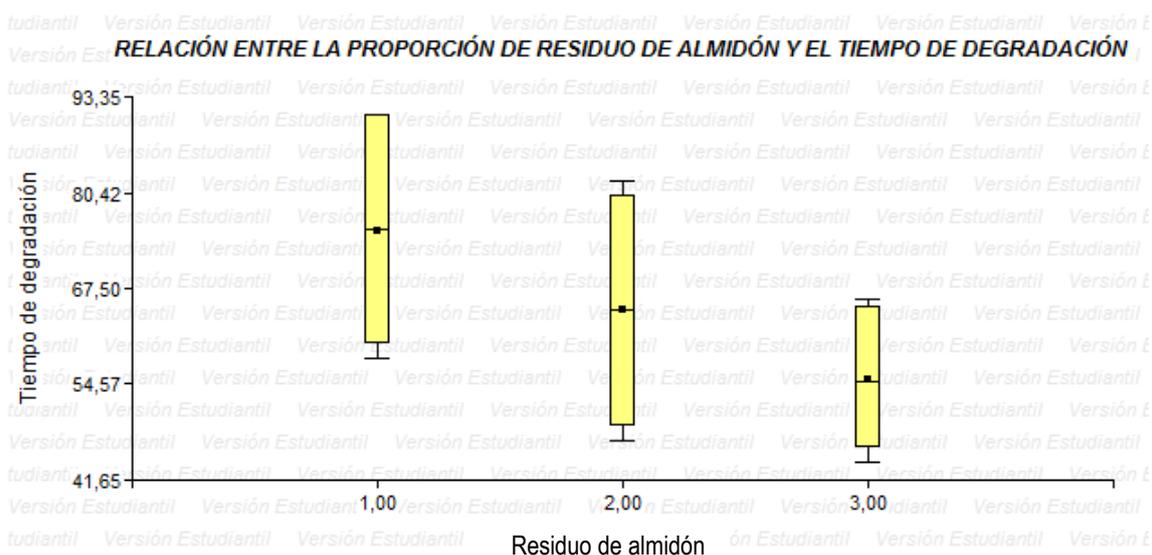


Gráfico 4.1. Relación proporción de almidón-tiempo de degradación

**Cuadro 4.6.** Precio por la elaboración de una lámina de 10 cmx15 cm

<b>COSTOS</b>	<b>80%</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>
<i>Residuo de almidón</i>	\$ 0,11	\$ 0,07	\$ 0,04
<i>Agua destilada</i>	\$ 2,60	\$ 8,40	\$ 12,20
<i>Ácido Acético</i>	\$ 0,01	\$ 0,01	\$ 0,01
<i>Glicerina</i>	\$ 0,11	\$ 0,12	\$ 0,13
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2,82</b>	<b>\$ 8,59</b>	<b>\$ 12,38</b>

Este hecho, refuerza aún más la posibilidad de la utilización del plástico biodegradable con altas proporciones de residuo de almidón como alternativa a la utilización de polietileno sintético, aunque la opción utilizada dependerá, en gran medida de la utilización que pretenda dársele. Así, dependiendo del tiempo que se lo requiera y las condiciones a los que se los someta se deberá utilizar la proporción de material adecuado, sabiendo que el material utilizado no afectara en gran medida al medio ambiente.

De acuerdo a ECOEMBES (2009) las bolsas de almidón son biodegradables, alcanzando tiempos de degradación de entre 90 a 180 días, siendo que al igual que en la investigación realizada, aumenta el tiempo a medida que aumentan

las proporciones de almidón, aunque presenta desventajas tales como: su solubilidad en agua, alta higroscopicidad, envejecimiento rápido debido a la retrogradación y bajas propiedades mecánicas, lo cual limita algunas aplicaciones tales como empaque (Valero *et al.*, 2013).

