

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE BANANO VERDE (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*).

Carlos Humberto Iguardia Arrivillaga

Químico Farmacéutico

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE BANANO VERDE (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*).



Informe de tesis

Presentado por:

Carlos Humberto Iguardia Arrivillaga

Para optar al título de

Químico Farmacéutico

Guatemala, noviembre de 2013

DEDICATORIA

A mi abuela Dolores Carias "Mack-ita"; por tanto amor, cariño, cuidados y enseñanzas. Por estar pendiente y ayudarme en cada etapa de mi vida, hoy no estás aquí para disfrutar el fruto de tu trabajo y no lo lamento ya que ahora disfrutas de un merecido descanso. No existen palabras que expresen mi gratitud y amor hacia ti pero ten por seguro que sin ti definitivamente nada de esto hubiera sido posible. Vivirás siempre en mi mente y en mi corazón.

A mi polifacético padre Carlos Humberto Iguardia Carias; por enseñarme que se puede saber de todo un poco, es increíble la cantidad de cosas que sabes en tan diferentes áreas del conocimiento. También por enseñarme que la persona que te quiere te aporrea, esos gritos, regañones y golpes en la cabeza ten por seguro que jamás los olvidare y que los transmitiré a futuras generaciones, las cuales espero sean capaces de captar el mensaje de que "la vida es cíclica".

A mi madre Elvira Petrona Arrivillaga Pérez; por tu inmenso amor y dedicación, por ser el perfecto complemento de mi padre y enseñarme que no todo en la vida son gritos, regañones y golpes en la cabeza ya que hablando se entiende la gente. También por enseñarme el poder de una sonrisa, el buen trato hacia los demás, la perseverancia y la paciencia.

A mis primeros maestros Damaris Tobar y Luis Balderramos, por sus primeras enseñanzas, esos cantos y juegos fueron el inicio de un hermoso viaje hacia el aprendizaje.

A mis primos y modelos a seguir: Licda. Evelyn Johanna Carias Álvarez e Ingeniero Juan Manuel Figueroa Iguardia por ser mis modelos académicos, siempre los consideré mis hermanos mayores.

A mi Alma Páter El Bicentenario Colegio San José de los Infantes, por ser mi segundo hogar durante nueve años y enseñarme el sentido de pertenencia así como ser una parte fundamental en mi crecimiento intelectual y moral.

A mi Alma Máter La Tricentaria Universidad de San Carlos de Guatemala y a mi Gloriosa Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, por ser mi segundo hogar durante siete años y por seguir contribuyendo en mi crecimiento intelectual y moral. Tengan por seguro que así como llevo en mi corazón a mi Alma Páter también las llevare a ustedes.

!!! ESTE LOGRO ES TAMBIÉN DE TODOS USTEDES !!!

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por tantas bendiciones en diferentes aspectos de mi vida, se que a veces pecco de vanidoso y narcisista creyendo que yo puedo hacerlo todo sin ayuda de nadie pero yo se que sin ti nada es posible.

A mi asesora la Licenciada Aylin Evelyn Santizo Juárez y a mi revisor el Licenciado Julio Gerardo Chinchilla Vettorazzi , por animarse junto a mí a realizar tan interesante e innovador proyecto así como por apoyarme en todo momento en la realización del mismo proporcionándome las herramientas y los conocimientos necesarios para llevar este proyecto adelante. Por su paciencia, apoyo y amistad les quedo inmensamente agradecido.

Al Departamento de Análisis Aplicado, al Departamento de Farmacia Industrial y al Laboratorio de Productos Naturales (LIPRONAT), por permitirme trabajar parte de mi investigación con ustedes así como por el apoyo que siempre me brindaron, agradezco en especial a la Licenciada Hada Marieta Alvarado Beteta, al Licenciado Estuardo Serrano Vives, a la Licenciada María Nereida Marroquín Tinti, al Licenciado Max Samuel Mérida Reyes, a Sofía Marroquín Tinti, a Alejandra López Moraes ,a Laidy Maybeli Vásquez y Gerber Solórzano por su valiosa ayuda.

A Doña Carmencita y a Bryan por su valiosa colaboración en este proyecto.

Al Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) por su ayuda en el análisis de mis muestras y por compartir su conocimiento.

A mis mejores amigos y padrinos Licenciado Pablo Jonatán Hernández Galindo y Licenciada Dora Judith González Ortega por compartir conmigo todas las aventuras universitarias tanto académicas como sociales.

A mis amigos "el grupo del Éxito": Licda. Ana Karen Hernández Gómez, Licda. Andrea Carolina Calderón Martínez, Licda. Christy Amarilis Tavico Pérez, Licda. Maira Fabiola Esquite Lainfiesta, Licda. Mirna Alejandra Rocha Murillo, Lic. Osmar Kevin Morales Lainfiesta, Lic. Roberto Walter Arévalo Hernández y Licda. Ruth Noemí López Morales por su valiosa y sincera amistad.

A mis compañeros y colegas del EPS "los motosos": Iván Estuardo Roche Villagran, Licenciada Andrea Gretel Lemus Arias y Licenciada María de Guadalupe León Medrano por su amistad y colaboración, sin ustedes mi EPS no hubiera sido el mismo ya que lo colmaron de risas y buenos momentos incluso en las condiciones adversas.

ÍNDICE

I. Resumen.....	1-2
II. Introducción.....	3-4
III. Antecedentes.....	5-20
IV. Justificación.....	21
V. Objetivos.....	22
VI. Hipótesis.....	23
VII. Materiales y métodos.....	24-35
VIII. Resultados.....	36-45
IX. Discusión de resultados.....	46-57
X. Conclusiones.....	58-59
XI. Recomendaciones.....	60
XII. Referencias Bibliográficas.....	61-65
XIII. Anexos.....	66-115

I. RESUMEN

El propósito de esta investigación fue descubrir si el almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) era una materia prima adecuada para la síntesis de bioplástico y establecer las características de calidad de dicho material, para así poder proponer una alternativa para la producción de diversas variedades de insumos que podrían llegar a sustituir a los plásticos derivados del petróleo, con lo cual se podría llegar a reducir la problemática ambiental referente al manejo de materiales no degradables.

Dentro de los polímeros utilizados para la síntesis de bioplásticos se puede mencionar el almidón, un polisacárido formado por una mezcla de dos sustancias, amilosa y amilopectina. Las investigaciones en plásticos biodegradables basadas en almidón se iniciaron desde 1970 y continúan actualmente en varios laboratorios del mundo y las tecnologías que aún se siguen desarrollando están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada a las formulaciones de las películas fabricadas mediante diversos procesos. (Acosta et al. 2007)

Existen diversas fuentes de donde puede extraerse el almidón, una de esas fuentes es el banano el cual en su estado verde se compone en su mayor parte de almidón. Los esquemas de comercialización de esta fruta y las rigurosas normas de exportación nacionales han provocado la existencia de importantes volúmenes de banano que no cumplen los requisitos establecidos para su exportación, esto ha dado como resultado que una parte de la producción bananera quede sin exportarse, por lo que su aprovechamiento en la síntesis de bioplásticos podría fortalecer la economía del país, mediante la conversión de esta materia prima de relativo bajo costo en insumos accesibles y amigables con el medio ambiente. (Méndez, 2010)

El primer paso para la síntesis del bioplástico fue recolectar la materia prima, la cual se obtuvo en la central de mayoreo (CENMA). Después se procedió a realizar la extracción del almidón, obteniéndose un 24.03% de rendimiento, del cual se necesitó aislar y eliminar la enzima polifenoloxidasas que hacía que el almidón se degradara y se convirtiera en glucosa; luego de eliminar dicha enzima se procedió a la identificación del almidón mediante la prueba de lugol para posteriormente realizar la plastificación de la materia prima mediante aditivos compatibles.

Después de lograda la plastificación de las cuatro formulaciones, cada formulación fue evaluada mediante pruebas fisicoquímicas a las cuales se les realizaron análisis de varianza y test de duncan cuyos valores P fueron inferiores al nivel de significación establecido. Posteriormente se realizaron ensayos de degradabilidad y luego de analizar los resultados de dichas pruebas se eligió una formulación para que fuera caracterizada según ensayos de calidad internacionales. Haciendo un análisis de las pruebas fisicoquímicas, los ensayos de degradabilidad y los ensayos de calidad internacional se encontró que una de las formulaciones desarrolladas y caracterizadas en esta investigación proporcionó un material poco duro, medianamente maleable y flexible así como altamente degradable; características que lo convierten en un material útil para aplicaciones industriales como la fabricación de materiales de empaque, bolsas y cajas, así como para la fabricación de materiales de uso cotidiano como platos, vasos y cubiertos.

II. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales que se utilizan para la elaboración de muchos insumos necesarios para el ser humano, dentro de estos insumos se pueden mencionar los materiales de empaque utilizados tanto en la industria alimenticia como en la farmacéutica. Al momento de ser descartados estos insumos pasan a formar parte de rellenos sanitarios en los cuales constituyen una gran fuente de contaminación ya que los plásticos son materiales que se derivan de combustibles fósiles, los cuales son fuentes no renovables y cuyo uso produce emisión de gases que contaminan la atmosfera y resultan tóxicos para la vida.

