



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

"La Universidad Católica de Loja"

ÁREA BIOLÓGICA

TÍTULO DE BIÓLOGO

Extracción de un biopolímero a partir de la cascara de banano (*Cavendish valery L*).

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Poma Cuenca, Ericka Paola

DIRECTOR: Sanchez Juarez Aramis Azuri, Ph.D.

LOJA –ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D.

Aramis Azuri Sanchez Juarez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: "Extracción de un biopolímero a partir de la cascara de banano (*Cavendish valery L*) realizado por Poma Cuenca Ericka Paola, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero del 2017.

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Ericka Paola Poma Cuenca declaro ser el autor (a) del presente trabajo de titulación: Extracción de un biopolímero a partir de la cáscara de banano (*Cavendish valery L*), de la titulación de Biología siendo Ph.D Aramis Azuri Sanchez Juarez director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 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 investigaciones, 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”

f.....

Autor: Ericka Paola Poma Cuenca.

Cédula: 1105151615

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios por ser mi guía espiritual, a mis padres por ser mi apoyo durante todos mis estudios y por ser quienes me dan las fuerzas para alcanzar mis metas, a mis hermanos por ser quienes han sido mi mayor inspiración de superación y perseverancia así como a toda las personas que han aportado un granito de arena para mi desarrollo en el ámbito profesional y así al esfuerzo y entrega que conlleva la formación académica y a todos mis familiares que de una u otra forma han contribuido para que este escalón de mi carrera profesional sea superado.

Ericka Paola Poma Cuenca

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja ya que fue la institución donde me forme y recibí los conocimientos académicos que han contribuido positivamente en mi formación profesional. De manera muy especial a mi tutor Ph.D Aramis Azuri Juarez Sanchez y a la Ingeniera Ana Guamán por ser mis guías para la realización de mi Trabajo de Fin de Titulación y a todos mis profesores por la enseñanza impartida, por sus consejos que han sido de gran aporte para alcanzar mis propósitos y a todos a quienes me aprecian y que de alguna u otra manera me han apoyado y estimulado en el transcurso de mis estudios.

Ericka Paola Poma Cuenca

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
1.1. Residuos.....	14
1.1.1. Tipos de Residuos.....	14
1.1.2. Características de los residuos orgánicos.....	15
1.2. Descripción de banano.....	16
1.2.1. Clasificación taxonómica.....	18
1.2.2. Banano en la Ecuador producción nacional y porcentajes de exportación.....	19
1.2.3. Usos del banano	20
1.2.4. Cáscara de banano.....	21
1.2.5. Estructura de la cáscara de banano.....	21
1.3. Polímeros.....	21
1.3.1. Clasificación de los polímeros.....	22
1.3.2. Biopolímeros.....	22
1.3.3. Beneficios de los biopolímeros.....	23
CAPÍTULO II.....	24
METODOLOGÍA.....	24
2.1. Descripción de lugar donde se llevara a cabo el experimento.....	25
2.2. Muestreo.....	25
2.2.1 Descripción y análisis de los lugares de donde se obtuvo la cáscara de banano.....	25
2.3. Materiales y equipos.....	27
2.4 Descripción y análisis de los procesos.....	27
2.5. Caracterización física y química de los biopolímeros.....	33
2.5.1. Pruebas ópticas	33
2.5.2. Conductividad térmica.....	34

2.5.3. Pruebas de absorción de luz.....	34
2.5.4. Pruebas químicas.	35
2.6 Tratamiento de la muestra de tierra.	35
CAPÍTULO III	37
RESULTADOS	37
3.1 Biopolímeros obtenidos a partir de las metodologías utilizadas.....	38
3.2 Caracterización química.	44
3.2.1. Resultados de solubilidad.....	45
3.3 Caracterización óptica.	46
3.4 Conductividad térmica.....	47
3.5 Absorción de la luz de un biopolímero	48
3.6 Análisis de las muestras de suelo.	49
3.7. Discusión	50
3.8. Usos potenciales	52
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hectáreas sembradas según las provincias de mayor área.....	19
Tabla 2. Cantidades usada para el tratamiento de la cáscara de banano.....	28
Tabla 3. Cantidades utilizadas en el tratamiento de la cáscara de banano.....	28
Tabla 4. Contenidos de los componentes utilizadas para la elaboración del biopolímero.....	31
Tabla 5. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero.	38
Tabla 6. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero.	38
Tabla 7. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero con cáscara de banano fresca.....	39
Tabla 8. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero cascara de banano fresca endocarpio.	41
Tabla 9. Requerimientos para la obtención de biopolímero a partir de almidón (cáscara de banano verde).....	42
Tabla 10. Determinación de la absorción de reactivos con las membranas biopoliméricas.....	43
Tabla 11. Conductividad térmica de los biopolímeros durante dos minutos.....	44
Tabla 12. Prueba de fluorescencia de rayos X de suelo La Troncal- Cañar.....	46

RESUMEN

Los polímeros son fuente de producción de productos que por lo general son derivados del petróleo y que causan contaminación al medio ambiente, en los últimos años se ha venido trabajando en la elaboración de productos biopoliméricos derivados de recursos renovables. La creación de biopolímeros es con el fin de dar un uso potencial a los desechos agroindustriales dándole un valor agregado, por ende, el presente trabajo tiene como objetivo la obtención de un biopolímero a partir de la cáscara de banano. La extracción se la realizó a partir de cáscara de banano fresca y de almidón de banano verde las cuales fueron expuestas a temperatura, agitación y volumen de agua, glicerina y vinagre. El producto final obtenido para cada uno fue exitoso, las membranas obtenidas presentaron buen color, transparencia, y firmeza. Además, se realizaron pruebas químicas y físicas. Los biopolímeros obtenidos a partir de desechos agroindustriales serán un aporte a futuro para evitar el uso de polímeros a partir de petróleo que contaminen el medio ambiente.

PALABRAS CLAVES: Biopolímeros, Banano, polímeros.

ABSTRACT

Polymers are a source of production of products that are usually derived from petroleum and cause pollution to the environment, in recent years has been working in the development of biopolymer products derived from renewable resources. The creation of biopolymers is in order to give a potential use to the agroindustrial wastes giving an added value therefore the present work has the objective of obtaining a biopolymer from the banana peel. The extraction was done from fresh banana peel and green banana starch which were exposed to temperature, agitation and volume of water, glycerin and vinegar. The final product obtained for each was successful. The obtained membranes showed good color, Transparency, and firmness in addition chemical and physical tests were performed. These biopolymers obtained from agroindustrial waste will be a contribution to the future to avoid the use of polymers from petroleum that contaminate the environment.

Key words: Biopolymers, Bananas, polymers.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros han sido utilizados desde la antigüedad y la mayor parte de estos provienen del petróleo (Asqui & Jarrin, 2015). Sin embargo, en los últimos años se ha venido trabajando en el diseño y desarrollo de materiales biodegradables. (Carrasquero, 2004). Estos recursos biodegradables se presentan como biopolímeros que se encuentran en la naturaleza, son los componentes orgánicos más abundantes y por tanto pueden ser una alternativa a los problemas ambientales y sociales (Gómez, 2013). Se están buscando alternativas en la producción y creación de biopolímeros a partir de desechos agroindustriales dándoles un uso potencial, así en los últimos años se ha dado interés en el trabajo con almidón y ahora el banano está siendo considerado de gran interés como material biodegradable debido a su composición (López, Cuarán, Arenas, & Flórez, 2014). El banano en el Ecuador es uno de los principales productos de producción y exportación. Del total de fruta producida, alrededor del 30% se utiliza para consumo interno como producto fresco y como materia prima en la agroindustria en la producción de varios subproductos. El país, ofrece en el mercado y como productos de exportación el banano *Cavendish Valery*, Williams, Orito y Rojo, además la fruta de banano contiene 60% de pulpa y 40 % de cáscara, es decir que de una caja de banano de 18,14 kg se desperdician 7,25 kg (Carrión, 2013)

En las últimas décadas, más de 100 mil toneladas de desechos se han producido, de los cuales casi 20 mil toneladas fueron de cáscara de banano. Estos desechos, al no ser reutilizados, se convierten en focos de contaminación ambiental (Cabrera, Madrigal, & Vázquez, 2007).

Para la mejora de esta problemática para el medio ambiente y la sociedad se pretende aprovechar este recurso degradable extrayendo biopolímeros con aplicaciones innovadoras que aporten productos biodegradables y que sean amigables para el medio ambiente.

Objetivos generales

- Extraer un biopolímero a partir de la cáscara de banano de dos ecosistemas que cuentan con condiciones ambientales distintas.

Objetivo específico.

- Determinar las condiciones idóneas del biopolímero con el fin de construir láminas delgadas.
- Evaluar las diferencias de la calidad del polímero obtenido de la cáscara de banano de las dos localidades escogidas.
- Evaluar el biopolímero de la cáscara de banano en aspectos mecánicos, eléctricos y ópticos.
- Establecer y optimizar un modelo de obtención del biopolímero de la cáscara de banano.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

En este capítulo tendremos una descripción de los residuos, polímeros biopolímeros y sus clasificaciones también se hablará de la taxonomía del banano, su clasificación y producción nacional e internacional y finalmente se hablará acerca de la composición de la cáscara de banano.

1.1. Residuos.

Los residuos son aquellos productos generados a partir de una actividad, esos productos crean masas de materias que son heterogéneas, que en muchos casos, es difícil de incorporar a los ciclos naturales (Oliva & Malonda, 2012).

Los residuos han estado presentes durante todo el ciclo de la vida, algunos de los residuos se han degradado mientras otros se han acumulado en el tiempo, pero desde el mismo momento que comienzan a acumularse en el medio ambiente, ya sea, por la velocidad con la que se generan, como por la naturaleza química que presentan hacen que se dificulte su descomposición e incorporación a los ciclos naturales, entonces comienzan a ser un problema ambiental (Pérez, 2010). En los sistemas naturales no se genera materia o productos residuales que se acumulen en el tiempo, sino que ellos cuentan con un ciclo natural que es cerrado, el cual tiene elementos químicos y biológicos que permiten que la materia producida sea degradada sin generar residuos de ningún tipo y que sean malos para la propia naturaleza (Navarro, Moral, Gómez, & Mataix, 1995)

Los países con mayor desarrollo industrial, son aquellos donde existen mayor porcentaje de residuos debido a sus actividades de producción y de consumo humano son mayores, cabe recalcar que estos residuos causan daño ya sea a corto o largo plazo (Jaramillo & Zapata, 2008). La acumulación de los residuos conlleva una serie de repercusiones, a medida que el tiempo pasa los recursos no renovables se están viendo afectados por la contaminación ya que conducen a una disminución de los mismos. Por tanto, los residuos deben ser estudiados, analizados y tratados de manera idónea lo que permitirá que el medio ambiente y la vida de los seres vivos mejoren en cuanto a calidad y salud.

1.1.1. Tipos de Residuos.

Según Navarro et al.(1995) los residuos se clasifican según su origen: así tenemos los derivados del sector primario; de actividades como la agricultura, ganadería, forestales y extractivas. Los obtenidos del sector secundario y terciario, formado por residuos industriales y urbanos básicamente. Dentro de estos grupos se incluyen una

multitud de residuos de diversas características como inorgánicos, orgánicos y mezcla de ellos, tóxicos o inertes, líquidos o sólidos, etc. En los siguientes grupos de residuos, se indica alguna de sus características más significativas:

Residuos agrícolas: Incluye restos de cosechas y derivados, siendo los más abundantes y dispersos.

Residuos de actividades ganaderas

Residuos ganaderos de cría: excrementos, camas y lechos, y al igual que los anteriores presentan una gran dispersión. Residuos de mataderos: huesos, sangre, pellejos, etc., que pueden ser más fácilmente controlados que los anteriores al tener una localización más detallada de los mataderos e industrias agroalimentarias.

Residuos forestales: Son restos de poda y de diversas labores de silvicultura, de dudoso control y de amplia difusión.

Residuos industriales inertes: tenemos materiales apagados que son restos de industrias no peligrosas tales como; chatarras, vidrios, cenizas, escorias, arenas, polvos de metales, abrasivos, etc. de mayor producción en las comunidades más industrializadas y por tanto tienden a tener mayores efectos negativos. Además, residuos tóxicos y peligrosos como ácidos, residuos radiactivos, etc., en definitiva, materiales que contienen sustancias que presentan un riesgo para la salud humana.

Residuos de actividades extractivas: Como residuos mineros y de cantería: escombros de minas y metalurgia.