Por lo tanto, los envases de alimentos de corto tiempo de duración son una opción interesante (REMAR, 2011), pues tienen una vida útil reducida y no son prácticos de reciclar (Durán *et al.*, 2005). Además, su aplicación en sistemas de invernadero y siembra es viable, pues, al contrario que los plásticos convencionales, pueden ser reciclados orgánicamente mediante compostaje (REMAR, 2011)

Los biopolímeros basados en el almidón, requieren recursos de bajos costos, con métodos de producción más sencillos, por lo que es una línea de trabajo prometedora (Valero *et al.*, 2013).

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- Los componentes utilizados para la elaboración de las láminas biodegradables son de fácil alcance y de bajo costo (entre 2,82\$ a 12,38\$ por láminas de 10 x 15cm), su proceso de elaboración es sencillo y requiere de poco tiempo para prepararlo, por lo que su elaboración artesanal es una alternativa viable a la utilización de polímeros sintéticos.
- Las características físicas de las láminas biodegradables obtenidas son similares a las del plástico común, en cuestiones de flexibilidad, resistencia y grosor, con la diferencia de que poseen un tiempo de biodegradabilidad corto, por lo que son amigables con el medio ambiente y a la intemperie las proporciones de materia prima utilizadas necesitan un máximo de  $90,67 \pm 0,58$  días (80% de residuo de almidón de yuca) para su degradación casi completa.
- Los tratamientos que requirieron mayor tiempo de degradación fueron los que utilizaron 80% de residuo de almidón de yuca ( $90,67 \pm 0,58$  días a la intemperie y  $59,67 \pm 1,53$  días enterrada) y el menor tiempo el que utilizó 30% ( $65,00 \pm 1,00$  a la intemperie y  $45,33 \pm 1,15$  enterrada), resultando ambos directamente proporcionales. En cuando a precios, el menor costo de producción lo registró el producto con mayor tiempo de degradación, por lo que su aplicación al campo dependería de la utilización para la que se lo requiera.

### **5.2. RECOMENDACIONES**

- Promover la elaboración y uso de láminas biodegradables en los diferentes establecimientos y centros comerciales del cantón como sustituto del plástico común causante de contaminación.

- Realizar investigaciones con mayor cantidad de proporciones de materia prima utilizada, a fin de maximizar la base de datos disponible acerca de las cantidades de materia prima y precios por elaboración de bioplásticos.
- Socializar la información obtenida acerca de la facilidad de elaboración, ventajas ambientales y tiempos de degradación de los bioplásticos a partir de residuo de almidón de yuca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, A. & Tijerina, J. M., 2014. Redacción de Documentos Científicos Basados en el Estilo APA. México: Universidad Politécnica de Chihuahua.
- Alessandrello, G., 2013. La clasificación de biodegradable y no biodegradable. eHOW En Español.
- Alfonzo, J., Noya, C. & Zacarias, O., 2011. Plan de negocios para una fábrica de bolsas biodegradables, Cumaná: s.n.
- Ariosti, A. J. R., 2008. Bolsas biodegradables, s.l.: s.n.
- ASTM D618, 2013. Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing, West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Atencio, M., Gouveia, E. L. & Lozada, J. M., 2011. El trabajo de campo estrategia metodológica para estudiar las comunidades. Omnia, 17(3), pp. 9-22.
- Atilio, E., 2009. CONTAMINACIÓN. Catamarca : Editorial Científica Universitaria.
- Averous, L., Fauconnier, N., Moro, L. & Fringant, C., 2000. Blends of thermoplastic starch and polyestaramide processing. Journal of Applied Polymer Science, 76(7), pp. 1117-1128.
- Biobolsas, s.f.. BIOBolsas. [En línea] Available at: <http://bio-bolsas.com/> [Último acceso: 2 Noviembre 2015].
- Bowman, D., 2001. Common use of the CV: a statistical aberration in crop performance trials (Contemporary Issue)., s.l.: J. Cotton Sci.5.
- Cárdenas, F. y otros, 2000. Situación y desarrollo agroindustrial de la yuca en el Ecuador.. [En línea] Available at: <http://www.sian.info.ve/porcinos/eventos/clayuca0102/ecuador.html> [Último acceso: 11 Julio 2011].
- Carvajal, L. & Insuasti, M., 2010. Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) y yuca (*Manihot Esculenta Crantz*), Ibarra: s.n.
- Charro, M., 2015. Obtención De Plástico Biodegradable a Partir De Almidón de Patata, Quito: s.n.
- Cladera, F., Ferreira, L., Zapata, C. & Pettermann, A., 2009. Modeling water adsorption isotherms of pinhão (*araucaria angustifolia* seeds) flour and

thermodynamic analysis of the adsorption process. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), pp. 826-843.