Se estima que una botella de plástico perdurará durante más o menos 200 años, y que los vertederos no podrán acoger semejante cantidad de estos desechos por mucho tiempo. Aunque muchos plásticos pueden ser reciclados de un modo u otro, un reciclaje completo del plástico no es posible. Es por esto que en los últimos años alrededor del mundo se habla acerca de los bioplásticos, estos son plásticos biodegradables obtenidos a partir de polímeros que provienen de materias primas renovables. La ventaja que ofrecen estos bioplásticos es que preservan fuentes de energía no renovables (petróleo) y reducen el problema cada vez más oneroso del manejo de desechos. (Acosta et al. 2007)

Dentro de los polímeros utilizados para la síntesis de bioplásticos se puede mencionar el almidón, este es un compuesto de almacenamiento que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. Es un polisacárido sintetizado a partir del dióxido de carbono (CO_2) que toman las plantas de la atmósfera y del agua que toman del suelo, formado por una mezcla de dos sustancias; amilasa y amilopectina. Las investigaciones en plásticos biodegradables basadas en almidón se iniciaron desde 1970 y continúan actualmente en varios laboratorios del mundo. Las tecnologías que aún se siguen desarrollando, están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada a las formulaciones de las películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión soplado, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección. (Acosta et al. 2007)

Existen diversas fuentes de donde puede extraerse el almidón; una de esas fuentes es el banano el cual en su estado verde se compone en su mayor parte de almidón. Dentro de la amplia gama de productos que se cultivan en el país, las frutas tropicales son quizás uno de los más interesantes y potenciales recursos disponibles, entre ellos el banano ocupa un lugar importantísimo en la producción y exportación agrícola en Guatemala, después del café y el azúcar. Los esquemas de comercialización de la fruta y las rigurosas normas de exportación, provocan la existencia de importantes volúmenes de banano que no cumplen los requisitos establecidos, esto ha dado como resultado que una parte de la producción bananera quede sin exportarse, por lo que su aprovechamiento podría fortalecer la economía del país, mediante la conversión de esta materia prima de relativo bajo costo en insumos accesibles y amigables con el medio ambiente. (Méndez, 2010)

El propósito de esta investigación fue descubrir si el almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) era una materia prima adecuada para la síntesis de un bioplástico y establecer las características de calidad de dicho bioplástico para así poder proponer una alternativa para la producción de diversas variedades de insumos que podrían llegar a sustituir otros insumos que hayan sido elaborados de plásticos derivados del petróleo, con lo cual también se podría llegar a reducir la problemática ambiental referente al manejo de plásticos.

III. ANTECEDENTES

3.1 BIOPLÁSTICOS

Son denominados bioplásticos (BPL) los plásticos elaborados parcialmente o por completo de polímeros de materiales provenientes de fuentes renovables. Una característica fundamental de los BPL es la biodegradabilidad lo que implica degradación y destrucción por la acción de los hongos y bacterias, bajo condiciones ambientales determinadas. Como norma general, se puede considerar que un material es biodegradable en medio húmedo cuando se degrada entre 28 y 60 días ó en medio seco o en compostaje natural, en 90 días. Actualmente, los grupos de polímeros considerados como BPL son los PLA (Ácido polilácticos); el PHA (polihidroxialcanoato), almidón (y almidones complejos) y otros poliésteres sintéticos, eventualmente de origen petrolífero. (ECOEMBES, 2009).

3.2 HISTORIA DEL PLÁSTICO Y DE LOS POLÍMEROS

Un polímero es una sustancia formada por macromoléculas, moléculas que contienen una cantidad muy grande de átomos y tienen un alto peso molecular. El almidón, la celulosa, la seda y el ácido desoxirribonucleico (ADN) son ejemplos de polímeros naturales. Las primeras aplicaciones de la química de los polímeros implicaban la modificación química cuyo objetivo era mejorar las propiedades físicas de los polímeros naturales. En 1839, Charles Goodyear transformó el caucho natural cuando accidentalmente derramó una mezcla de este con azufre en un horno caliente. Este descubrimiento encaminó al proceso que Goodyear denominó vulcanización, en honor al dios romano del fuego y los volcanes. (Carey, 2006)

El vocablo plástico deriva del griego plastikos, que se traduce como moldeable. Los plásticos son materiales orgánicos, esto es, están basados en la química del carbono, los plásticos son también materiales sintéticos, productos de la industria química que convierte las materias primas en formas nuevas y radicalmente diferentes. Otra de las características que distinguen a los plásticos es que son materiales manufacturados a partir de polímeros de elevado peso molecular. Ambos términos, plásticos y polímeros, usualmente son utilizados como sinónimos

y su distinción fundamental es que un polímero puede ser sintético o natural pero un plástico siempre es de origen sintético. (Groover, 1997)

El primer plástico sintético fue una invención del químico inglés Alexander Parkes, quien en 1862 en la exposición internacional de Londres, demostró las posibilidades de uso de un nuevo material llamado parkesina que estaba formado por una mezcla de nitrato de celulosa y alcanfor.

En 1868 el estadounidense John Wesley Hyatt participó en un concurso realizado por el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander quien ofreció una recompensa de 10,000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Este sustituto fue una mezcla de nitrato de celulosa, alcanfor y alcohol etílico, este nuevo material fue llamado celuloide y además de ser usado para fabricar bolas de billar también se utilizó para elaborar películas cinematográficas, cuellos y puños de camisas impermeables, entre otros. Dentro de sus cualidades el celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico. (Hill, 1999)

La primera resina sintética fenólica fue producida por Adolph Von Baeyer en 1872 cuando descubrió que al combinar fenol y el formaldehído en presencia de hidróxido de sodio acuoso tiene lugar una reacción que policondensaba el fenol, sin embargo a partir de dicha mezcla no pudo obtener otra cosa que un material resinoso, espeso, cuya estructura no fue capaz de determinar pero cuya reacción sería fundamental para la historia del plástico en años posteriores. (Gutsche, 1978)

En 1909 el químico estadounidense de origen belga Leo Hendrik Baekeland continuó el estudio de Von Baeyer y sintetizó un polímero de interés comercial. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificarse. No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, pero era fácilmente mecanizable. Se lo bautizó con el nombre de bakelita. El alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular de la bakelita le confiere la propiedad de ser un plástico termoestable, es decir que puede moldearse apenas concluida su preparación. En otras palabras, una vez que se enfría la

baquelita no se puede volver a ablandar. Esto la diferencia de los polímeros termoplásticos, que pueden fundirse y moldearse varias veces, debido a que las cadenas pueden ser lineales o ramificadas pero no presentan entrecruzamiento.

En 1931 el químico estadounidense de origen belga Julius Arthur Nieuwland descubrió que el acetileno, un compuesto con una molécula constituida por dos átomos de carbono y dos átomos de hidrógeno, podía polimerizarse. Nieuwland también halló que si se añade un átomo de cloro a la molécula de cuatro átomos de carbono resultante de la polimerización del acetileno, la cadena resultante adquiriría algunas de las propiedades del caucho, a este polímero lo llamo neopreno. (Asimov, 2007)

En 1933 Reginald Gibson y Eric Fawcett sintetizaron en los laboratorios ICI de Londres el polietileno. Este nuevo material era una polimerización del etileno que se obtuvo aplicando una presión de aproximadamente 1400 bar y una temperatura de 170 °C en un autoclave. Las investigaciones sobre este material fueron de vital interés durante la segunda guerra mundial por parte de los ingleses y los alemanes ya que este producto encontró algunas aplicaciones militares como recubrimiento de cables coaxiales para radares. (Kachur, 2011)

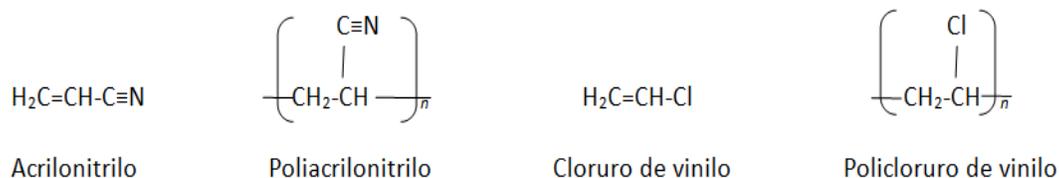
En 1937 Wallace H. Carothers en los Laboratorios DuPont en los Estados Unidos invento el Nylon 66, una poliamida que se obtenía de la mezcla de hexametildiamina en agua con cloruro de adipolío en hexano. Este nuevo material probó ser muy superior a muchas otras fibras como la seda, el lino, el algodón y la lana; utilizándose en la fabricación de cuerdas para barco, paracaídas y sobre todo para la elaboración de medias femeninas. (Martínez, 2006)