Residuos urbanos y asimilados: incluye escombros de obras y lodos de depuradoras de aguas residuales.

Residuos domésticos: fundamentalmente basuras, con presencia de papel, cartón, plásticos, textiles, maderas, gomas.

1.1.2. Características de los residuos orgánicos.

Los residuos se pueden ver clasificados de diversas formas, pero cerca del 60 % son aquellos que están constituidos por materia que se puede considerar como residuos orgánicos. La materia orgánica es aquella procedente por lo general de las actividades como: la agricultura, ganadería, residuos forestales, domésticos y

actividades en general realizadas en el mercado productivo etc. (Baridón, Millan, Cattani, & Mildemberg, n.d.). Las características de los residuos orgánicos cambian según sean generados, por lo tanto, su composición química no es la misma (A. Fernández & Sánchez, 2007). Los residuos orgánicos no afectan al medio ambiente ya que son biodegradables, lo que realmente afecta es que los residuos se vayan concentrando en grandes cantidades en áreas específicas, así por ejemplo; tenemos los residuos de actividades agrícolas, estos generan residuos como hojas, raíces o frutos cierta parte es aprovechado por el suelo pero al acumularse tiende hacer un problema en cuanto a contaminación y su degradación necesitará de mayor tiempo (Sánchez & Rojas, n.d.). Por lo tanto, se necesita que los residuos generados sean manejados de mejor manera para evitar que representen problemas para el medio ambiente a un futuro.

1.2. Descripción de banano.

El banano se produce ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales y tiene un impacto importante en la economía de los países en desarrollo. El banano es una hierba gigante, perteneciente al género *Musa*, de la familia *Musaceae* (Millán & Ciro Velásquez, 2012). El banano se originó en el Sudeste Asiático y las islas del Pacífico con las evidencias taxonómicas muestran que fue en la península malaya, donde se originó el banano comestible, la planta alcanza una altura de 2 m a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro (Ruíz, 2012). El sistema radicular de la planta de banano es adventicio, está compuesto por un eje radicular el cual produce las raíces primarias, a partir de ellas se desarrollan las secundarias (Robinson, & Galán, 2012). La principal función del pseudotallo es soportar el peso de las hojas y las inflorescencias (Torres, 2012). Por otro lado, el fruto se caracteriza botánicamente como una cereza con pericarpio, el fruto se forma partiendo de los ovarios de las flores postiladas que muestran un gran aumento en volumen. La forma del fruto varía y el color es generalmente amarillo (Alvarez, 2013).



Imagen1. Partes de la planta de banano.

Fuente: Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira

Elaboración: Swing Torres

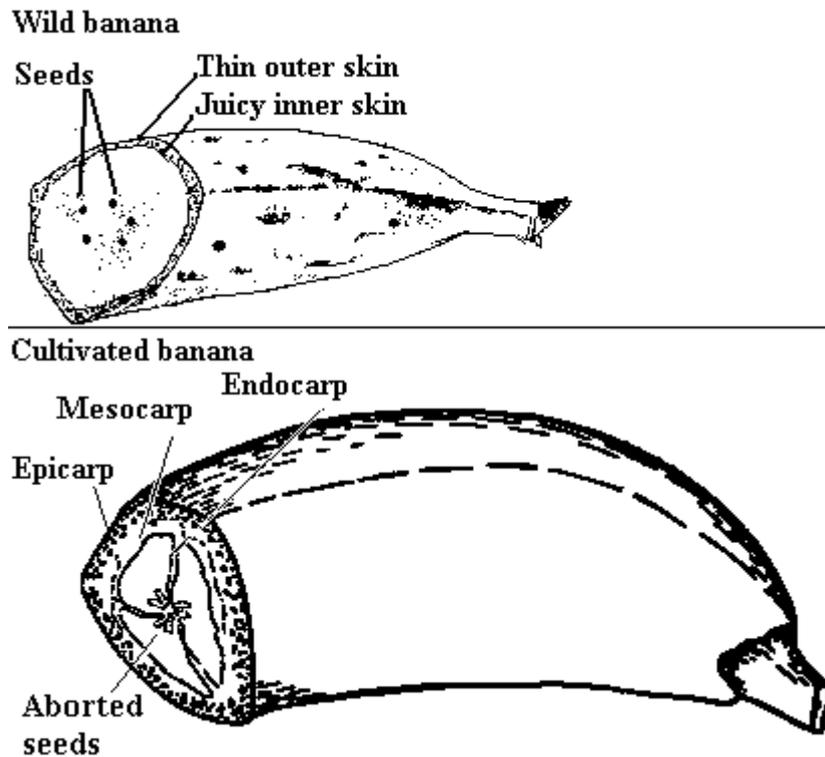


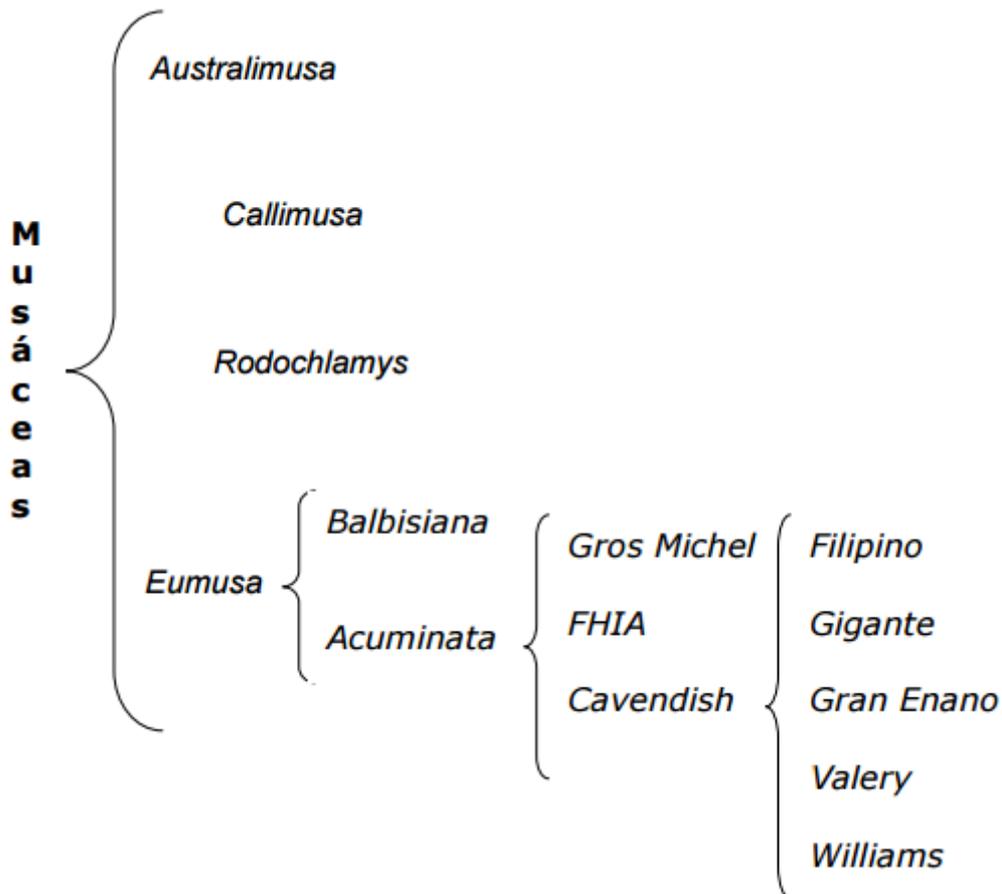
Imagen 2. Partes del fruto del banano.

Fuente y Elaboración: Jhon Elfick

Los bananos son híbridos naturales de dos especies silvestres: *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. Debido a su origen, la clasificación de los bananos es muy compleja, pues contienen genomas de las dos especies. La fuente primaria del banano moderno fueron formas diploides ($2n$) comestibles de la especie *Musa acuminata*, y que otra especie silvestre, *Musa balbisiana* también contribuyó, a través de un proceso de hibridación (Bash, 2015). Entonces, existen tipos de *M. acuminata* comestibles que son diploides y triploides. (Pereira, & Maraschin, 2015).

1.2.1. Clasificación taxonómica.

El género *Musa* comprende todos los cultivares comestibles y se divide en cuatro secciones, *Eumusa*, *Rhodochlamys*, *Australimusa*, y *Callimusa* de acuerdo con el número de cromosomas. Por lo tanto, el genoma con once cromosomas ($2n=22$) es característico de *Eumusa* y *Rhodochlamys*, mientras diez cromosomas ($2n=20$) se encuentra en *Callimusa* y también de *Australimusa*. *Eumusa* es la más grande y la que tiene una amplia distribución geográfica que la mayoría de los derivados de *Musa* (Pereira & Maraschin, 2015).



Fuente y Elaboración: Pereira y Maraschin

1.2.2. Banano en la Ecuador producción nacional y porcentajes de exportación.

Las excelentes condiciones de orden climático y ecológico que tiene Ecuador, han permitido que pequeños, medianos y grandes productores desarrollen la explotación de bananos. El Banano ecuatoriano es producido en la zona costera y en los valles cálidos de la sierra. La zona bananera está conformada por las provincias de El Oro, Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Cañar y Loja que se han especializado en la producción y exportación de banano, ya que cuentan con propiedades en sus suelos de altos niveles de riqueza (Gonzabay, 2010). Las hectáreas sembradas de estas provincias son de 207.197,36 hectáreas, desglosadas de la siguiente manera:

Tabla 1. Hectáreas sembradas según las provincias de mayor área.

AREAS SEMBRADAS INSCRITAS (Has.)				
2011				
EL ORO (Has.)	GUAYAS (Has.)	LOS RÍOS (Has.)	OTRAS (Has.)	TOTAL (Has.)
57.257,68	63.483,22	67.406,50	19.341,96	207.197,36

Fuente: MAGAP

Elaboración: Santiago Arteaga Medina.

De la superficie total de banano sembrado en Ecuador por hectáreas representan el 77 % de toda la superficie de banano a nivel nacional (García, 2014).

La actividad bananera en el Ecuador en los últimos años se ha mantenido sobre la base de un crecimiento de la superficie más que a un crecimiento de los niveles de productividad o rendimiento (Carrión, 2013).

El banano ecuatoriano es conocido a nivel mundial por su calidad y sabor, siendo cotizado en los mercados internacionales de Europa, Asia y América del Norte. Hasta abril de 2015, el sector banano se constituyó como el principal sector de exportación con un 24.63 % de participación, el principal destino de las exportaciones del Ecuador en enero-abril fue Estados Unidos con una participación del 28.20 % del total exportado, le siguen Vietnam con un 7.40 %, Colombia con un 7.05 % y Rusia con 6.36 % (Gómez, León, Rojas, Contreras, & Andrade, 2014).

1.2.3. Usos del banano

Debido a que muchos productos provenientes de cosechas no son consumidos directamente por los consumidores se genera una gran cantidad de subproductos, como cáscaras y semillas llegando en algunos casos a ser mayor la cantidad de subproductos obtenidos del procesamiento que la cantidad de producto final (Leon, 2007). Algunas frutas como el banano es una de las que se generan un subproducto, entonces el uso y aprovechamiento de subproductos es difícil, debido a la susceptibilidad de estos materiales a la descomposición bacteriana (Granda, Mejía, & Jiménez, 2005). Aunque aun así varios autores sostienen que la utilización de subproductos como materias primas supone una fuente muy barata de recursos o de sustratos para la fabricación de productos biotecnológicos, también se puede obtener alcohol, jugos, mermeladas, jaleas, bananos pasados, polvo, harina, puré, almidón y

productos por deshidratación osmótica para las industrias de productos lácteos, confiterías y cereales (Monsalve, Medina de Pérez, & Ruiz, 2006). Esta podría ser una opción tecnológica de aprovechamiento de la cáscara de banano, permitiría reducir las cantidades de residuos.

1.2.4. Cáscara de banano.

En la actualidad la producción agroindustriales ha incrementado por ende también han incrementado el material mal desechado, por lo tanto, se busca encontrar maneras para mitigar el impacto ambiental que producen, se han buscado diversas alternativas de reutilización que estén estrechamente relacionadas con cada características propia del subproducto (Dormond, Rojas, Boschini, Mora, & Sibaja, 2011). Cuando hablamos de la cáscara de banano su porcentaje de residuos aproximadamente es del 95 % ya que en si la materia prima no es aprovechado eficientemente su producción y comercialización se centra más como una opción alimenticia para los hogares, es decir, que una vez utilizado el fruto se destina lo demás a ser desechado o a veces utilizado como abono para las cosechas (Carrión, 2013).