Conde, A., 2013. Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, p. 228.

De la Torre, R., Rivera, S., Ruiz, J. & Veloz, J., 2005. Proyecto para reciclar el almidón de la tuca para la fabricación de fundas plásticas orgánicas, Quito: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Durán, J. A., Morales, M. A. & Yusti, R., 2005. Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 3(2), pp. 127-133.

ECOEMBES, 2009. Proyecto de Análisis de Bioplásticos, s.l.: ECOEMBES.

EMASEO, 2010. Plan de servicio de Aseo, administración Zonal Calderón. s.l.:s.n.

Esther, 2015. EIBLOGVERDE.COM. [En línea] Available at: <http://elblogverde.com/bolsas-biodegradables-y-medio-ambiente/> [Último acceso: 2 Noviembre 2015].

Fanta, G., Swanaon, C. & Sbogren, R., 1992. Starch-poly(ethylene-co. acrylic acid) composite films. Effect of processing conditions on morphology and properties. *J. Appl Polym Sci*, Volumen 44, pp. 2037-2042.

Fritz, H., Seidenstucker, T., Bolz, U. & Juza, M., 1994. Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Stuttgart. European Commission, p. 392.

García, J. A. y otros, 2001. Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia*, 35(1), pp. 79-86.

Guerrero, V., Dávila, J. & Galeas, S., 2011. Nuevos Materiales Compuestos. En: *Aplicaciones Estructurales e Industriales*. Quito: Imprefepp, pp. 46-73.

Heinze, T., Liebert, T. & Koschella, A., 2006. Esterification of Polysaccharides. s.l.:s.n.

Herrera, M. y otros, 2012. Diferentes métodos estadísticos para el análisis de variables discretas. Una aplicación en las ciencias agrícolas y técnicas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), pp. 58-62.

INAMHI, 2011. Anuario Meteorológico 2011, Estación M1230: ESPAM-MFL-CALCETA: INAMHI.

- INAMHI, 2012. Anuario Meteorológico 2012, Estación M1230: ESPAM-MFL-CALCETA: INAMHI.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, I., 2014. Manual técnico de la yuca, s.l.: s.n.
- Marcillo, M., Vivas, H. & Noles, P., 2012. Caracterización química y obtención de bioetanol del residuo sólido del procesamiento del almidón de yuca. *EspamCiencia*, 3(2), pp. 141-145.
- Martínez, G. y otros, 2008. Estudio de una mezcla binaria biodegradable: policaprolactona/quitina. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 9(3), pp. 313-321.
- Meneses, J., Corrales, C. M. & Valencia, M., 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, Issue 8, pp. 57-67.
- Merchán, J. P. y otros, 2009. Estudio de la biodegradación aerobia de almidón termoplástico (TPS). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1(1), pp. 39-44.
- Mers, N., 2010. Desarrollan proyecto para disminuir el uso de fundas plásticas. *El Diario*, Domingo Junio.
- National Academy of Sciences, U., 2003. Polímeros derivados del petróleo. The National Academies.
- Navia, D., Ayala, A. Y. & Villada, H., 2011. Isotermas de adsorción de bioplásticos de harina de yuca moldeados por compresión. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), pp. 77-87.
- Navia, D. P., Ayala, A. A. & Villada, H. S., 2014. Adsorción de Vapor de Agua de Bioplásticos Elaborados con Harina de dos Variedades de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Información tecnológica*, 25(6), pp. 23-32.
- Norma Europea EN 13432, 2007. Embalaje – Requerimientos para embalaje y envases recuperables a través del compostaje y biodegradación). s.l.:s.n.
- Oficina europea de patentes EP670863, s.f. Biodegradable compositions comprising starch. s.l.:s.n.
- Orellana, D. M. & Sánchez, M. C., 2006. Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. *Revista de Investigación Educativa*, 24(1), pp. 205-222.
- Organización Panamericana de la Salud, 2002. Análisis sectorial de Residuos Sólidos de Ecuador, s.l.: Gobierno de la República del Ecuador.