En 1938 Roy J. Plunkett estaba buscando la manera de producir cantidades de tetrafluoroetileno (TFE) suficientes como para poder utilizarlas industrialmente. Tras construir una planta piloto y obtener las cantidades necesarias pasó a realizar distintas pruebas con el TFE obtenido. Colocó el TFE en cilindros refrigerados con CO₂ sólido (nieve carbónica) en presencia de agua y con un peróxido orgánico como catalizador y así obtuvo el Teflón (PTFE) o también llamado Politetrafluoroetileno. (Sharpe, 1996)

En la década de los cuarenta varios polímeros importantes de propósito especial se desarrollaron, los silicones y los poliuretanos en 1943; las resinas epóxicas en 1947, y el copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) en 1948. Las fibras de poliéster aparecieron en 1950, y el propileno, el policarbonato y el polietileno de alta densidad en 1957. Los elastómeros termoestables se desarrollaron primero en la década de los setenta. En 1963 el alemán Karl Ziegler y el italiano Giulio Natta, dieron origen a los catalizadores Ziegler-Natta lo que les valió el premio Nobel por su aporte científico a la química. Con estos catalizadores se logró la polimerización del etileno a presión normal. La nueva tendencia apunta a la síntesis de bioplásticos, materiales orgánicos y degradables que podrían sustituir a los plásticos que utilizamos hoy en día. (Groover, 1997)

3.3 NOMENCLATURA DE LOS POLÍMEROS

La IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) tiene un sistema de nomenclatura el cual se basa en la fuente del polímero de acuerdo con los monómeros de los que se prepara. Cuando el nombre del monómero es de una sola palabra, el polímero derivado de él se genera agregando sencillamente el prefijo *poli-*. Por ejemplo, el poliacrilonitrilo y el policloruro de vinilo son los polímeros del acrilonitrilo y del cloruro de vinilo, respectivamente.



La convención para escribir las fórmulas de polímeros establece que debe encerrarse la unidad repetitiva dentro de corchetes, seguido por la letra *n* para indicar que la cantidad de unidades repetidas no se especifica. Esta nomenclatura es llamada *nomenclatura basada en la fuente*. (Carey,2006)

3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Un polímero puede clasificarse según el tipo de reacción, el crecimiento de la macromolécula, la estructura y sus propiedades. (Carey,2006)

3.4.1 Polímeros según el tipo de reacción

3.4.1.1 Polímeros de adición: Se genera una partícula reactiva (radical, anión o catión) a partir de una molécula de monómero y ésta se adiciona a otro monómero de manera repetitiva.

3.4.1.2 Polímeros por condensación: Los monómeros que reaccionan tienen un grupo funcional reactivo en cada extremo de la molécula y la unión entre los monómeros requiere la pérdida de una molécula pequeña, normalmente agua. (Maier, 2010)

3.4.2 Polímeros según el crecimiento de la macromolécula

3.4.2.1 Polímeros por crecimiento en cadena: se producen por la polimerización de una reacción en cadena en la que se adiciona un iniciador a un enlace doble carbono – carbono de un sustrato insaturado para producir un intermediario reactivo que reacciona con una segunda molécula. (McMurry, 2008)

3.4.2.2 Polímeros de crecimiento por pasos: es una reacción por crecimiento en etapas, las cadenas en crecimiento pueden reaccionar entre sí para formar cadenas aún más largas. (Besednjak, 2009)

3.4.3 Polímeros según su estructura

- 3.4.3.1 Polímeros lineales: en estos las unidades monoméricas se unen a otras formando cadenas sencillas.
- 3.4.3.2 Polímeros ramificados: polímeros cuya cadena principal está conectada lateralmente con otras cadenas secundarias.
- 3.4.3.3 Polímeros con entrelazamiento: En estos las cadenas lineales adyacentes se unen transversalmente en varias posiciones mediante enlaces covalentes. (Lucas, 2006)
- 3.4.3.4 Polímeros en escalera: polímeros cuyas moléculas están formadas por una secuencia ininterrumpida de anillos interconectados, la posibilidad de rotación de los enlaces debido a las restricciones estéricas da lugar a moléculas rígidas. (Costa, 2005)
- 3.4.3.5. Polímeros en estrella: varias cadenas de polímero están unidas a un mismo centro, que puede ser un solo átomo o un grupo químico. Se sintetiza con un indicador polifuncional o por reacción de un polímero preformado de grupos reactivos terminales con una molécula multifuncional.
- 3.4.3.6 Polímeros dendrímeros: estos polímeros están constituidos por moléculas esféricas que se sintetizan por etapas para formar capas de funcionalidad orgánica similares a las de una cebolla. Cada una de las capas sucesivas tiene un número mayor de sitios funcionales para unirse a otras moléculas. (Skoog, 2008).

3.4.4 Polímeros según sus propiedades

- 3.4.4.1 Polímeros termoplásticos: se reblandecen por efecto de la temperatura pudiéndose conformar varias veces por efecto de la presión y de la temperatura. (Lucas, 2006)
- 3.4.4.2 Polímeros termofijos: son polímeros que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remoldeados. Molecularmente hablando son polímeros entrecruzados
- 3.4.4.3 Polímeros elastómeros: son polímeros que poseen cadenas con mucha libertad de movimiento molecular. Presentan dobles enlaces a lo largo de la cadena, pero reticulados en menor extensión. (Besednjak, 2009)

3.5 ADITIVOS BÁSICOS DE UN PLÁSTICO

3.5.1 Antiestáticos

La mayoría de los polímeros, puesto que son malos conductores, acumulan carga por electricidad estática. Los agentes antiestáticos atraen la humedad del aire hacia la superficie del polímero, mejorando la conductividad superficial del mismo y reduciendo la probabilidad de chispas o descargas. (Schmid, 2002)

3.5.2 Catalizadores

La polimerización suele iniciarse añadiendo un acelerador de reacción, y dentro de la industria de los plásticos los más empleados son los peróxidos. Hay catalizadores positivos y negativos, los primeros intervienen en la primera fase de la polimerización y aceleran la reacción, los segundos se utilizan en la última fase del proceso y sirven para desacelerar la reacción concluyendo así la polimerización. (García, 2009)

3.5.3 Estabilizadores

Son materiales que se añaden para mejorar la estabilidad química de los polímeros a lo largo del tiempo y protegerlos del calor, la luz y el oxígeno. (García, 2009)

3.5.4 Pigmentos

Se usan con tamaño de partícula muy fino de modo que se consiga una dispersión lo mejor posible en el polímero. Los más frecuentes son el óxido de titanio para el color blanco, negro de humo para el negro y diferentes óxidos de hierro para colores ocres y marrones. (Beltrán, 2012)

3.5.5 Plastificantes

Su función en los materiales plásticos consiste en adaptar la flexibilidad y elasticidad a los requisitos de su utilización. Por lo general son materiales con bajo peso molecular, reducen la temperatura de transición vítrea (Tg).

3.5.6 Reforzantes

Se introducen en forma de fibras en la matriz polimérica, tanto termoendurecible como termoplástica, en proporciones que van desde el 7 al 50%. El más utilizado es la fibra de vidrio. (García, 2009)

3.5.7 Rellenos

Dependiendo de su tipo, los rellenos pueden mejorar la resistencia, la dureza, la tenacidad, la resistencia a la abrasión o la rigidez de los plásticos. Entre los materiales usados como rellenos se pueden mencionar el sílice, el carbonato de calcio y la arcilla. (Schmid, 2002)

3.5.8 Retardantes de llama

El material más útil de los que imparten retardo a la inflamación de los plásticos es el trióxido de antimonio. Los factores más importantes para reducir la inflamabilidad de los materiales parece ser: la eliminación de los combustibles volátiles, la producción de una barrera térmica y el ahogamiento de las reacciones en cadena en la llama. (Billmeyer, 1975)

3.6 MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS

3.6.1 Compresión

Este procedimiento utiliza la materia en estado de prepolímero que se coloca dentro de un molde antes de ser calentada y luego comprimida. La polimerización se efectúa entonces dentro del molde. La compresión permite fabricar objetos de tamaños pequeños y medianos.

3.6.2 Estratificación

Esta técnica consiste en impregnar con resina termoendurecible capas superpuestas de soportes como madera, papel o textiles. Estas son luego prensadas y calentadas a alta presión con el fin de provocar la polimerización. Al estar reservado a los productos termoendurecibles, este procedimiento no permite fabricar más que productos planos. (Pérez, 2008)

3.6.3 Extrusión

Al ser un procedimiento de transformación en modo continuo, la extrusión consiste en utilizar plástico con forma de polvo o granulados, introducido dentro de un cilindro calentador antes de ser empujado por un tornillo sin fin. Una vez reblandecida y comprimida, la materia pasa a través de una boquilla que va a darle la forma deseada.

3.6.4 Extrusión-Inflado

Esta técnica consiste en dilatar por medio de aire comprimido una funda anteriormente formada por extrusión.

3.6.5 Inyección

Esta técnica consiste en amasar materia ablandada mediante un tornillo que gira dentro de un cilindro calentado y luego introducir ésta bajo presión en el interior de un molde cerrado. La inyección permite obtener en una sola operación productos acabados y formas complejas.