1.2.5. Estructura de la cáscara de banano.

La composición de la cáscara de banano cambia según su estado de madurez, en estado verde la cascara de banano contiene mayoritariamente almidón cerca de un 90 % pero conforme madura se transformar en azúcares así tenemos que los componentes importantes de la cáscara son: celulosa (25 %), hemicelulosa (15 %) y lignina (60 %) (Lòpez, Cuaràn, Arenas, & Flòrez, 2014). La cáscara de banano maduro desechada contiene, en promedio, 21 % de azúcares reductores, 7 % de grasa, 11 % de fibra cruda, 60 % de extracto libre de N en base seca y 86 % de humedad, por lo que es clasificada como un material energético alto en humedad (Dormond et al., 2011).

1.3. Polímeros.

La palabra polímero proviene del griego Poly y Mers que significa grandes moléculas o macromoléculas formada por la unión de varias moléculas pequeñas, son sustancias con mayor masa molecular (Seymour, & Carraher, 1995). Los polímeros son moléculas de gran tamaño, constituidas por eslabones orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes (Hermida, 2008). Los polímeros son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se

repite a lo largo de la molécula en algunos casos la repetición es lineal (Carrasquero, 2004). La mayor parte de los polímeros están formados por estructuras de carbón y por tanto se consideran compuestos orgánicos, en general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen, las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero (Maier, n.d.).

1.3.1. Clasificación de los polímeros.

Los polímeros se pueden clasificar de varias maneras; así Garavito, 2007 clasifica a éstos atendiendo diferentes parámetros, como se indica a continuación:

- **Según su origen:** pueden ser naturales como el caucho, polisacáridos (celulosa, almidón), proteínas, ácidos nucleicos y sintético como plásticos, fibras, poliuretano, baquelita.
- **Según su estructura:** se presentan como lineales, estos son aquellos que sus monómeros se unen por dos sitios (cabeza y cola) y ramificados si algún monómero se puede unir por tres o más sitios.
- **Por su comportamiento ante el calor:** pueden ser termoplásticos que son aquellos que se reblandecen al calentar y recuperan sus propiedades al enfriar y termoestables se reblandecen y moldean en caliente, pero quedan rígidos al ser enfriados.
- **Por su aplicación:** pueden ser de fibra, plásticos o elásticos.

1.3.2. Biopolímeros.

Los biopolímeros tienen propiedades fisicoquímicas y termoplásticas iguales a las de los polímeros fabricados a partir de petróleo, con la diferencia que una vez desechados, se biodegradan (Gómez, 2013). Los biopolímeros, son polímeros que se generan a partir de fuentes naturales renovables, a menudo son biodegradables y no tóxicos estos pueden ser producidos por los sistemas biológicos es decir, microorganismos, plantas, o químicamente a partir de materiales biológicos de partida almidón, grasas o aceites naturales, etc. (Cea de Amaya, n.d.). Una característica fundamental de biopolímeros es la formación de estructuras jerárquicas en escalas de longitud sucesivas (Van der Maarel, 2007). A partir de la estructura primaria, las unidades monoméricas están organizados en una cierta conformación molecular local, esta conformación local está conoce comúnmente como la estructura secundaria

(Tirrell & Tirrell, 1996). Los biopolímeros tienen propiedades emergentes asociadas a sus estructuras jerárquicas. Aquí, el significado de emergencia es que los biopolímeros tienen propiedades que no se pueden atribuir a los bloques de construcción individuales. Por ejemplo, las bases de ácido nucleico son simplemente componentes moleculares hechos de carbono, nitrógeno y oxígeno (Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio, & López-Malo, 2013). Los biopolímeros se pueden clasificar según su fuente de las cuales se analizarán los biopolímeros más importantes del mercado divididos en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxialcanoatos) (PHA). (Valero-Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, 2013)

1.3.3. Beneficios de los biopolímeros.

El atractivo de los biopolímeros es que son una alternativa en cuanto al reemplazo del uso del petróleo y así el cambio de polímeros actuales no degradables por polímeros biodegradables, lo que aportaría notablemente a disminuir la contaminación de medio ambiente (Betanzos, 2016). En su mayoría, estos biopolímeros son obtenidos de recursos renovables lo que vienen siendo una alternativa interesante para las industrias, debido a que necesitan de poca inversión y requieren mínimas modificaciones en el proceso de extracción. Además, un beneficio importante, es que, estos biopolímeros cuentan con bajas emisiones de CO₂ al ambiente. Así, los polímeros basados en recursos renovables o biodegradables serán de gran aporte tanto en la sociedad en general como en la industria de los plásticos, así como en el sector agrícola, ya que supondría una salida de sus productos hacia mercados diferentes (Carrión, 2013).

CAPÍTULO II
METODOLOGÍA

En el presente apartado realizaremos una descripción de la metodología usada para la transformación de la cáscara de banano en un biopolímero, así mismo se describirá en flujo del proceso y los materias que se utilizaran para lograr la obtención del mismo.

2.1. Descripción de lugar donde se llevara a cabo el experimento.

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Técnica Particular de Loja en el departamento de Química laboratorios de la sección de Físico - Químico en donde contamos con las implementaciones necesarias para el tratamiento de la cáscara de banano.

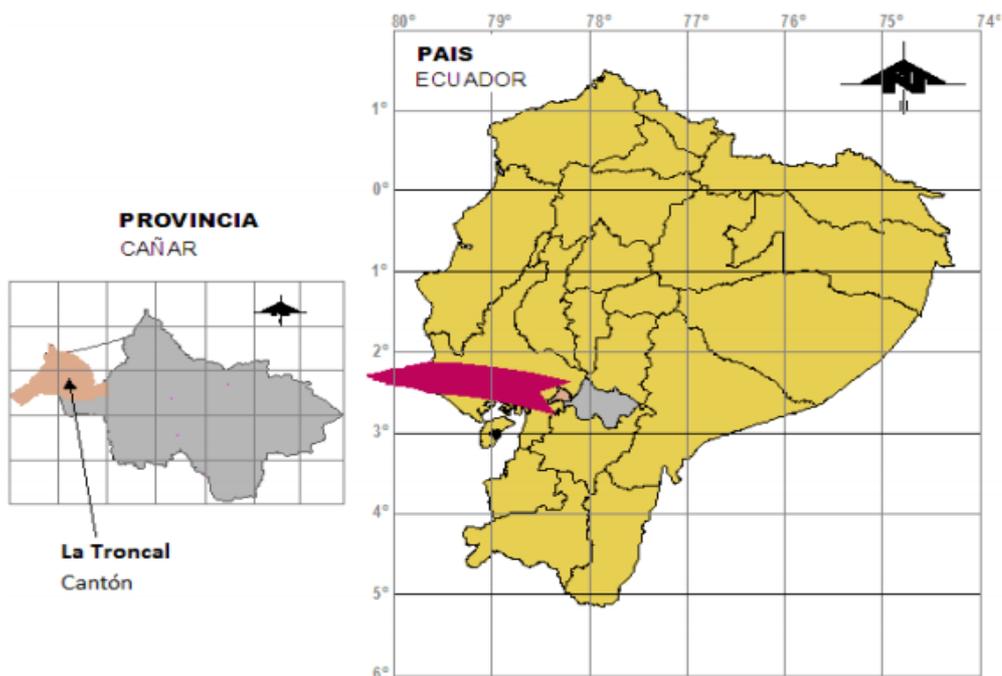
2.2. Muestreo.

El muestreo se lo realizó de manera aleatorio siguiendo ciertos criterios de calidad en este caso: estado de madurez, es decir, que se encuentre de un color óptimo “amarillo” sin golpes, y que no contengan manchas de color negro tratando de obtener los más sanos, de igual forma para los banano verde se tomó en cuenta los mismos criterios de calidad, esto se realizó para los dos lugares donde se muestreo.

2.2.1 Descripción y análisis de los lugares de donde se obtuvo la cáscara de banano.

La materia prima que se utilizó en el proyecto es la cáscara de banano (*Cavendish valery L*) se la obtuvo de plantaciones, una de la región costa Machala y otra de la región sierra Cañar, de donde se obtendrá 1 caja de banano por cada provincia, se escogió estas dos regiones debido a que existe un amplio cambio en sus condiciones ambientales y tienen una gran producción de banano. El territorio de Cañar, se distingue tres zonas agroecológicas, la zona seca templada de 1.760 a 2.800 m.s.n.m., la zona sub-húmeda templada de 2.800-3.300 m.s.n.m. y la zona alta fría que va desde los 3.300 hasta los 4.480 m.s.n.m. (Figuroa & Pichizaca, 2000).

Mapa 1. Ubicación del Cantón La Troncal.



Elaboración y fuente: IGM

De la provincia de cañar se ha escogido al Cantón La Troncal debido a su localización, se encuentra en la Región Costa en la zona occidental de la Provincia del Cañar. Está ubicado dentro de las siguientes coordenadas geográficas: latitud sur 2°28'22" y longitud oeste 79°14'14". La colecta de tierra y banano se realizó en la hacienda La Crucita a 10 min de La Troncal.



Imagen 3. Cultivos de banano La Troncal- hacienda La Crucita.

Fuente Y Elaboración: Ericka Poma

La ciudad de Machala se encuentra ubicada al sur del Ecuador y constituye uno de los principales lugares de desarrollo para el país más conocido como la Capital Mundial del Banano debido a su alta tasa de exportación de banano a todo el mundo. Machala está ubicada a una altura de 6 m.s.n.m. su clima es tropical (sub-húmedo), con temperaturas que oscilan entre los 22° C y 35° C. En el uso del suelo se destacan los cultivos permanentes, ocupando un 54% del total; los principales productos que se cultivan son el banano y cacao, que ocupan un total de 11,773 hectáreas (Leòn & Martínez, 2011).

2.3. Materiales y equipos.

Para la extracción del biopolímero a partir de la cáscara de banano se utilizó un triturador, agitador, mufla, vasos de precipitación, balanza, tamiz con una porosidad de 40 y 80 nanómetros. También se necesitó de ciertos reactivos como HCL (ácido clorhídrico), NaOH (hidróxido de sodio), Na₂S₂O₅ (sulfato de sodio), agua destilada, vinagre, glicerina y se implementó el difracción de rayos X para análisis de suelo, espectrofotómetro para medir absorción de película de biopolímero y refractómetro para índice de refracción.

2.4 Descripción y análisis de los procesos

Se realizaron tres protocolos diferentes para la obtención de los biopolímeros así tenemos:

Primer protocolo: propuesto por López et al., 2014, presenta dos procesos:

Primer proceso: se utilizaron cáscaras de banano a las cuales se les realizó una adecuación preliminar para eliminar los contaminantes presentes, esta adecuación consistió en un lavado de las cáscaras con agua caliente, posteriormente se dejó para su secado, seguido de una trituración que redujo las cáscaras a partículas más pequeñas y finalmente se empleó la técnica de cuarteo hasta obtener una muestra en polvo. A partir de esta muestra, se procedió a calentarla con agua destilada, hasta alcanzar el punto de ebullición. Posteriormente se extrajo la biomasa de la solución calentada y se mezcló en una licuadora hasta lograr una masa, la cual se colocó en el horno a temperatura durante 24 horas después de las 24 h se trituró la masa seca hasta obtenerla en forma de polvo. De esta muestra en polvo se mezclaron con vinagre, glicerina y agua destilada; estos ingredientes se mezclaron eventualmente durante el proceso, hasta alcanzar una temperatura de 60°C. (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidades usada para el tratamiento de la cáscara de banano.

Material	Cantidad
Cáscara de banano	100.gr
Agua destilada (para el lavado)	20 litros
Metasulfito de sodio	2.04 gr
Muestra en polvo (cáscaras de banano)	50 gr
Glicerina (100% puro)	50
Vinagre (100%)	50
Agua destilada	50
Temperatura de secado (última etapa)	60°C

Fuente: López

Elaboración: Ericka Poma

Segundo proceso: se empleó cáscara de banano fresca, los cuales se depositaron y mezclaron en un vaso precipitación de 800 ml con agua destilada y $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ durante media hora en ebullición, para evitar el pardeamiento enzimático. Posteriormente se secaron las cáscaras por 30 minutos, para luego hacer una pasta con ellas en un triturador. Se tomó la pasta acuosa resultante y se mezclaron con ácido clorhídrico (HCl) 0,1 M, glicerol e hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M. Una vez mezclados todos los ingredientes se depositaron en una caja petri y se introdujo al horno por 30 minutos (Tabla 3).