- Ortiz, M., 2013. El impacto de los plásticos en el ambiente. La Jornada Geológica .
- Patel, J., Patel, N. & Shiyani., R., 2001. Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof-an empirical study., s.l.: Curr. Sci. 81(9).
- Perdomo, G., 2002. PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE. Revista Iberoamericana Polímeros, pp. 11-12.
- Pimentel, F., 1985. Curso de estadística experimental. São Paulo, Brasil: Livraria Nobel S.A..
- REMAR, 2011. Bioplásticos, s.l.: Red de Energía y Medio Ambiente.
- Rodriguez, M., 2008. colectivo ambiental. [En línea] Available at: <https://colectivoambiental.wordpress.com/2008/01/24/las-bolsas-plasticas-son-uno-de-los-peores-contaminantes-del-medio-ambiente/> [Último acceso: 2 Noviembre 2015].
- RPP, G., 2009. Bolsas biodegradables: ¿Qué beneficios representan?. RPP Noticias .
- Ruiz, G., 2006. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Ingeniería y Ciencia, 2(4), pp. 5-28.
- Ruíz, J., 2010. Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar, s.l.: Terra Latinoamericana 28.
- Sánchez, S., 2013. Utilización de residuos orgánicos a partir de la cáscara de la yuca (manihot esculenta crantz) para producción de alimentos y otros surtidos, Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013. Biess. [En línea] Available at: <https://www.biess.fin.ec/files/ley-transparencia/plan-nacional-del-buen-vivir/Resumen%20PNBV%202013-2017.pdf>
- SENPLADES, 2009. Plan Nacional del Buen Vivir 2009 - 2013. Quito: s.n.
- Silveira, P., Da Silva, J., Almeida, A. & Zonta, E., 1986. Estatística Geral.Estatística Experimental, s.l.: s.n.
- SOACM, 2008. Las bolsas plásticas son uno de los peores contaminantes del medio ambiente, s.l.: s.n.
- Solano, X., 2011. Estudio de mercado para la implementación de un proyecto de reciclaje. Sangolqui: s.n.

- Tchobanoglous , G. & Thiesen, . H., 1998. Gestión Integral de Residuos Sólidos, España: Mc Graw Hill.
- TULSMA, 2015. Libro Vi Anexo 2 Norma De Calidad Ambiental Del Recurso Suelo Y Criterios De Remediación Para Suelos Contaminados. Ecuador: s.n.
- Valarezo, M. J., 2012. Desarrollo de biolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (Manihot esculenta), Loja: Universidad Técnica Particular De Loja .
- Valero, M. F., Ortegón, Y. & Uscategui, Y., 2013. Biopolímeros: avances y perspectivas. Dyna, 80(181), pp. 171-180.
- Vásquez, E. y. A. C., 2011. Inconsistencia de coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza, s.l.: Cultivos Tropicales 32(3)..

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### REGISTRO FOTOGRÁFICO



Anexo 1. A. Elaboración de bioplástico



Anexo 1. B. Adición de residuo almidón de yuca



Anexo 1. C. Colocación en moldes.



Anexo 1. D. Colocación en moldes



Anexo 1. F. Láminas de bioplástico de residuo almidón de yuca



Anexo 1. E. Láminas de bioplástico de residuo almidón de yuca



Anexo 1. G. Muestras a la intemperie



Anexo 1. H. Enterramiento de las muestras



Anexo 1. I. Muestras parcialmente degradadas



Anexo 1. J. Muestras totalmente degradadas