3.6.6 Moldeo Rotacional

Este procedimiento consiste en centrifugar un polvo fino termoplástico dentro de un molde cerrado. Así, se obtienen cuerpos huecos en pequeñas series. (Pérez, 2008).

3.7 PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS

3.7.1 Mecánicas

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

3.7.2 Térmicas

Los plásticos tienen una baja conductividad térmica, y cuando un elemento sufre un calentamiento breve, puede alcanzar temperaturas de trabajo superiores a las admitidas teóricamente. Existen aditivos que mejoran la disipación térmica.

3.7.3 Eléctricas

Todos los plásticos presentan buenas propiedades dieléctricas y un comportamiento bueno como aislantes eléctricos.

3.7.4 Químicas

Depende principalmente de la naturaleza química de la propia molécula básica de la cadena. A la hora de seleccionar un plástico para la fabricación de piezas se debe tomar muy en cuenta el medio en el que se va a encontrar. (Sánchez, 2006)

3.7.5 Absorción de humedad

La absorción de agua depende fundamentalmente de la polaridad, que es equivalente a la hidrofilia de los monómeros que forman el polímero. La absorción de agua se especifica en el aumento de peso del polímero después de una permanencia de 24 horas. (Schweiggeger, 2005)

3.7.6 Permeabilidad

Los films de plástico se emplean extensamente como barreras de vapor, como capas superpuestas en una gran variedad de estratificados y para otras muchas aplicaciones similares. Algunas formulaciones de cloruros de polivinilo y poliolefinas tienen una permeabilidad sumamente baja, así como los plásticos acrílicos y poliésteres. (Dietz, 1973)

3.8 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

En la última década los artículos de usar y tirar, los envoltorios desmesurados e innecesarios, han invadido el mercado y por lo tanto, después de que estos artículos son descartados, los rellenos sanitarios se convierten en depósitos de una gran cantidad de estos productos. Esto también se convierte en un problema en los desagües de las ciudades ya que estos se obstruyen con basura no biodegradable. Además implica mayores volúmenes de residuos para transportar y disponer, y por ende, mayores costos. (PROARCA, 2004)

Los ecologistas admiten las cualidades beneficiosas de los plásticos: duración (en productos tales como el automóvil y las partes del motor, alfombras, juguetes, muebles, cubos y recipientes diversos reutilizados y botellas rellenables), peso liviano, irrompibles (en comparación con el vidrio) y, en algunos casos, reutilizables como recipientes. Pero muchos ecologistas también creen que la difusión del uso de los plásticos (especialmente el uso excesivo y a menudo innecesario como embalajes o contenedores de un solo uso de bebidas

y alimentos) debería ser reducido drásticamente y reemplazado con alternativas menos dañinas y menos productoras de desperdicios.

Actualmente únicamente se reciclan el 5% en peso de todos los desechos plásticos y el 6% de los embalajes plásticos empleados en Estados Unidos, porque hay un gran número de resinas plásticas diferentes. Antes de poder reciclarlos, los plásticos de la basura han de ser separados por los consumidores en los distintos tipos de resinas o separados de la basura mezclada (procedimiento costoso y muy intenso en mano de obra, a menos que puedan desarrollarse tecnologías para su separación). (Miller, 2002)

En cuanto a la producción en Guatemala, la industria del plástico pasó de un 3,8 % en 1998, a un 6,8% en el 2002. Según el “Estudio de Factibilidad del Uso de Instrumentos Económicos para el Manejo Apropiado de Desechos de Alto Impacto Ambiental en Guatemala” elaborado por CCADPROSIGA en el año 2003, los residuos plásticos suponen un 20% en volumen y un 8% en peso de los residuos sólidos urbanos, frente al 34% en volumen y 40% en peso de los residuos de papel y derivados y el 3% en volumen y 7% en peso de residuos de alimentación. Según la información extraída del Directorio Nacional de Empresas, en la actualidad se encuentran registradas 123 empresas dedicadas a la elaboración de productos plásticos. (PROARCA, 2004)

3.9 EL ALMIDÓN COMO MATERIA PRIMA PARA BIOPLÁSTICOS

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

Existen otras fuentes de donde puede extraerse el almidón; una de esas fuentes es el banano el cual en su estado verde se compone en su mayor parte de almidón. Dentro de la amplia gama de productos que se cultivan en el país, las frutas tropicales son quizás uno de los más interesantes y potenciales recursos disponibles, entre ellos el banano ocupa un lugar importantísimo en la producción y exportación agrícola en Guatemala, después del

café y el azúcar. Los esquemas de comercialización de la fruta y las rigurosas normas de exportación, provocan la existencia de importantes volúmenes de banano que no cumplen los requisitos establecidos, esto ha dado como resultado que una parte de la producción bananera quede sin exportarse, por lo que su aprovechamiento podría fortalecer la economía del país, mediante la conversión de esta materia prima de relativo bajo costo en almidones que podrían ser de elevado valor. (Méndez, 2010)

El almidón es una materia prima que tiene propiedades termoplásticas cuando se realiza la disrupción estructural a nivel molecular. La presencia de amilosa en un 70% en almidones de amilo-maíz da una estructura fuerte y más flexible a la película. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente le da a la película pobres propiedades mecánicas. Los compuestos de los almidones hidroxipropilados son usados para la preservación de caramelos, pasas, nueces y dátiles para evitar la rancidez oxidativa. La síntesis de la copolimerización e injertación de monómeros tales como acrilonitrilo, generan un precursor de fibras acrílicas utilizadas en la preparación de compuestos de almidón más polímero, los cuales son también biodegradables.

Las investigaciones en plásticos biodegradables basadas en almidón se iniciaron desde 1970 y continúan actualmente en varios laboratorios del mundo. Las tecnologías que aún se siguen desarrollando, están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada a las formulaciones de las películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión soplado, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección.

La adición de polímeros naturales como el almidón al interior del polietileno en forma granular entre un 6 y 30%, es una aproximación en la fabricación de empaques biodegradables. Las películas de almidón y polietileno de baja densidad (LDPE) contienen hasta un 30% de almidón, mostrándose como un material parcialmente biodegradable. Otra aplicación del almidón es la combinación en forma gelatinizada en proporciones entre el 30 y el 70% mezclado con polímeros sintéticos. (Acosta et al. 2007)

3.10 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO DEL BANANO

Cuando una fruta o verdura se torna de un color café pardo es porque ha sucedido un pardeamiento enzimático, término que implica una reacción de oxidación en la que interviene como substrato el oxígeno molecular, catalizada por un tipo de enzimas que se pueden encontrar en prácticamente todas las frutas y verduras. (Calvo 2007).

En el banano, así como en otras frutas, la enzima responsable del pardeamiento enzimático es la polifenoloxidasas (PPO) que también es conocida como tirosinasa, fenolasa, catecol oxidasa, *o*-difenoiloxidasas, monofenol oxidasa y cresolasa, fue descubierta y aislada inicialmente de champiñones y actúa sobre dos tipos de sustratos: los monohidroxifenoles (*p*-cresol hidroxilándolos en posición orto con respecto al grupo hidroxilo) y los *o*-dihidroxifenoles (catecol, oxidándolo a benzoquinona por remoción de hidrógenos del grupo hidroxilo). (Ramirez et al; 2003).

La característica estructural más importante de la PPO es la presencia en su centro activo de dos átomos de cobre, alrededor de los cobres se sitúan aminoácidos hidrofóbicos con anillos aromáticos importantes para la unión de los sustratos. (Calvo, 2007).

El mecanismo de reacción de la PPO se basa en la catálisis de dos etapas: oxidación de un monofenol a *o*-difenoil y la subsiguiente oxidación de éste a *o*-quinona, actividad cresolasa y catecolasa respectivamente. Siguiendo un mecanismo ordenado, la enzima liga primero el oxígeno y después el monofenol. Se produce un cambio de valencia de los iones de cobre de Cu^{1+} a Cu^{2+} formándose un complejo que tiene un enlace O – O (oxígeno-oxígeno) bien polarizado donde se produce la hidroxilación a *o*-difenoil. La oxidación del *o*-difenoil a *o*-quinona finaliza el ciclo. (Belitz & Grsosh, 2004).

La PPO es capaz de catalizar reacciones de oxidación de compuestos polifenólicos en presencia de oxígeno molecular y la presencia de los compuestos oxidados por la enzima son precursores de las reacciones de pardeamiento que ocurren en los procesos de pos-recolección y manipulación de frutas y hortalizas. (Ayaz et al; 2008).

En el banano las reacciones de pardeamiento resultan de la oxidación enzimática de la dopamina (3,4 dihidroxifeniletamina) por la PPO, a un pH de 7.0 se obtiene la máxima actividad de esta enzima. (Guerrero, 2009).