Tabla 3. Cantidades utilizadas en el tratamiento de la cáscara de banano.

Material	Cantidad
Agua destilada	400ml
Metasulfito de sodio	2.0481gr
Muestra triturada (pasta acuosa)	25 ml
Ácido clorhídrico (HCl)	3ml
Glicerol (100%puro)	2ml

Hidróxido de sodio	3ml
Temperatura de la estufa	103°C

Fuente: López.

Elaboración: Ericka Poma

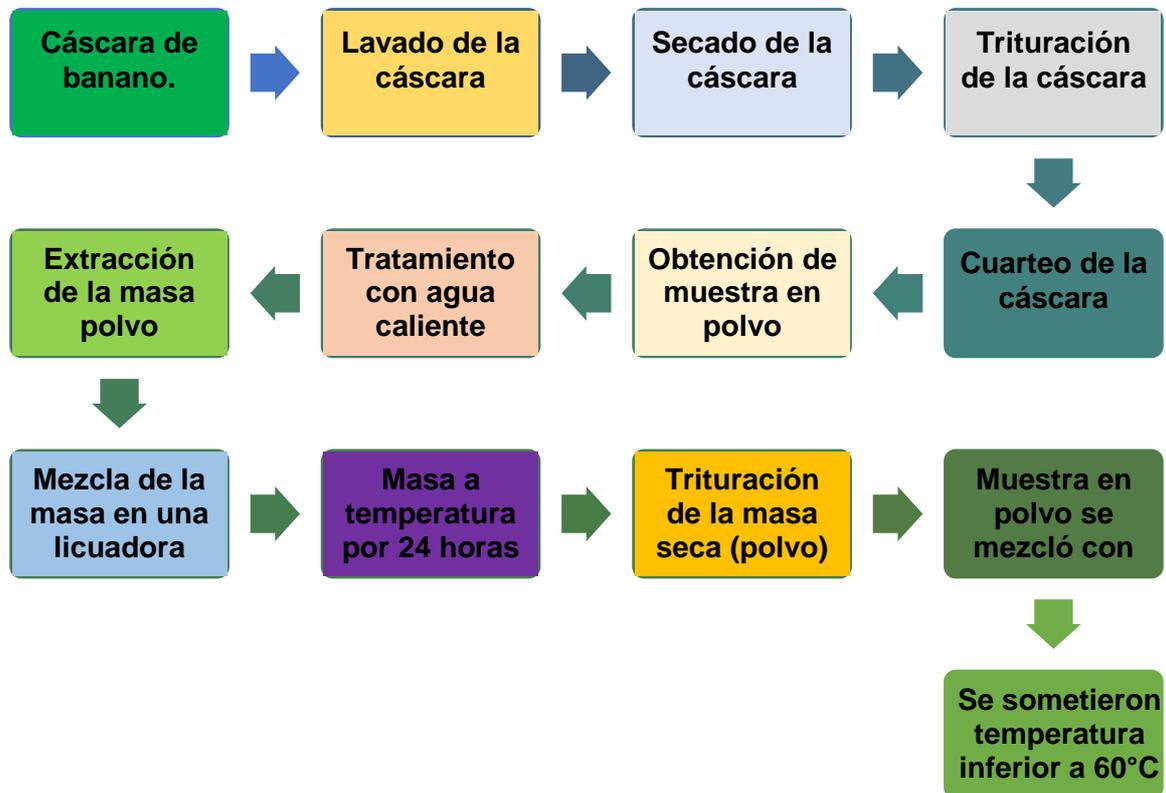


Diagrama 1. Tratamiento de la cáscara de banano seca.

Fuente: Ruth Castillo.

Elaboración: Ericka Poma

Segundo protocolo: empleado por Castillo et al., 2015 nos presenta dos procesos:

Primer proceso: Se utilizó cáscara de banano fresco (maduro), la misma que fue debidamente tratada, es decir, lavada para retirar cualquier tipo de contaminante, una vez lavada fue colocada en agua destilada con una solución para evitar el pardiamiento (metasulfito de sodio) con el fin de evitar la oxidación enzimática, se la puso a temperatura en una plancha hasta alcanzar punto ebullición. Se extrajeron las cáscaras de banano hervido y se las dejó secar por 30 minutos, para luego ser trituradas con la ayuda de una licuadora hasta alcanzar la obtención de una pasta.

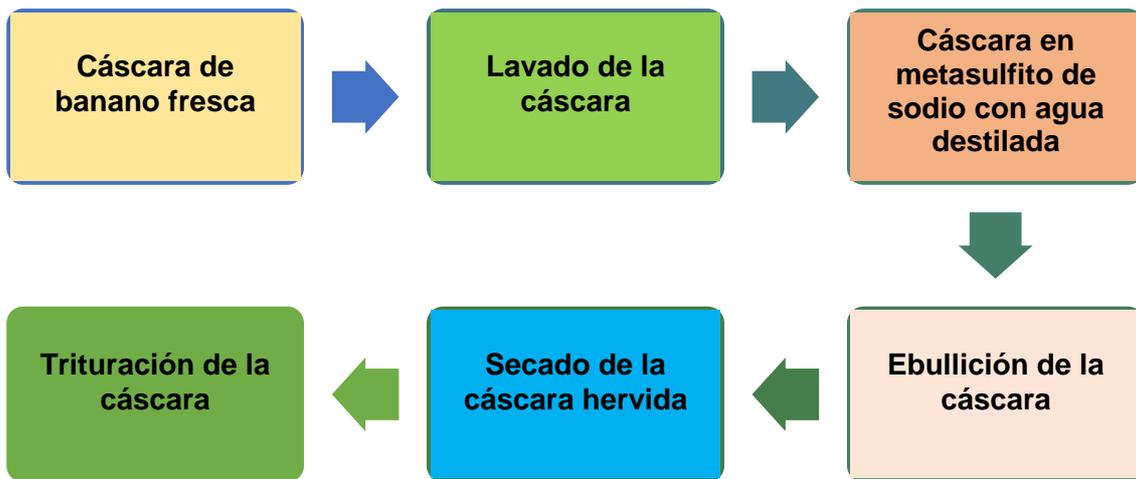


Diagrama 2. Tratamiento con cáscara de banano fresca.

Fuente: Ruth Castillo.

Elaboración: Ericka Poma

Segundo proceso: Se utilizó la cáscara de banano maduro al cual se lo lavo para retirar los residuos externos, una vez lavados se procedió a retirar las cáscaras de banano del fruto, de ellas se procedió a raspar el endocarpio de la cáscara al cual se lo coloco en agua destilada con metasulfito de sodio esta se procedió a dejar en la estufa para su secado por 24 horas, con el residuo restante de la cáscara se procedió a licuar con agua destilada y metasulfito de sodio y se colocó para su secado en una estufa. Una vez seca se procedió a su trituración hasta obtener una masa en polvo la cual fue tamizada para obtener una muestra homogénea.

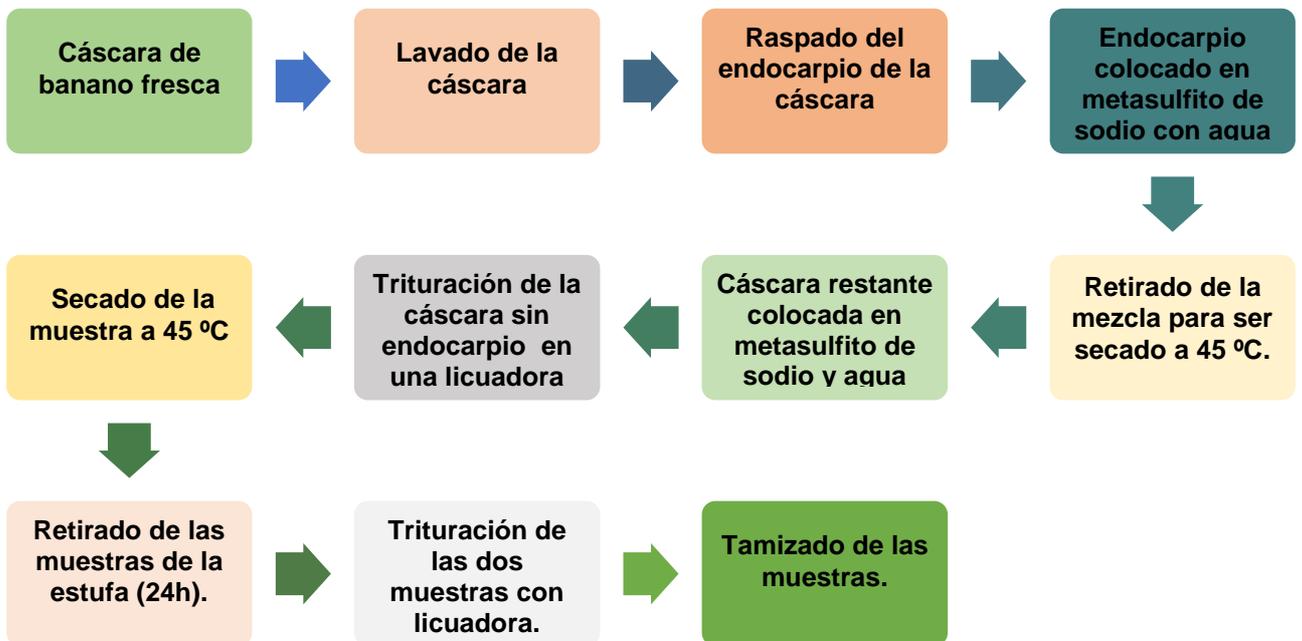


Diagrama 3. Tratamiento de la cáscara de banano con y sin endocarpio.

Fuente: Ruth Castillo.

Elaboración: Ericka Poma

Obtención del biopolímero

Por cada muestra en polvo (cáscara de banano completa, cáscara de banano sin endocarpio y endocarpio) se agregó agua destilada, vinagre y glicerina. La muestra debe ser debidamente mezclada y homogeneizada, se la colocó en una estufa a temperatura y agitación hasta alcanzar obtener una pasta acuosa espesa, esta pasta así obtenida se dispersó sobre una caja petri y se dejó en la estufa hasta su secado por 24 horas (Tabla 4).

Tabla 4. Contenidos de los componentes utilizadas para la elaboración del biopolímero.

Material	Cantidad
Masa en polvo	10 gr
Agua destilada	60 ml
Vinagre (100%)	5ml
Glicerina (100% puro)	5ml

Fuente: Ruth Castillo.

Elaboración: Ericka Poma

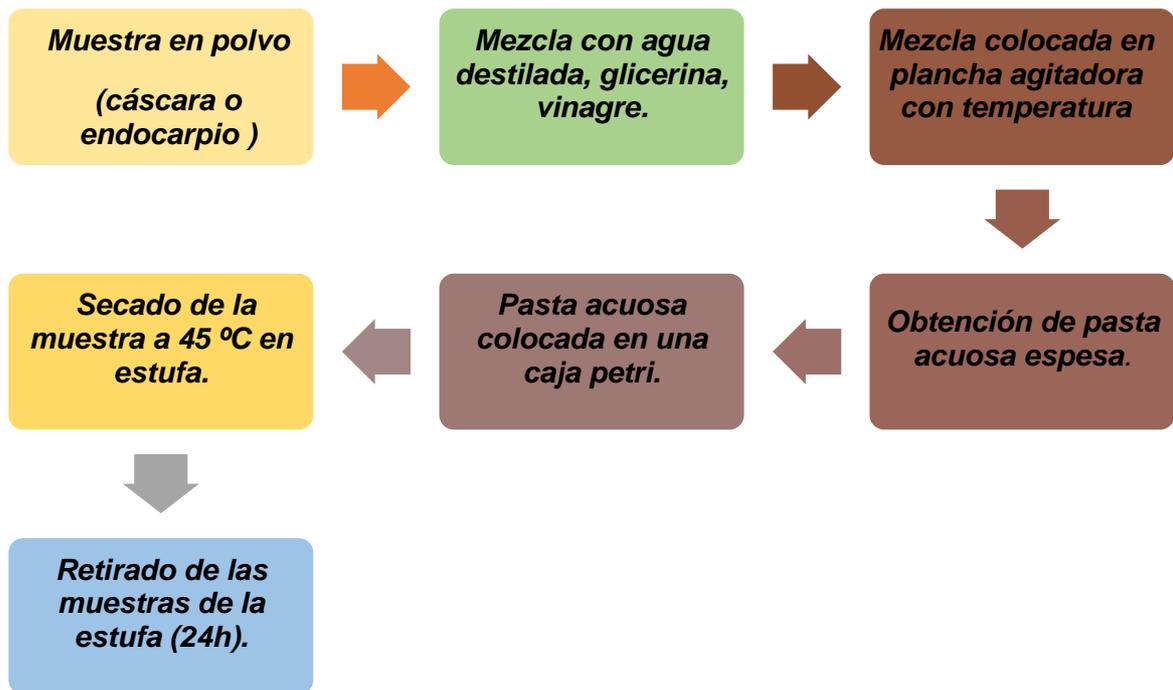


Diagrama 4. Obtención del biopolímero.

Fuente: Ruth Castillo.

Elaboración: Ericka Poma

Para el trabajo con banano verde en obtención de almidón se utilizó la metodología de (Cabrera M, Madrigal A, & Vásquez G, 2007).

Se utilizó banano verde el cual fue previamente lavado, su cáscara fue retirada y puesta en agua destilada con metasulfito de sodio para evitar la oxidación de la misma, esta muestra se licuo hasta alcanzar una trituración de la corteza para luego ser tamizada y lavada 3 veces, los residuos de agua fueron recogidos en vasos de precipitación, los cuales se dejaron en reposo por dos días hasta obtener el almidón. Para la obtención del biopolímero se utilizó el mismo procedimiento y cantidades que se encuentran en la tabla 4.

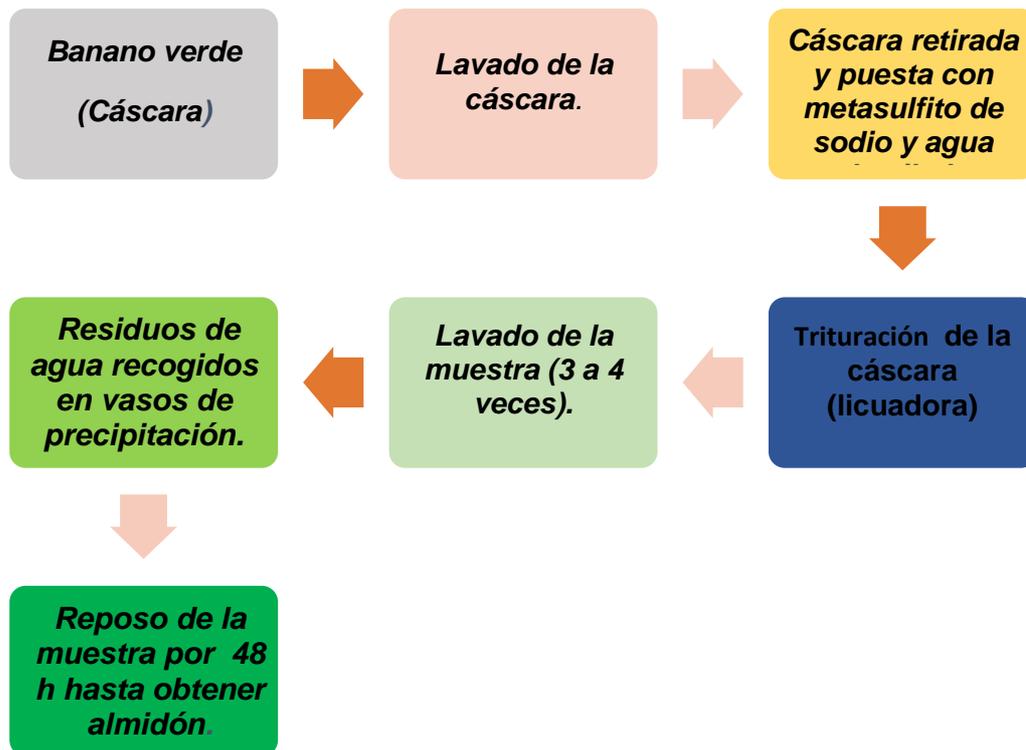


Diagrama 5. Tratamiento de la cáscara de banano verde.

Fuente: Cabrera

Elaboración: Ericka Poma

2.5. Caracterización física y química de los biopolímeros.

Una vez obtenidos los biopolímeros con la cáscara de banano se procedió a ser pruebas, tanto físicas como químicas, con los mejores biopolímeros obtenidos tanto de cáscara de banano con endocarpio, sin endocarpio y cáscara de banano verde (almidón).

2.5.1. Pruebas ópticas

Se observó al microscopio 3 biopolímeros con el fin de observar las superficies de las mismas, se observó 1 biopolímero con cáscara de banano sin endocarpio, 1 con cáscara de banano con endocarpio, 1 biopolímero obtenido con cáscara de banano verde (almidón), además, se midió el grosor de cada membrana con la ayuda de un micrómetro.

Para las pruebas físicas de cada biopolímero se utilizará una muestra de 3 cm de largo por 1 cm de ancho (Fig2.)



Fig 2. Muestras de biopolímeros de 3cm x 1cm.

Fuente: Ericka Poma

2.5.2. Conductividad térmica.

Se utilizó una muestra de las membranas biopoliméricas obtenidos tanto de cáscara de banana sin endocarpio, cáscara completa, endocarpio y almidón, las muestras utilizadas fueron de 1cm de largo por 1cm de ancho las cuales fueron expuestas en una plancha a una temperatura de 60°C, con un Multímetro Digital se tomó medidas cada 5 segundos durante el primer minuto y cada 30 segundos durante el segundo minuto (Fig. 3).



Fig. 3 a) Plancha a temperatura 60 °C. b) Multímetro digital a 23 °C.

Fuente: Ericka Poma

2.5.3. Pruebas de absorción de luz.

Para las pruebas de absorción se utilizó una membrana biopoliméricas tanto de almidón de banana verde, cáscara completa, endocarpio y cáscara sin endocarpio, se

midió la absorción óptica en un rango de 190-1020nm utilizando un espectrofotómetro THORLABS por 2 minutos.

2.5.4. Pruebas químicas.

Para las pruebas químicas se utilizó los siguientes reactivos: acetona, acetato de etilo, cloroformo, agua, hexano, ácido acético, ácido clorhídrico y en dimetilsulfoxido, se utilizó 2 ml de cada reactivo y se colocó una muestra de 2 mm largo por 2 mm de ancho aproximadamente de cada biopolímero este tratamiento nos servirá para observar si existe solubilidad de la muestra. Para observar la solubilidad de los biopolímeros se volvió a utilizar los reactivos antes mencionados con el fin de observar el cambio de masa que estos tenían, es así, que se ocupó 4 ml de cada uno, se pesó 0.0500 gr de los biopolímeros esto se pondrá en un tubo de ensayo durante 24 horas, luego se retirara se secara con papel absorbente la superficie del biopolímero para posteriormente volver a pesar y dejar nuevamente con 4ml de reactivos durante 24 horas más. Para los análisis se utilizara la siguiente formula expresada en mg; $a=m_2-m_1$.

En donde **a** = representara la absorción del reactivo, **m₁** = masa del biopolímero antes de la inmersión y **m₂** = masa del biopolímero después de la inmersión al reactivo.

2.6 Tratamiento de la muestra de tierra.

Las muestras de tierra de los dos sitios de estudio se les realizara una prueba en el difractometro de rayos X con el cual sabremos que minerales hay en las muestras. Se tomó una pequeña muestra de tierra que fue colocada a la estufa de 10 a 15 minutos para obtener una muestra completamente seca, una vez seca se retiró y se procedió a triturar en un mortero hasta obtener una muestra con partículas finas, una vez triturada se la coloco en un porta muestras y se procedió a colocar en el difractometro de rayos x por dos horas. Para quitar los residuos de materia orgánica se colocó la muestra de tierra en la mufla a una temperatura de 600°C por 30 minutos, pasado este tiempo se retiró y se dejó enfriar de 15 a 20 minutos, luego se colocó la muestra en un porta muestra para colocarla en el difractometro de rayos x (Fig4).



Fig 4. Tratamiento de las muestras de tierra Cañar y Machala.

Fuente: Ericka Poma

CAPÍTULO III
RESULTADOS

En el siguiente apartado evidenciaremos los resultados de todas las metodologías utilizadas, además los resultados de las pruebas a las que fueron sometidos los biopolímeros obtenidos.

3.1 Biopolímeros obtenidos a partir de las metodologías utilizadas.

Se han realizado varios ensayos con respecto todos los protocolos presentados para la extracción de los biopolímeros de la cáscara de banano verde y maduro.

Los resultados obtenidos con los ensayos realizados con el protocolo de López et, 2015 son los siguientes:

Para el tratamiento con la cáscara de banano seca se realizaron 6 ensayos, de los cuales se obtuvo material sólido sin consistencia, con un color negro de fácil fragilidad, su grosor fue de 1 mm aproximadamente, con un largo de 2 mm para los trozos más grandes y de 1 mm para los trozos más pequeños (Fig. 5).

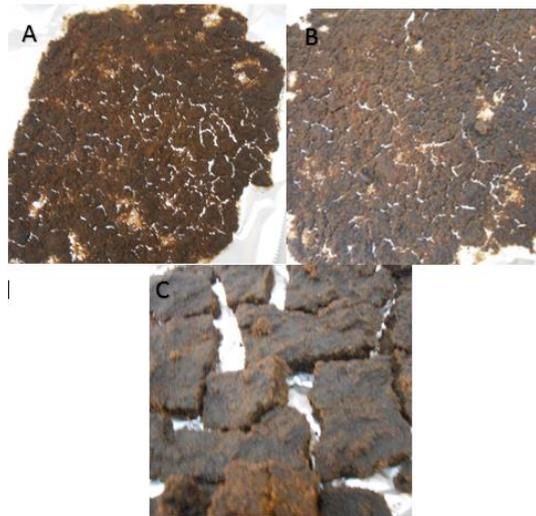


Fig. 5 Extracción del biopolímero con cáscara de banano seco:

A) Primer ensayo B) segundo ensayo C) tercer ensayo.

Fuente: Ericka Poma.

Cada ensayo realizado varió en cantidad de agua, materia prima, vinagre y glicerina (Tabla 5).

Tabla 5. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero.

Cáscara de banano seca					
material y cantidades					
	Cáscara de banano en polvo	Vinagre	Glicerina	Agua destilada	Temperatura
Ensayo 1	75 gr	50 ml	50 ml	50 ml	60 °C
Ensayo 2	75 gr	45 ml	45 ml	45 ml	60 °C
Ensayo 3	60 gr	35 ml	35 ml	35 ml	60 °C
Ensayo 4	60 gr	30ml	30ml	30ml	60 °C
Ensayo 5	40 gr	25 ml	25 ml	25 ml	60 °C
Ensayo 6	40 gr	20 ml	20 ml	20 ml	60 °C

Elaboración y fuente: Ericka Poma

Con cáscara de banano fresca de los 6 ensayos realizados se obtuvieron masas sin consistencia de color amarillento (Fig. 6). Los requerimientos utilizados también fueron diferentes para cada ensayo (Tabla 6).



Fig 6. Biopolímero con cáscara de banano fresca

Fuente: Ericka Poma

Tabla 6. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero.

Cáscara de banano fresca					
material y cantidades					
	Cáscara de banano en polvo	HCl	Glicerina	Na OH	Temperatura
Ensayo 1	25 gr	2 ml	3 ml	3 ml	103 °C
Ensayo 2	20 gr	1 ml	1.5 ml	1.5 ml	103 °C
Ensayo 3	15 gr	0.5 ml	1 ml	1 ml	103 °C
Ensayo 4	15 gr	2 ml	3 ml	3 ml	103 °C
Ensayo 5	10 gr	1 ml	1.5 ml	1.5 ml	103 °C
Ensayo 6	10 gr	2 ml	3 ml	1.5 ml	103 °C

Fuente: Ericka Poma

Los resultados obtenidos a partir del protocolo de Castillo et al., 2015 son:

Para el tratamiento con muestra de endocarpio de la cáscara de banano maduro se realizaron 6 ensayos cada uno de ellos se los realizó bajo diferentes requerimientos. Así se cambió concentración de masa, volumen de agua, glicerina, vinagre, tiempo de agitación (Tabla 7.) En cuanto a la temperatura de la estufa esta fue constante para cada ensayo. Se obtuvieron membranas no transparentes de color amarillo, con una textura firme, sus membranas son finas de 1 mm de ancho, el mejor biopolímero obtenido con el endocarpio de la cáscara de banano es del ensayo 6 los requerimientos utilizados dieron mejores resultados en cuanto a las condiciones de temperatura, agitación que en los demás ensayos (Fig. 7).