3.11 SISTEMAS BIFÁSICOS ACUOSOS (SEBAS)

Un sistema bifásico acuoso es una técnica empleada tanto para extraer enzimas, como la PPO, de una matriz vegetal o animal así como método de purificación parcial. Un SEBAS se forma al mezclar en un medio acuoso dos polímeros de cadena flexible o un polímero y una sal por encima de una concentración crítica, donde espontáneamente se originan dos fases, una rica en polímero y otra rica en sal o polímero. Macromoléculas como proteínas y ácidos nucleicos se reparten entre las dos fases, dependiendo de su peso molecular, carga e hidrofobicidad superficial y de las condiciones del sistema, relacionadas con el peso molecular, la concentración de polímero, el pH y la fuerza iónica. Los SEBAS tienen la gran ventaja de producir material biológico concentrado y purificado. Además es una técnica económica en comparación a otros métodos de purificación que incluyen pasos como recuperación, clarificación, filtración, concentración, etc. Otra ventaja es que los reactivos utilizados no son tóxicos y los procesos son fáciles de escalar si se trabaja con volúmenes altos de material biológico. Los SEBAS usualmente usados son: Polietilenglicol (PEG) /dextran/agua y PEG/sal inorgánica/agua para la separación de proteínas. El segundo sistema tiene ventajas sobre el primero por su bajo costo y baja viscosidad (Guerrero, 2009).

IV. JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental es un tema muy importante en estos días para cualquier país del mundo, ya que conlleva un problema muy grave que es cada vez más caro y difícil de tratar. El estilo de vida actual derivado en una era de consumismo en la cual el ser humano se ha convertido en un generador de basura ha causado el uso y desecho desmedido de diversos materiales, dentro de los cuales el plástico es el más utilizado y percedero y por lo tanto es la mayor fuente de contaminación.

La utilización de materiales biodegradables para la fabricación de insumos se ha convertido en los últimos años en una tendencia innovadora que busca combinar el estilo de vida consumista que ha adoptado la humanidad con la necesidad de conservar recursos renovables, para así contribuir a reducir la contaminación que se ha generado por el uso desmedido de diversos materiales, que se han fabricado para ser duraderos pero que son desechados porque no se tiene una cultura de reutilización y reciclaje.

Es por esto que en la presente investigación se buscó contribuir con la problemática ambiental sintetizando y caracterizando un polímero a partir de almidón de desecho. Ya que estos materiales biodegradables podrían en un futuro desplazar a los plásticos, debido a que son fabricados con materiales provenientes de recursos renovables que a la hora de ser desechados no causan el mismo problema que los plásticos tradicionales, esto se debe a que los bioplásticos se degradan más rápido.

Esta investigación también pretendió abrir una nueva tendencia en el ámbito de las investigaciones realizadas en esta facultad, ya que son pocas las investigaciones orientadas al uso racional y conservacionista de los recursos naturales o de los materiales de uso cotidiano. Esta investigación puede inspirar la realización de otros trabajos que estudien la posibilidad de fabricar materiales biodegradables utilizando otros insumos que puedan ser considerados desechos, pero que puedan resultar viables para la fabricación de nuevos insumos, que ayuden a generar una nueva cultura de reutilización y reciclaje.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Sintetizar un bioplástico a partir de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) y establecer sus características de calidad.

5.2 Objetivos Específicos

- 5.2.1 Determinar el porcentaje de rendimiento del almidón extraído a partir de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*).
- 5.2.2 Sintetizar un bioplástico a partir de almidón de banano verde y otros aditivos.
- 5.2.3 Describir las características de calidad del bioplástico a través de pruebas fisicoquímicas.
- 5.2.4 Caracterizar la formulación más promisoría según pruebas de calidad internacionales.
- 5.2.5 Determinar el costo de producción del bioplástico obtenido a escala piloto.
- 5.2.6 Determinar la degradabilidad del bioplástico mediante pruebas fisicoquímicas.

VI. HIPÓTESIS

El almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) es una materia prima adecuada para la síntesis de bioplástico.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo

7.1.1 Población: banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) proveniente de la central de mayoreo (CENMA).

7.1.2 Muestra: almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*)

7.2 Medios

7.2.1 Recursos humanos

- ✓ *Investigador:* Br. Carlos Humberto Iguardia Arrivillaga
- ✓ *Asesora:* Licda. Aylin Santizo Juárez
- ✓ *Revisor:* Lic. Julio Chinchilla

7.2.2 Institucionales

- ✓ Departamento de Análisis Aplicado
- ✓ Departamento de Farmacia Industrial
- ✓ LIPRONAT (Laboratorio de Investigación de Productos Naturales)
- ✓ CII (Centro de Investigaciones de Ingeniería)

7.2.3 Fuentes bibliográficas

- ✓ CEDOF (Centro de documentación de Farmacia)

- ✓ CICON (Centro de Información a la Construcción)

7.3 Materiales , equipo y reactivos

7.3.1 Equipo:

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Balanza semianalítica
- ✓ Estufa eléctrica
- ✓ Horno de secado
- ✓ Molino
- ✓ Licuadora
- ✓ Refrigeradora

7.3.2 Reactivos:

- ✓ Ácido ascórbico 4%
- ✓ Agua destilada
- ✓ Almidón de banano
- ✓ Carbonato de Calcio
- ✓ Carboximetilcelulosa (CMC)
- ✓ Cloruro de calcio
- ✓ Glicerina
- ✓ Polivinilpirrolidona (PVP)
- ✓ Sodio fosfato dibásico dihidratado
- ✓ Sodio fosfato monobásico anhidro
- ✓ Solución de yodo TS
- ✓ Solución de yoduro de potasio TS
- ✓ Tween 20

7.4 Procedimiento

7.4.1 Obtención de materia prima

Recolectar la materia prima (banano verde de desecho *Musa Sapientum* variedad *Cavendish*) del CENMA (central de mayoreo). La materia prima se debe trasladar hacia el laboratorio para su evaluación, donde se debe lavar para eliminar cualquier tipo de contaminante.

7.4.2 Preparación del sistema bifásico acuoso (SEBAS)

- ✓ Solución A: pesar 24.00 g de Sodio fosfato monobásico anhidro y diluirlo en 1000 ml de agua destilada.
- ✓ Solución B: pesar 41.59 g de Sodio fosfato dibásico dihidratado y diluirlo en 1000 ml de agua destilada.
- ✓ Utilizar 195 ml de la solución A y 305 ml de la solución B. Añadir 30 ml de Tween 20, 60 g de PVP y agua destilada hasta completar 500 ml. (Morales, 2013)

7.4.3 Extracción del almidón

Con una cuchilla realizar 3 cortes longitudinales a la cascara y pelar el banano. Cortar el banano en trozos de 2-3 cm de largo y pesarlos. Colocar las muestras en un vaso de precipitado de 1000 ml, con una solución antioxidante de ácido ascórbico 4%. Colocar los trozos de banano en una licuadora y utilizar la misma solución antioxidante para licuar la muestra, posteriormente colocar la muestra ya licuada en vasos de precipitado y llenar los vasos de precipitado hasta la mitad de su volumen y a la otra mitad añadir agua destilada. Utilizar un agitador universal durante 5 minutos para mezclar, posteriormente colocar las muestras en refrigeración por 1 hora y luego decantar el sobrenadante. Realizar este procedimiento hasta que la solución resultante se clarifique. Posteriormente añadir la solución buffer y

refrigerar la muestra por 24 horas, luego decantar el sobrenadante y añadir agua destilada para posteriormente utilizar un agitador universal durante 5 minutos para mezclar las muestras con el agua destilada. Colocar las muestras en refrigeración por 1 hora y decantar el sobrenadante. Realizar este procedimiento hasta que la solución resultante se clarifique y el precipitado se torne de color blanco. Colocar el precipitado en el horno de secado a 60°C -70°C hasta que se obtenga una pasta solida. Sacar la pasta solida del horno y utilizar un molino para convertir la pasta solida en polvos finos. Colocar los polvos en horno de secado a 60°C -70°C hasta que su humedad sea inferior al 4%.

7.4.4 Identificación del almidón

Identificar por medio de las pruebas de identificación de almidón según la USP NF25 las cuales consisten en:

- ✓ Suspender 1 g de almidón en 50 ml de agua, hervir por 1 minuto, y enfriar: un delgado y opaco mucílago se forma.

- ✓ Para 1 ml del mucílago obtenido en la prueba de identificación anterior, adherir 0.05 ml de yodo y yoduro de potasio TS : Un color rojo-naranja a un azul oscuro es producido, el cual desaparece en calentamiento.

7.4.5 Plastificación del polímero

<i>Fórmula</i>	<i>Aditivo</i>	<i>Porcentaje</i>
BP1	Almidón	12.85%
	Glicerina	48.59%
	Agua	38.56%
BP2	Almidón	5.53%
	Glicerina	20.91%
	Agua	71.90%
	CMC	1.66%
BP3	Almidón	5.41%
	Glicerina	20.46%
	Agua	70.35%
	CMC	1.62%
	Carbonato de calcio	2.16%
BP4	Almidón	5.41%
	Glicerina	20.46%
	Agua	70.35%
	CMC	1.62%
	Cloruro de calcio	2.16%

BP = Bioplástico

BP1: En un recipiente disolver el almidón utilizando agua y luego añadir la glicerina. Calentar a 70-80 °C y mezclar hasta que se forme una pasta. Luego colocar la pasta en moldes.