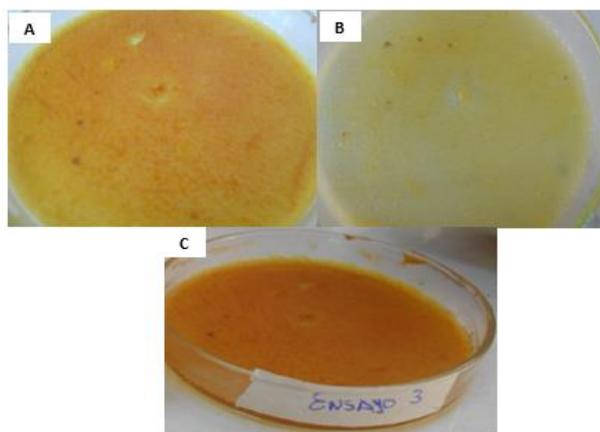


Fig. 7 Biopolímero con endocarpio de banana fresca tres ensayos A, B Y C.

Fuente: Ericka Poma.

Tabla 7. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero con cáscara de banana fresca.

Cáscara de banana fresca(sin endocarpio)				
Materiales/ cantidades				
	Gramos de muestra	Agua	Glicerina	Vinagre
Ensayo 1	10	60 ml	5 ml	5ml
Ensayo 2	9	40 ml	5 ml	5ml
Ensayo 3	4	25 ml	2 ml	8ml
Ensayo 4	2	15ml	3ml	3ml
Ensayo 5	2	20 ml	5 ml	5ml
Ensayo 6	2	20 ml	3 ml	3ml
Segunda parte del proceso				
	Temperatura (plancha agitadora)	Agitación	Temperatura (de secado en la estufa)	
Ensayo 1	100	800	45°C	
Ensayo 2	150	900	45°C	
Ensayo 3	150	200	45°C	

Ensayo 4	170°C	100	45°C
Ensayo 5	250°C	600	45°C
Ensayo 6	150 °C	250	45°C

Fuente y elaboración: Ericka Poma.

Para el trabajo con cáscara de banana sin endocarpio se realizó 6 ensayos de los cuales se obtuvieron membranas resistentes con mayor contextura. (Fig 8). Las condiciones cambiaron para cada uno de los ensayos lo cual influencio en los resultados obtenidos, los ensayos 1, 2, 4,5 y 6 las membranas obtenidas no presentaban buen aspecto y su contextura era inconsistente, el biopolímero que tenía mejor aspecto, contextura y firmeza fue el realizado en el ensayo 3, deduciendo que los requerimientos en cuanto agitación y temperatura fueron los adecuados para la obtención de la membrana con endocarpio de cáscara de banana. (Tabla 8)

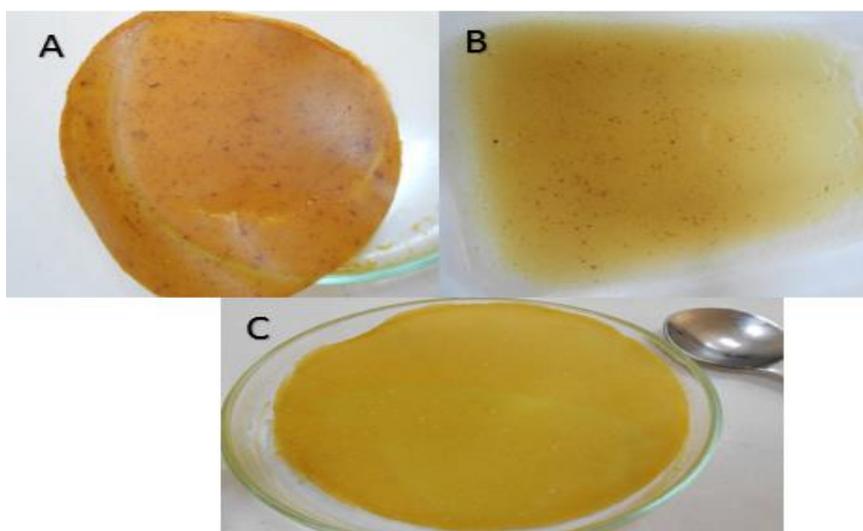


Fig. 8 Extracción del polímero con cáscara de banana fresco endocarpio y cáscara sin endocarpio: A) primer ensayo B) segundo ensayo C) tercer ensayo.
Fuente: Ericka Poma

Tabla 8. Cantidades específicas de los componentes de la mezcla para la elaboración del biopolímero cascara de banano fresca endocarpio.

Cáscara de banano fresca(endocarpio)				
Materiales/ cantidades				
	Gramos de muestra	Agua	Glicerina	Vinagre
Ensayo 1	1	10ml	3ml	3ml
Ensayo 2	5	20ml	2.5ml	2.5ml
Ensayo 3	2	20ml	5ml	5ml
Ensayo 4	4	30ml	1.5ml	2.5
Ensayo 5	3	30ml	2.5ml	2.5ml
Ensayo 6	3	40ml	2ml	3ml
Segunda parte del proceso				
	Temperatura (plancha agitadora)	Agitación	Temperatura (secado en la estufa)	
Ensayo 1	150°C	200	45°C	
Ensayo 2	300°C	800	45°C	
Ensayo 3	150°C	650	45°C	
Ensayo 4	200°C	900	45°C	
Ensayo 5	250°C	600	45°C	
Ensayo 6	250°C	11	45°C	

Fuente y elaboración: Ericka Poma.

En cuanto al trabajo con cáscara de banana verde con la extracción del almidón se realizaron 3 ensayos de los cuales se obtuvieron membranas de color transparente, consistentes y muy finas de aproximadamente 1 mm de ancho (Fig 9). El biopolímero con mejores características fue el ensayo 1 los requerimientos utilizados en cuanto a temperatura, agitación, glicerina y vinagre son los adecuados para obtener una membrana mejor caracterizada en cuánto aspecto, color y firmeza (Tabla 9).

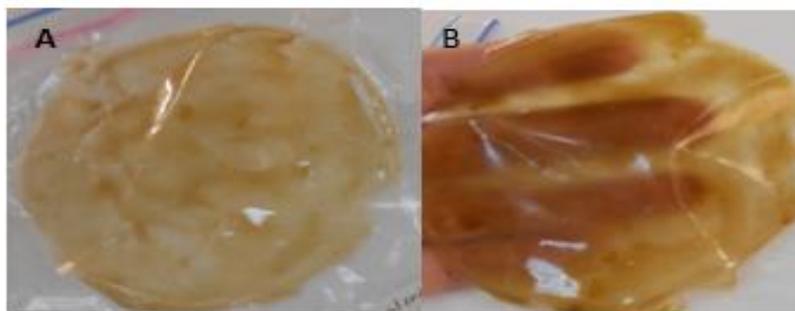


Fig. 9 Biopolímeros de almidón extraído de la cáscara de banano verde A y B.
Fuente: Ericka Poma

Tabla 9. Requerimientos para la obtención de biopolímero a partir de almidón (cáscara de banano verde).

Banano verde (almidón)				
Materiales/ cantidades				
	Almidón	Glicerina	Vinagre	Agua
Ensayo 1	1.3016	1ml	1ml	10ml
Ensayo 2	2.0065	2ml	2ml	15ml
Ensayo 3	1.5013	2ml	2ml	10ml
Segunda parte del proceso				
	Temperatura (plancha agitadora)	Agitación	Temperatura (de secado en la estufa)	
Ensayo 1	150	200	60°C	
Ensayo 2	200	500	45°C	
Ensayo 3	250	800	45°C	

Fuente y elaboración: Ericka Poma.

3.2 Caracterización química.

Los biopolímeros obtenidos fueron expuestos a reactivos químicos para observar su solubilidad, se colocó 2 ml de acetona, acetato de etilo, cloroformo, agua, hexano, ácido acético, ácido clorhídrico y dimetilsulfoxido. Se observó que los biopolímeros expuestos en ácido clorhídrico tuvieron una solubilidad inmediata siendo el único reactivo que solubilizo los biopolímeros sin embargo para los demás reactivos no se observó ninguna reacción de solubilidad (Fig. 10).



Fig 10. Biopolímeros con reactivos.
Fuente: Ericka Poma.

3.2.1. Resultados de solubilidad.

Tabla 10. Determinación de la absorción de reactivos con las membranas biopoliméricas.

PRUEBA DE SOLUBILIDAD					
HEXANO					
	Endocarpio de la cáscara de banano	Cáscara completa de banano	Cáscara sin endocarpio	Banano verde almidón	tiempo
Peso I/Normal	0.0541	0.0529	0.0524	0.0532	0
Peso II/ 4ml	0.0522	0.0500	0.0566	0.0562	24h
Total	-0.0019	-0.0029	0.0042	0.003	
ACETATO DE ETILO					
Peso I/normal	0.0504	0.0527	0.0511	0.0504	0
Peso II/ 4ml	0.0375	0.0392	0.0394	0.0349	24h
Total	-0.0129	-0.0135	-0.0117	-0.0155	
ÁCIDO CLORHÍDRICO					
Peso I/normal	0.0551	0.0562	0.0560	0.0528	0
Peso II/ 4ml	0.0403	0.0321	0.0213	0.0321	24h

Total	-0.0148	-0.0241	-0.0347	-0.0207	
ETANOL					
Peso I/normal	0.0521	0.0525	0.0532	0.0542	0
Peso II/ 4ml	0.0532	0.0545	0.0555	0.0546	24h
Total	0.0011	0.002	0.0023	0.0004	

Fuente y elaboración: Ericka Poma

Los resultados en las pruebas realizadas para la absorción de reactivos son: en hexano, el biopolímero de cáscara de banano sin endocarpio tiene mayor absorción con 0.0042 y se observa una pérdida de masa en el biopolímero de cáscara completa con -0.0029. En cuanto los biopolímeros expuestos a acetato de etilo tuvieron pérdida de masa en el disolvente, pero los biopolímeros que obtuvieron mayor pérdida fueron: el biopolímero de cáscara sin endocarpio con -0.0117 y el biopolímero obtenido de almidón con -0.0155. En el caso de ácido clorhídrico los biopolímeros presentaron alta pérdida de masa debido a que este reactivo es un ácido muy fuerte y los polímeros con mayor pérdida fueron: biopolímero de endocarpio y de cáscara sin endocarpio siendo sus valores de -0.0148 y -0.0347. Sin embargo para el etanol los biopolímeros mostraron absorción y no pérdida de masa en el mismo, siendo el biopolímero de cáscara sin endocarpio y el de almidón los que obtuvieron mayor absorción con 0.0023 y 0.0004 (Tabla 10).

3.3 Caracterización óptica.

Cada biopolímero presenta una estructura diferente en la Fig. (a) el biopolímero presenta sus paredes más gruesas de 2 mm y algo rugosas de un color marrón, Fig. (b) presenta una contextura más lisa y su membrana más fina de aproximadamente 0,3 milímetros un color amarillento, Fig. (c) presenta una pared más transparente con presencia de burbujas de agua, su membrana es más fina de 0,1 milímetros.

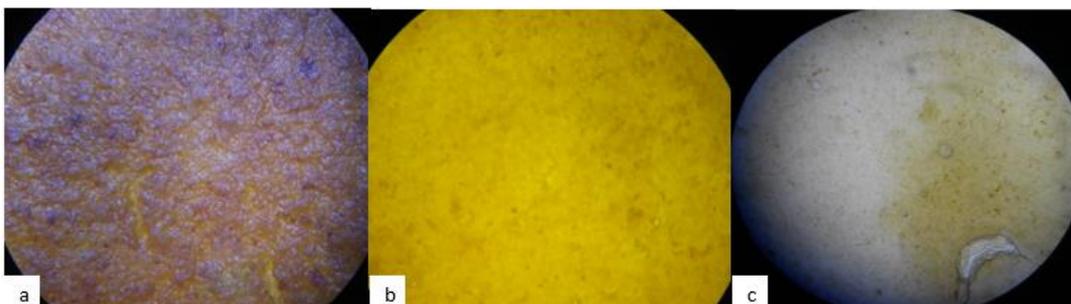


Fig 11. Superficie de los biopolímeros: a) Biopolímero con endocarpio, b) Biopolímero con cáscara de banano sin endocarpio, c) Biopolímero con almidón (banano verde) y d) Biopolímero con cáscara de banano completa.

Fuente: Ericka Poma.

3.4 Conductividad térmica

Tabla 11. Conductividad térmica de los biopolímeros durante dos minutos.

	Cáscara de banano sin endocarpio	Cáscara completa	Endocarpio	Banano verde almidón
Medida	0.8 mm	1.7 mm	2.3 mm	0.6 mm
Temperatura 0	23 °C			
Cambios de temperatura a 60°C				
Primer minuto				
05 segundos	24 °C	28 °C	29 °C	33 °C
10 segundos	28 °C	30 °C	29 °C	38 °C
15 segundos	36 °C	30 °C	29 °C	40 °C
20 segundos	43 °C	32 °C	30 °C	43 °C
25 segundos	46 °C	35 °C	30 °C	46 °C
30 segundos	48 °C	38 °C	30 °C	48 °C
35 segundos	49 °C	40 °C	31 °C	49 °C
40 segundos	51 °C	42 °C	31 °C	49 °C
45 segundos	52 °C	44 °C	32 °C	49 °C
50 segundos	53 °C	45 °C	32 °C	49 °C
55 segundos	53 °C	46 °C	33 °C	50 °C
60 segundos	54 °C	47 °C	33 °C	51 °C
Segundo minuto				
30 segundos	55 °C	50 °C	35 °C	53 °C
60 segundos	55 °C	51 °C	36 °C	55 °C

Fuente y elaboración: Ericka Poma

Se evidenció que los biopolímeros con mayor conductividad térmica fueron el de cáscara de banano sin endocarpio y el biopolímero a partir de banano verde (almidón), esto debido a que los cambios en la temperatura van incrementándose de manera rápida durante cada 5 segundos, durante el primer minuto, Para el segundo minuto en

los dos casos la temperatura comienza hacer estable (Fig. 12). Los que presentaron menor conductividad térmica son los biopolímeros a partir de endocarpio y cáscara completa ya que la temperatura no se incrementa rápidamente durante el primer minuto, cabe recalcar que en el segundo minuto la membrana biopolimérica obtenida con cáscara completa su temperatura sigue siendo baja, en comparación con los demás biopolímeros (Tabla 11).

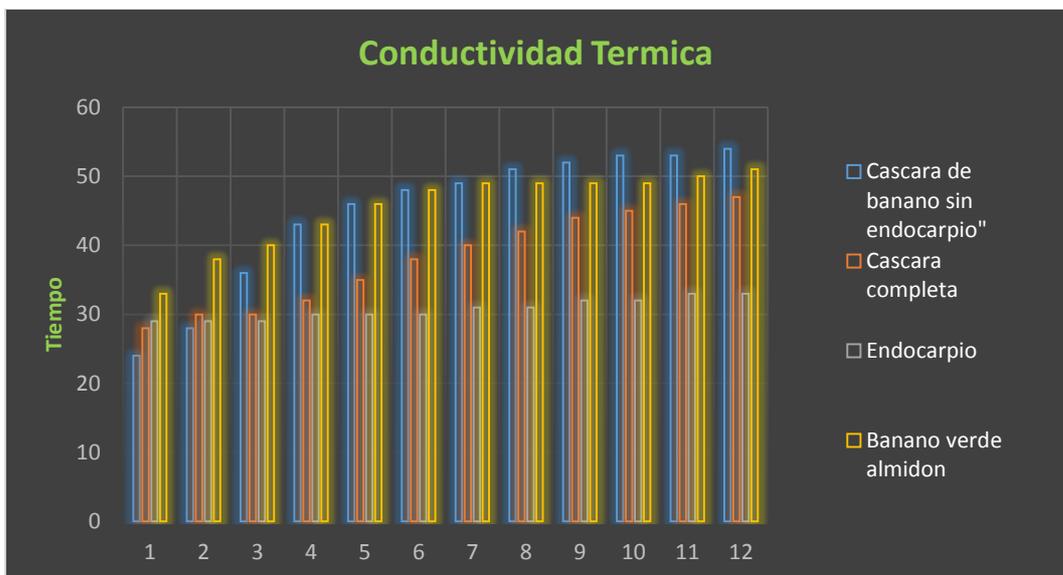


Fig. 12 Conductividad térmica de los biopolímeros durante un minuto.

Elaboración: Erika Poma

3.5 Absorción de la luz de un biopolímero

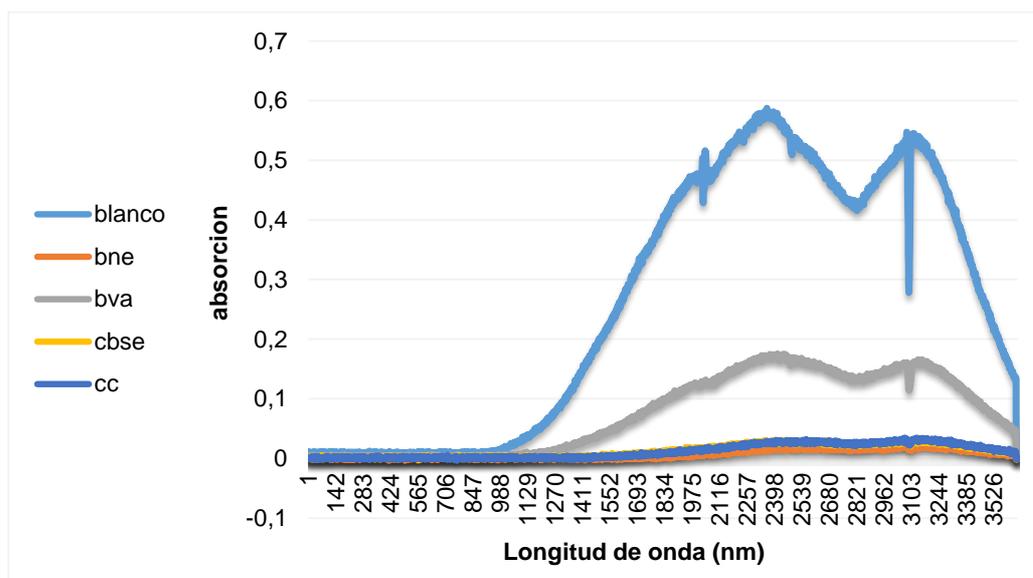


Fig. 13 Absorción de la luz de las membranas biopoliméricas.

Elaboración: Erika Poma

Para obtener resultados de absorción de luz se trabajó con un blanco del cual se tomó el pico más alto como punto de referencia que será nuestro 100% de absorción este pico nos da un valor de 0.55, así tenemos que el biopolímero que presenta mayor absorción de luz es el biopolímero a partir de almidón 29.09, el biopolímero de cáscara completa su absorción de luz es 3.63 siendo más pequeña y para los biopolímeros a partir de endocarpio y cáscara sin endocarpio su absorción de luz es más baja con un 1.81 .

3.6 Análisis de las muestras de suelo.

La muestra de suelo de la región sierra Cañar- La Troncal su composición en cuanto minerales que se encuentran en mayores cantidades son el Óxido de silicio, seguido por óxidos de aluminio y óxidos de hierro y en menores concentraciones óxido de cobre y óxido de vanadio (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de fluorescencia de rayos X de suelo La Troncal- Cañar.

Elementos	%
MgO	2.43
Al ₂ O ₃	17.40
SiO ₂	60.00
P ₂ O ₅	0.55
S	0.16
K ₂ O	1.41
CaO	2.95
TiCl	0.08
V ₂ O ₅	0.03
Cr ₂ O ₃	0.06
MnO	0.18
Fe ₂ O ₃	8.11
Co ₃ O ₄	0.09
Cu ₀	0.02
ZnO	0.02
Co ₃ O ₄	0.09
CuCl	0.02

ZnCl	0.02
Sr	0.03
ZrCl ₂	0.02
SnCl ₂	0.06

Fuente y elaboración: Ericka Poma

Los minerales que se encuentran presentes en el suelo son: cuarzo que son óxidos de silicio presentes en un 56,35 % (SiO₂), anortita este mineral es un compuesto de aluminio silicato de calcio y se encuentra en un 17,37 %, montmorillonita es un mineral del grupo de silicatos que se encuentra en un 2.19 % y illita que son fililosilicato o aluminosilicato este se encuentra en un 24.09 (Fig. 14).

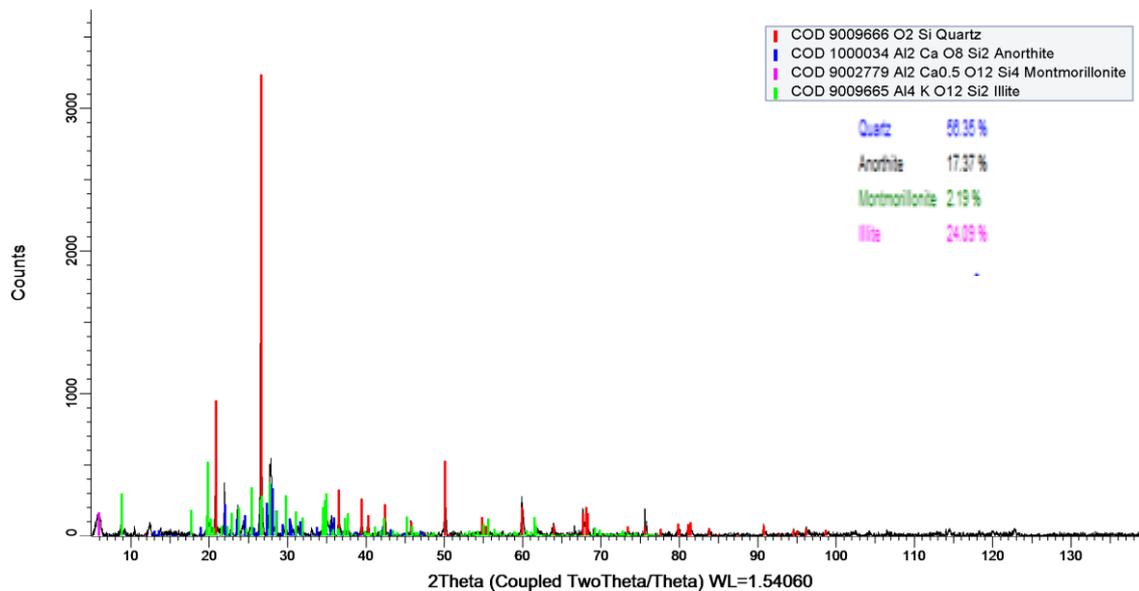


Fig 14. Minerales presentes en el suelo La Troncal – Cañar.

Elaboración: Ericka Poma

3.7. Discusión

Este trabajo tuvo como objetivo extraer un biopolímero a partir de la cáscara de banano, determinar las condiciones idóneas para la obtención del mismo y evaluar características físicas, químicas y mecánicas, así se desarrolló la metodología para la fabricación del biopolímero a partir de todo el material contenido en las cáscaras de banano, los ensayos realizados con las muestras obtenidas de la costa y sierra no presentaron cambio alguno, es decir, que el cambio de sitio no afecta la obtención del

producto final. Los requerimientos de agua, glicerina y vinagre utilizados cambiaron conforme los requerimientos dándonos diversos resultados con lo que podemos evidenciar que la cantidad de materia utilizada siempre tendrá que ser proporcional a los requerimientos de vinagre, glicerina y agua de esto dependerá que se obtengan un biopolímero, esto concuerda con lo expuesto por (Valarezo, 2012), en su trabajo con almidón, explica que se debe tener en cuenta los requerimientos de agua debido a que no se debe tener cantidades excesivas, debido a que su extracción requeriría de temperaturas elevadas dañando las moléculas presentes en la estructura del biopolímero, sobretodo le daría un carácter muy rígido y frágil, en cuanto a la glicerina se recomienda la adición de la misma a la mezcla, ya que es otro agente plastificante que le brinda al producto final características elásticas permitiendo su maleabilidad, en efecto, con las concentraciones utilizadas en cada ensayo se denoto cambios unos presentaron mejor aspecto y textura, pero se logró obtener las cantidades apropiadas para la obtención del biopolímero en el trabajo realizado.