BP2: Disolver en un recipiente la CMC utilizando agua. En otro recipiente disolver el almidón en agua y luego añadir la glicerina. Añadir esta última solución al recipiente que contiene CMC. Calentar a 70-80 °C y mezclar hasta que se forme una pasta. Luego colocar la pasta en moldes.

BP3: Disolver en un recipiente la CMC utilizando agua. En otro recipiente disolver el almidón en agua, añadir el carbonato de calcio y mezclar, luego añadir la glicerina. Añadir esta última solución al recipiente que contiene CMC. Calentar a 70-80 °C y mezclar hasta que se forme una pasta. Luego colocar la pasta en moldes.

BP4: Disolver en un recipiente la CMC utilizando agua. En otro recipiente disolver el almidón en agua, añadir el cloruro de calcio y mezclar, luego añadir la glicerina. Añadir esta última solución al recipiente que contiene CMC. Calentar a 70-80 °C y mezclar hasta que se forme una pasta. Luego colocar la pasta en moldes.

Elaborar 7 lotes de cada formulación y someter cada lote a pruebas fisicoquímicas preliminares para poder elegir la formulación más promisoría, luego someter dicha fórmula a pruebas fisicoquímicas finales específicas para los plásticos y reconocidas a nivel internacional.

7.4.6 Determinación de pruebas fisicoquímicas preliminares

7.4.6.1 Dureza: Cortar piezas (2x2x2 cm) de cada muestra y someterlas a penetración por parte del punzón del durómetro hasta que la muestra ceda o las fibras exteriores se fragmenten. Apuntar la lectura que marca el durómetro.

7.4.6.2 Elongación: Colocar la muestra en un soporte luego colocar varias pesas a las muestras y medir la longitud que se desplazó la muestra con cada pesa y calcular el % de elongación con la siguiente fórmula:

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

7.4.6.3 Flexión: Colocar la muestra en dos soportes separados entre sí. Colocar varias pesas en el centro de la muestra hasta que las fibras exteriores se fragmenten o se rompan, medir que distancia se desplazó la muestra con cada pesa.

7.4.7. Pruebas de biodegradabilidad

Someter cada formulación a dos pruebas de biodegradabilidad. Realizar dichas pruebas a temperatura ambiente con una duración de 30 días.

7.4.7.1 Degradabilidad en intemperie

Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes sin tapa, colocar los recipientes en un lugar que se encuentre al aire libre. Dejar ahí por 30 días y después pesar las muestras con una balanza analítica. Obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la siguiente fórmula: $100 - [(peso\ final/peso\ inicial)*100]$

7.4.7.2 Degradabilidad por agua

Pesar las muestras en una balanza analítica, posteriormente colocar las muestras en recipientes apropiados, llenar los recipientes con agua hasta superar la superficie de las muestras. Tapar los recipientes y dejar en reposo absoluto (sin moverse) por 30 días, después de transcurrido este tiempo pesar las muestras con una balanza analítica y obtener el porcentaje de degradabilidad mediante la siguiente fórmula: $100 - [(peso\ final/peso\ inicial)*100]$

7.4.8. Caracterización del bioplástico

7.4.8.1 ASTM D 638-89 Método de ensayo estándar para propiedades de tensión de los plásticos

7.4.8.1.1 Resumen del método de ensayo

Este método de ensayo está diseñado para producir los datos de resistencia a la tracción para el control y la especificación de los materiales plásticos. Estos datos son también útiles para la caracterización cualitativa y de investigación y desarrollo. Las propiedades de tracción pueden variar con la preparación de las muestras y con la velocidad y el medio ambiente de la prueba.

7.4.8.1.2. Espécimen de prueba

- ✓ Plásticos no rígidos: ajustar la muestra de ensayo a las dimensiones. Para todos los materiales con un espesor mayor que 0.28 pulgadas (7 mm) pero no más de 0.55 pulgadas (14 mm) la longitud total será de 9.7 pulgadas (246 mm) y el ancho total será de 1.13 pulgadas (29 mm). El ancho del estrecho será de 0.75 pulgadas (19 mm) y la distancia entre mordazas será de 4.5 pulgadas (115 mm). La longitud de la sección estrecha será de 2.25 pulgada (57 mm).

- ✓ Preparación: preparar las muestras de ensayo por las operaciones de mecanizado, o troquelado, a partir de materiales en hojas, láminas, losas, o en forma similar. Los materiales más gruesos que 0.55 pulgadas (14 mm) deben ser mecanizados a 0.55 pulgadas (14 mm). Las muestras se

pueden preparar también por moldeo del material a ensayar.

7.4.8.1.3 Procedimiento

Medir el espesor de las muestras no rígidas con un micrómetro. Tomar la anchura del espécimen como la distancia entre los bordes cortantes de la matriz en la sección estrecha. Medir el diámetro de los especímenes de la barra, y los diámetros interiores y exteriores de las muestras del tubo, con una precisión de 0.001 pulgadas (0.025 mm) a un mínimo de dos puntos 90° entre sí; hacer estas mediciones a lo largo de la ranura para las muestras así construidas.

Colocar la muestra en las garras de la máquina de ensayo, teniendo cuidado de alinear el eje longitudinal de la muestra y los agarres con una línea imaginaria que una los puntos de fijación de las mordazas de la máquina. Apretar las empuñaduras uniforme y firmemente en el grado necesario para evitar el deslizamiento de la muestra ya que sería aplastada.

Fijar el indicador de extensión. Cuando el módulo está siendo determinado, el indicador de extensión debe continuar registrando la distancia que se estira el espécimen dentro de la longitud de calibre en función de la carga a través de la porción inicial de la curva de carga-extensión.

Registrar la curva de carga-extensión de la muestra. Registrar la carga y la extensión en el límite elástico (si existe) y la carga y la extensión en el momento de la rotura.

7.4.8.2 ASTM D 2240-86 Método de prueba estándar para la propiedad de caucho, dureza por durómetro

7.4.8.2.1 Resumen del método de ensayo

El durómetro tipo A se utiliza para medir materiales blandos, y el tipo D para materiales duros. Este método de ensayo permite mediciones de dureza basadas en cualquier depresión inicial o depresión realizada después de un periodo específico de tiempo, o ambas.

Este método se basa en la medida de la depresión causada por una punta de penetración específica, la cual bajo condiciones de ensayo especificadas, es forzada a penetrar en el material. La dureza medida por depresión guarda una relación inversamente proporcional respecto a la penetración, y es un valor que depende del módulo de elasticidad y del comportamiento viscoelástico del material que se ensaya.

7.4.8.2.2 Espécimen de prueba

El espécimen de prueba debe tener un espesor de por lo menos 6.0 mm (0.25 pulgadas).

Un espécimen de prueba puede estar compuesto por varias piezas planas unidas previamente una sobre otra para obtener el espesor requerido.

Las medidas laterales del espécimen de prueba deben ser lo suficientemente adecuadas para permitir realizar las mediciones a no menos de 12 mm (0.5 pulgadas) de distancia de cualquiera de los bordes del espécimen.

La superficie del espécimen de prueba debe tener suficiente área plana para que permita al pedal presionador hacer contacto con el espécimen sobre un área que tenga un radio de por lo menos 6.0 mm (0.25 pulgadas) medido desde la punta de penetración.

7.4.8.2.3 Procedimiento

Colocar el espécimen de prueba sobre una superficie dura y horizontal, sujetar el durómetro en una posición vertical con la punta de penetración a no menos de 12 mm (0.5 pulgadas) de cualquiera de los bordes del espécimen.

A menos que se sepa que se obtienen resultados idénticos cuando las mediciones son hechas con el penetrador en menor distancia. Aplicar el pedal presionador al espécimen de prueba, tan rápidamente como sea posible, sin golpear el espécimen y manteniendo el pedal paralelamente a la superficie del espécimen. Se aplica solamente la presión necesaria para obtener un contacto firme entre el pedal presionador y el espécimen de prueba.

A menos que se especifique otra cosa, se debe leer la escala del durómetro antes de que transcurra un segundo a partir del momento en que el pedal presionador se pone en contacto firme con el espécimen, a menos de que el durómetro posea un accesorio indicador de máximos, en cuyo caso la lectura que se toma es el valor máximo que haya marcado. Si la lectura después

de un intervalo de tiempo es especificada, mantenga el pedal presionador en contacto con la muestra sin cambio en la posición de presión y lea la escala después del período especificado.

Se deben realizar 5 mediciones de dureza, cada una determinada en una diferente posición sobre el espécimen y siendo dichas posiciones distantes entre sí en no menos de 6.0 mm (0.25 pulgadas). Determinar el valor de la mediana o la media aritmética.

7.4.9 Análisis Estadístico

Para esta investigación se diseñaron cuatro formulaciones diferentes y se buscó determinar el mejor rendimiento, en base a tres ensayos fisicoquímicos.

Se realizaron siete réplicas por cada formulación, utilizando un nivel alfa = 0.05 y asumiendo un límite de error igual a la desviación estándar.

Para cada ensayo fisicoquímico se realizó un análisis de varianza, así como un test de Duncan en cada ensayo fisicoquímico en el cual se observó una diferencia significativa entre las medias de las muestras.

VIII. RESULTADOS

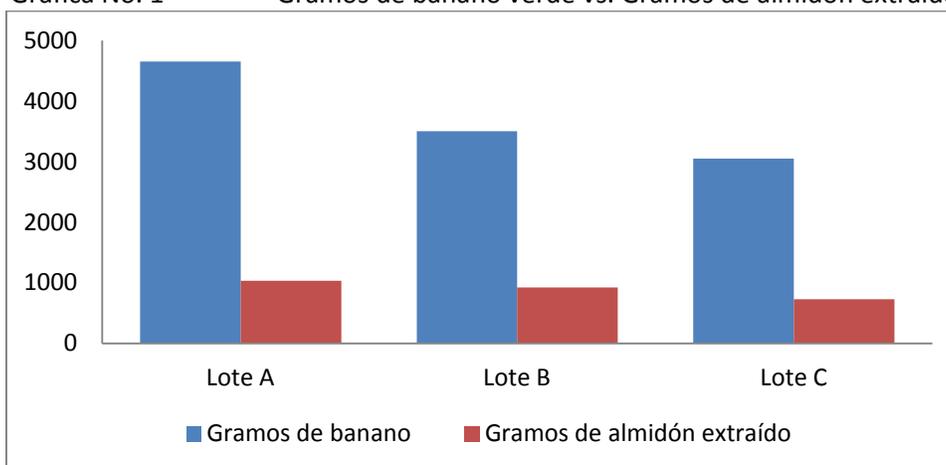
Para determinar el porcentaje de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *cavendish*) se utilizaron 199 bananos, los cuales fueron distribuidos en 3 lotes: A, B y C. En la tabla No. 1 se presentan los gramos de banano verde utilizados, los gramos de almidón extraído y los porcentajes de extracción de cada lote así como el total de gramos de banano verde utilizados, el total de gramos de almidón extraído y el porcentaje total de extracción.

Tabla No. 1 Extracción de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *cavendish*)

Lote	Gramos de banano verde	Gramos de almidón extraído	Porcentaje de extracción
A	4652.64	1035.44	22.25%
B	3499.78	925.94	26.46%
C	3050.42	730.29	23.94%
TOTAL	11202.84	2691.67	24.03%

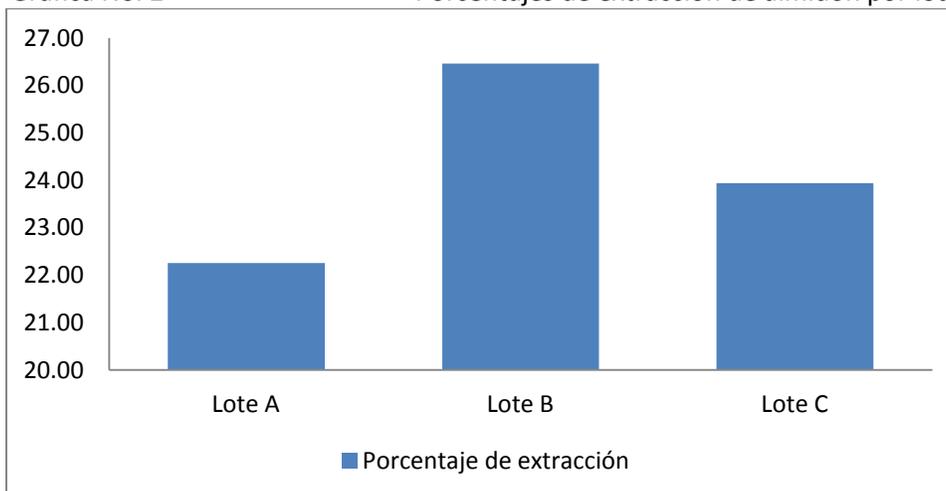
Fuente: Datos experimentales

Gráfica No. 1 Gramos de banano verde vs. Gramos de almidón extraído



Fuente: Tabla No. 1

Gráfica No. 2 Porcentajes de extracción de almidón por lote



Fuente: Tabla No. 1

Después de realizada la extracción del almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *cavendish*) se realizó una identificación del mismo mediante la prueba de lugol. En la tabla No. 2 se observan los resultados de la identificación de los tres lotes utilizados para la extracción, siendo el color azul un indicativo de que el lugol reaccionó con la amilosa del almidón dando así un resultado positivo en la identificación.

Tabla No. 2 Identificación de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *cavendish*) mediante prueba de lugol

Lote	Coloración antes de agregar lugol	Coloración después de agregar lugol	Resultado
A	Beige	Azul oscuro	Positivo
B	Beige	Azul oscuro	Positivo
C	Beige	Azul oscuro	Positivo

Fuente: Datos experimentales

Luego de identificar el almidón extraído se procedió a plastificarlo según la metodología establecida y se obtuvieron cuatro formulaciones de bioplástico. En la tabla No. 3 se presentan los porcentajes promedios de rendimiento de cada formulación frente al almidón, con su respectiva desviación estándar, estos porcentajes indican la cantidad de bioplástico que se obtiene por cada 100 gramos de almidón de banano utilizado. También se presentan los porcentajes promedios de rendimiento total, con su respectiva desviación estándar, que indican la cantidad de bioplástico obtenido al final del proceso comparado con la cantidad teórica inicial.

Tabla No. 3 Rendimiento de formulaciones basadas en almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *cavendish*)

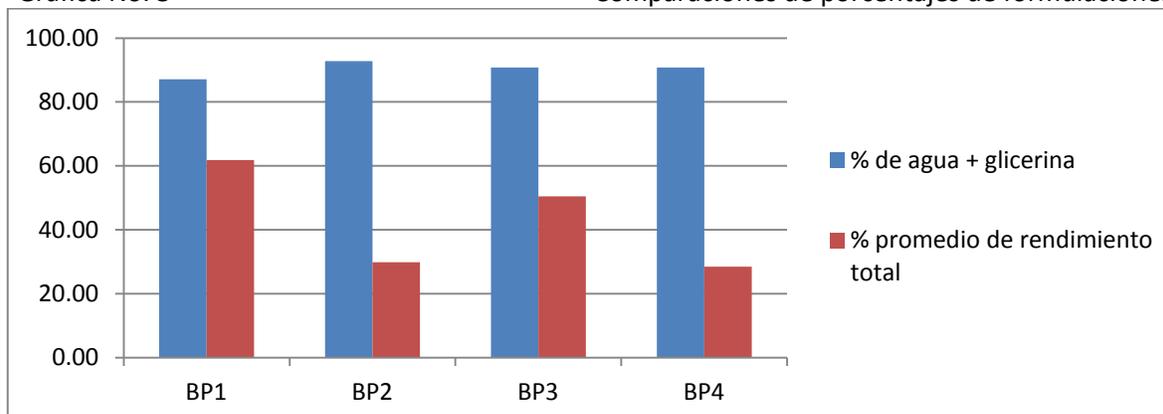
Fórmula	Porcentaje promedio de rendimiento frente al almidón	Desviación estándar del porcentaje promedio de rendimiento frente al almidón	Porcentaje promedio de rendimiento total	Desviación estándar del porcentaje promedio de rendimiento total
BP1	390.18 %	25.61	61.81 %	3.29
BP2	363.99 %	13.71	29.89 %	0.76
BP3	931.81 %	14.59	50.42 %	2.63
BP4	526.81 %	6.04	28.51 %	1.09

Fuente: Anexo No. 2.5

BP = Bioplástico

Gráfica No. 3

Comparaciones de porcentajes de formulaciones



Fuente: Tabla No. 3 y anexo No. 2.5

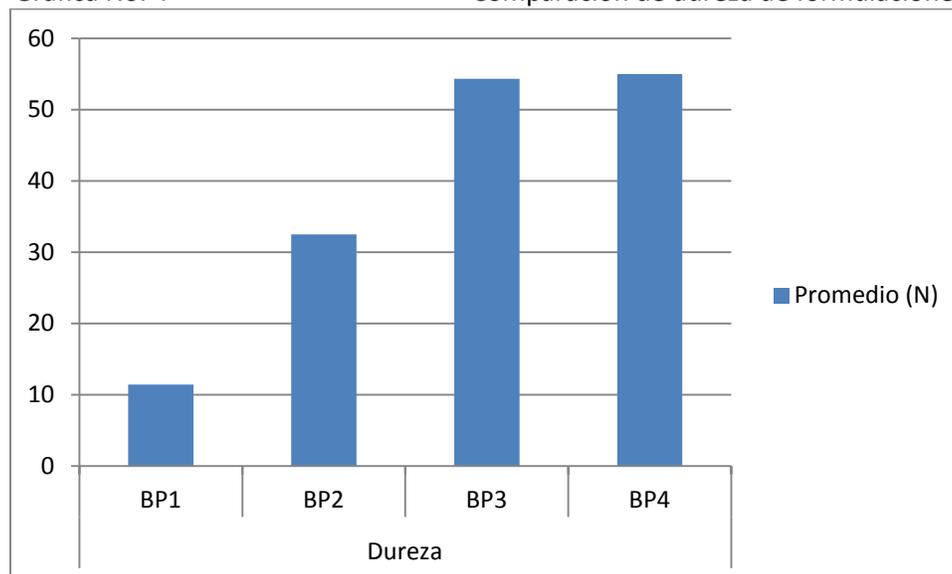
Después de sintetizar cada una de las formulas del bioplástico se procedió a caracterizar cada una de ellas mediante tres pruebas fisicoquímica. La primera prueba a la que se sometieron las formulaciones fue la prueba de dureza, la cual fue realizada en un durómetro, en esta prueba se determinó la fuerza necesaria para que cedieran o se fragmentaran las fibras exteriores de cada muestra. La fuerza fue medida en Newtons, los resultados se presentan en la tabla No. 4 y en la gráfica No. 4