En cuanto al biopolímero obtenido con almidón se observan mejores resultados ya que se obtienen membranas transparentes, con mayor flexibilidad, esto concuerda con el trabajo realizado (García, 2015), quienes en su trabajo con almidón de maíz obtuvieron un biopolímero con buenas características ya que exponen que la composición que presenta las moléculas de almidón son fáciles de modificar y las propiedades de la misma permiten obtener polímeros más estables, debido a su propiedad biodegradable, así como a la diversidad de propiedades que se pueden presentar según su modificación. Sin embargo, nuestros resultados muestran mayor homogeneidad en la calidad del polímero. En cuanto a la absorción estará influenciada mayoritariamente por la transparencia y grosor de la membrana cuando un biopolímero presenta paredes gruesas y un color oscuro la absorción de la luz en sus membranas será menor, un biopolímero con membranas más transparentes y delgadas la luz es absorbida con mayor facilidad. Según González, n.d. en su trabajo de propiedades físicas y químicas expone que la claridad óptica y transparencia están relacionadas con la cantidad de luz que es transmitida por la muestra, y esta será tanto menor cuanto mayor sea la luz que se refleja, además que los polímeros transparentes transmiten la mayor parte de la luz y tienen poca absorción y reflexión, aquellos polímeros que son traslúcidos la luz se transmite difusamente, la luz es dispersada en el interior y en los que son opacos no permiten la transmisión de la luz, esto concuerda con los resultados obtenidos debido a que tiene mayor absorbancia de luz es el biopolímero a partir de almidón como se presenta en el grafico 1, la absorbancia de los demás biopolímeros es menor debido a que estos

presenta membranas poco translucidas y las paredes de la membrana tienen mayor grosor. Los polímeros expuestos a rayos UV no presentaron cambios. En cuanto a la solubilidad de los biopolímeros presentaron una buena resistencia en cada uno de los solventes expuestos con excepción de los biopolímeros que fueron sumergidos en ácido clorhídrico que se disolvieron en el solvente. Según Fernández, 2003 dice que la pruebas de solubilidad para biopolímeros es importante a la hora de especificar su resistencia a determinados ambientes, debido a que de esto dependerá las aplicaciones en lo que se puedan emplear. Además, realizar este tipo de prueba permite tener claro si el biopolímero obtenido está constituido por moléculas de gran tamaño, debido que si es así, la solubilidad de los polímeros es más compleja que la de los compuestos de bajo peso molecular. Con respecto a pruebas de conductividad térmica Según Díaz, 2012 los polímeros orgánicos tienden a tener poca conductividad térmica y muchos de los polímeros son usados como aislantes térmicos por tener esa función. La distribución de la temperatura dependerá del tamaño y de la forma, además de la velocidad del cambio de temperatura, esto estará directamente relacionado con la constitución química del polímero. Con los resultados obtenidos evidenciamos que con respecto a tamaño de la membrana la conductividad térmica para cada biopolímero cambia, siendo de mayor conductividad aquellos que presentaron una membrana más fina y los que poseen una membrana de mayor grosor tienen menor conductividad térmica.

Finalmente, los biopolímeros obtenidos han demostrado una durabilidad comprobada de al menos seis meses aproximadamente en condiciones ambientales normales.

3.8. Usos potenciales

Este trabajo se enfoca en la posible industrialización de materiales que sean de menor tiempo de degradación y que su contaminación hacia el medio ambiente sea menor. El biopolímero obtenido procedente de una fuente renovable podría ser aplicado con un recurso a la elaboración de materiales médicos, empaques, plásticos industriales, protectores de celulares, micas de teclado para computadoras etc.

El reemplazo de materiales elaborados a partir de fuentes petroquímicas es un reto pero que en la actualidad están tomando un fuerte impulso debido a los daños que estos causan al medio ambiente, por lo tanto, muchos investigadores se está enfocando en el uso sustentable de recursos renovables que permitan la elaboración de productos de buena calidad y que causen menores daños al medio ambiente.

CONCLUSIONES

Las condiciones para la extracción del biopolímero partir de la cáscara de banano son más idóneas cuando se utiliza cáscara de banano fresca se denota mejores resultados en cuanto a su color.

El producto final obtenido mostrara características favorables (textura, color, consistencia) si se tiene un control en los requerimientos de temperatura y agitación, ya que son dos fases importantes durante el proceso de elaboración del biopolímero.

Al obtener los biopolímeros se ha demostrado que se logra mejores membrana en cuanto a su transparencia, cuando se utiliza banano verde almidón. Se ha evidenciado que las membranas necesitan menores requerimientos de glicerina que de vinagre, debido a que el exceso de glicerina le da una contextura mantecosa a la membrana.

Siempre en la elaboración de los biopolímeros a partir de la cáscara de banano hay que tener en cuenta que los gramos de muestra utilizados están relacionados con los mililitros de glicerina y vinagre a utilizar se ha evidenciado que si estos son excesivos la membrana llegara a romperse durante el proceso de secado o tendrá aspecto mantecoso.

La elaboración de biopolímeros creados a partir de material biodegradable será a futuro un aporte ecológico y de aprovechamiento de los recursos naturales, debido a que estos no serán contaminantes para el medio ambiente como lo son los elaborados a partir de petróleo, esto será efectivo siempre y cuanto la demanda en el mercado sea mayor cada vez.

El aporte que se da en la elaboración de biopolímeros de cáscara de banano en la reducción de los residuos de las 20 mil toneladas que se producen al año, se podrían reducir 1600 toneladas del plástico proveniente de la industria petrolera, cabe recalcar que este aporte es a nivel de laboratorio, esto puede incrementar si su aporte fuese a un nivel más industrial.

RECOMENDACIONES

Para la obtención de un biopolímero a partir de cáscara de banano de buenas características se necesita utilizar material de buena calidad debido a que este será la base fundamental al momento de obtener el biopolímero.

Se recomienda siempre tener temperaturas constantes al momento de su fabricación así se obtiene una mezcla más homogénea y las características del biopolímero se mantienen.

Para mejorar el aspecto en cuanto a color, olor y textura, se sugieren hacer más investigaciones y evaluar.

Se recomienda desarrollar otras estrategias para el tratamiento de la cáscara para evitar la oxidación en este caso se utilizó meta sulfito de sodio pero se requiere una evolución de las posibles cambios que puede efectuar en la cáscara de banano.

Es importante desarrollar otro proyecto en el que por medio de técnicas más precisas, se haga la evaluación de las membranas, se realice una valoración de la obtención que servirán para su posible mejora.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, W. (2013). *Efecto del raquis floral de banano sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico conocido como "Balastro" en banano (Musa sp . AAA Gran Nain) En río frío, sarapiquí, sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fis.* Instituto Tecnológico De Costa Rica Sede Regional San Carlos.
- Asqui, K., & Jarrin, M. (2015). Producción y Comercialización de Plástico Biodegradable a partir de la Cáscara De Banano en la ciudad de Guayaquil., 1–122.
- Baridón, E., Millan, G., Cattani, V., & Mildemberg, J. (n.d.). Capacitación para el reciclado de residuos organicos.
- Bash, E. (2015). Una Mirada al banano transgénico desde la ecología política. *PhD Proposal, 1*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Betanzos, J. (2016). " Sources and uses of Bioplastics " (Fuentes y usos de polímeros bioprocedentes). Fuentes y usos de polímeros bioprocedentes, (February).
- Cabrera M, A. O., Madrigal A, L. V., & Vásquez G, J. (2007). Extracción y Caracterización Química de Almidón de Plátano y Banano de las Variedades FHIA-01, 20, 21 y 23. *IX CONGRESO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y V FORO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS*, 307–314. Retrieved from <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-44.pdf>
- Carrasquero, F. L. (2004). *Fundamentos de los Polimeros*. (B. Fontal & R. Contreras, Eds.), *VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química* (2004th ed., Vol. 1).
- Carrión, K. M. (2013). *Reutilización De Residuos De La Cáscara De Bananos (Musa Paradisiaca) Y Plátanos (Musa Sapientum) Para La Produccion De Alimentos Destinados Al Consumo Humano*. Universidad de Guayaquil.
- Castillo, R., Escobar, E., Fernàndez, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Nuñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a Base de la Cáscara del Plátano. *Journal of Undergraduate Research.*, 1–4.
- cea de Amaya, R. (n.d.). B I O P O L Í M E R O S E N ENVASES. *Celula Quimica Y Farmacia*.
- Cruz-Morfin, R., Martínez-Tenorio, R., & López-Malo, a. (2013). Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaque de alimentos. *Temas de Selección de Ingeniería de Alimentos*, 42–52.

- Díaz, F. (2012). Conformado De Plásticos. *Conformado de Materiales Plásticos*, 86.
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., & Sibaja, G. (2011). Disponible en: Evaluación preliminar de la cascara de banano maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66622603002>, XII.
- Fernández, A., & Sánchez, M. (2007). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. *UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO), Cuba.*, 98–100.
- Fernández, I. J. (2003). Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 1–14. Retrieved from <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/DIC/Fernandez.PDF>
- Figuerola, F., & Pichizaca, A. (n.d.). *Propuesta de gestión ambiental para la subcuenca alta del río Cañar, mediante la utilización SIG.*
- Garavito, J. (2007). Plásticos protocolo Curso de procesos de manufactura. *Escuela Colombiana de Ingeniería*, 29. Retrieved from http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf
- García, A. (2015). “Obtención De Un Polímero Biodegradable a Partir D E Almidón De Maíz.” ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERIA ITCA-FEPADE.
- García, M. (2014). *La política comercial de la unión Europea en la exportación del banano ecuatoriano y su efecto en la economía nacional. Periodo 2009- 2012.* Facultad de Guayaquil.
- Gómez, J. (2013). Producción Y Caracterización De Polihidroxialcanoatos, Sintetizados Por Microorganismos Nativos a Partir De Residuos Grasos. *Zhurnal Eksperimental'noi I Teoreticheskoi Fiziki*, 122. <http://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Gómez, V., León, H., Rojas, M., Contreras, S., & Andrade, J. (2014). *Comercio Exterior.*
- Gonzabay, R. (2010). Cultivo del banano en el Ecuador. *Afese*, 1(58), 113–142.
- González, M. (n.d.). Propiedades químicas y físicas de polímeros.
- Granda, D., Mejía, A., & Jiménez, G. (2005). Utilización de Residuos de Plátano para la Producción de Metabolitos Secundarios por Fermentación en Estado Solido con el Hongo *Lentinus crinitus*. *Vitae*, 12(2), 13–20.
- Hermida, B. É. (2008). Módulos materiales poliméricos: guía didáctica, 85.

- Jaramillo, G., & Zapata, L. (2008). Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia, 116. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- León, L. (2007). *Valoración del potencial de frutos de tres musáceas para la producción de alcohol a nivel de laboratorio.*
- Leòn, L., & Martínez, J. (2011). *CARACTERIZACION Y PROPUESTA TECNICA DE LA ACUICULTURA EN PARROQUIAS URBANAS DEL SECTOR MACHALA.*
- López, J., Cuarán, J., Arenas, L., & Flórez, L. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Colombiana de Investigación Agroindustrial.*, 1, 7–21.
- Maier, M. (n.d.). Polímeros Aspectos Teóricos Elementales. *Polímeros.*
- Millán, L. de J., & Ciro Velásquez, H. (2012). Caracterización mecánica y físico-química del banano tipo exportación (CAVENDISH VALERY). *Corporación Universitaria Lasallista*, 191. Retrieved from <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/136/1/10.163-192.pdf>
- Monsalve, J., Medina de Perez, V., & Ruiz, A. (2006). Ethanol production of banana shell and cassava starch. *Dyna*, 150, 21–27.
- Navarro, P., Moral, H., Gómez, L., & Mataix, B. (1995). *RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGRICULTURA* (Español). España.
- Oliva, M., & Malonda, I. (2012). Manual de buenas prácticas en gestión de residuos en Institutos de Secundaria y Formación Profesional, 59. Retrieved from http://www.vertidoscero.com/PDF/Manual_BP_Residuos_ESO_FP.pdf
- Pereira, A., & Maraschin, M. (2015). Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology*, 160, 149–163. <http://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.008>
- Pérez, J. (2010). Gestión de residuos industriales, 98.
- Ruíz, P. (2012). MANEJO DE BANANO ORGANICO.
- Sánchez, N., & Rojas, J. (n.d.). Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost.
- Tirrell, J. G., & Tirrell, D. a. (1996). Synthesis of biopolymers: Proteins, polyesters, polysaccharides and polynucleotides. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 1(3), 407–411. [http://doi.org/10.1016/S1359-0286\(96\)80033-7](http://doi.org/10.1016/S1359-0286(96)80033-7)
- Torres, S. (2012). Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del

Chira.

Valarezo, M. (2012). *Desarrollo de biolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (Manihot esculenta)*. UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA.

Valero-Valdivieso, M., Ortegon, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances Y Perspectivas. *SciELO Colômbia*, 171–180.

Van der Maarel, J. (2007). *Biopolymer Physics*. Singapore.