Tabla No. 4 Prueba de dureza

Prueba	Formulación	Resultado	
		Promedio (N)	Desviación estándar
Dureza	BP1	11.43	3.18
	BP2	32.50	6.12
	BP3	54.29	13.67
	BP4	55.00	12.08

Fuente: Datos experimentales N = Newtons, BP = Bioplástico

Gráfica No. 4 Comparación de dureza de formulaciones



Fuente: Tabla No. 4

N = Newtons, BP = Bioplástico

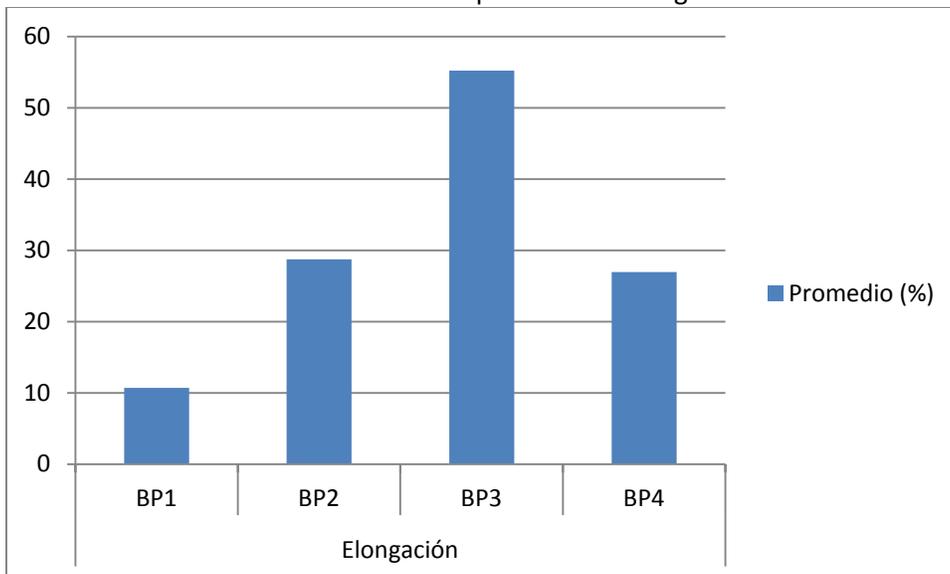
La segunda prueba realizada a las formulaciones fue la prueba de elongación en la cual se midió la longitud desplazada de cada muestra en base al peso que provocó la elongación, haciendo una relación entre la longitud final e inicial de cada muestra y presentando esta relación en porcentaje. Se midió el desplazamiento longitudinal.

Tabla No. 5 Prueba de elongación

Prueba	Formulación	Resultado	
		Promedio (%)	Desviación estándar
Elongación	BP1	10.71	4.72
	BP2	28.75	6.85
	BP3	55.18	10.49
	BP4	26.96	10.75

Fuente: Datos experimentales % = porcentaje, BP = Bioplástico

Gráfica No. 5 Comparación de elongación de formulaciones



Fuente: Tabla No. 5

% = porcentaje, BP = Bioplástico

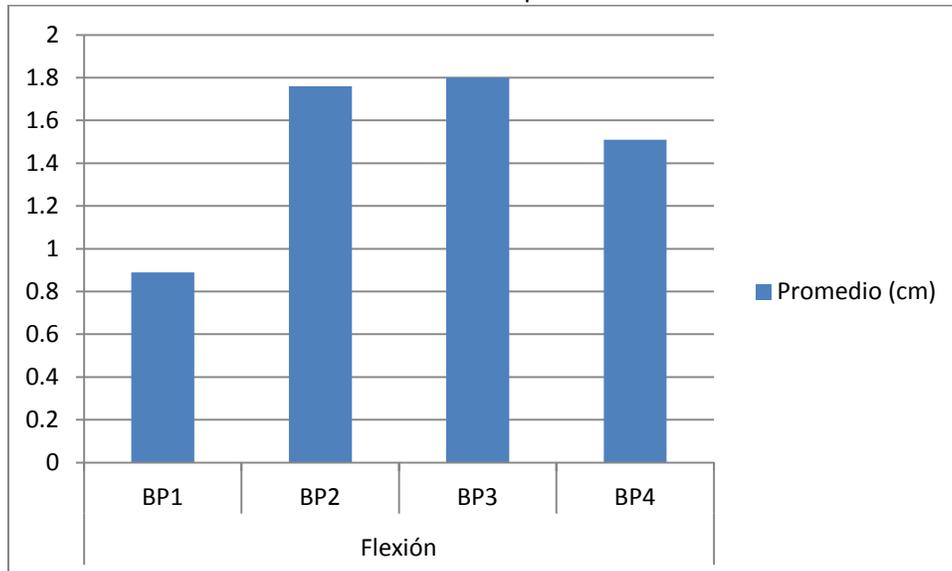
La última prueba fisicoquímica a la que fueron sometidas las formulaciones fue la prueba de flexión, en esta prueba se midió el desplazamiento de cada muestra en base al peso que provocó el desplazamiento, el desplazamiento fue medido en centímetros y se tomó en cuenta el desplazamiento provocado hasta que las fibras exteriores se fragmentaron o se rompieron. Se midió el desplazamiento del espesor en cada muestra.

Tabla No. 6 Prueba de flexión

Prueba	Formulación	Resultado	
		Promedio (cm)	Desviación estándar
Flexión	BP1	0.89	0.45
	BP2	1.76	0.17
	BP3	1.80	0.64
	BP4	1.51	0.78

Fuente: Datos experimentales cm = centímetros, BP = Bioplástico

Gráfica No. 6 Comparación de flexión de formulaciones



Fuente: Tabla No. 6

cm = centímetros, BP = Bioplástico

Después de caracterizar las formulaciones mediante las pruebas fisicoquímicas se eligió la formulación más promisoría (BP3) para caracterizarla según pruebas de calidad internacionales. Para elegir dicha formulación se elaboraron tres análisis de varianza, uno para la prueba de dureza, otro para la prueba de elongación y uno para la prueba de flexión, los resultados pueden observarse en las tablas No. 7, 8 y 9, respectivamente.

Tabla No. 7 Tabla ANOVA para prueba de dureza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F 5%	Valor P
Formulaciones	3	9031.02678	3010.34226	31.83241536	3.01	1.56657E-08
Error	24	2269.64286	94.5684525			
Total	27	11300.66964				

Fuente: Anexo No. 4.1

Tabla No. 8 Tabla ANOVA para prueba de elongación

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F 5%	Valor P
Formulaciones	3	7112.220981	2370.740327	32.16023213	3.01	1.42114E-08
Error	24	8881.41741	73.71651788			
Total	27	1769.196429				

Fuente: Anexo No. 4.2

Tabla No. 9 Tabla ANOVA para prueba de flexión

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F 5%	Valor P
Formulaciones	3	3.732499996	1.244166665	4.016525754	3.01	0.018932797
Error	24	7.434285714	0.309761904			
Total	27	11.16678571				

Fuente: Anexo No. 4.3

En los análisis de varianza de las pruebas fisicoquímicas se demostró que habían diferencias significativas en las medias de las formulaciones, así que se procedió a realizar un test de Duncan para localizar las medias que representaban esas diferencias significativas. Los resultados del test de Duncan para las pruebas de dureza, elongación y flexión se observan en las tablas No. 10, 11 y 12, respectivamente.

Tabla No. 10 Test de Duncan para prueba de dureza

Comparación	Análisis
4 vrs 1	43.57 > 11.61 *
4 vrs 2	22.50 > 11.27 *
4 vrs 3	0.71 < 10.73
3 vrs 1	42.86 > 11.27 *
3 vrs 2	21.79 > 10.73 *
2 vrs 1	21.07 > 10.73 *

Fuente: Anexo No. 4.4

* P < 0.05

Tabla No. 11 Test de Duncan para prueba de elongación

Comparación	Análisis
4 vrs 1	44.47 > 10.25 *
4 vrs 2	28.22 > 9.95 *
4 vrs 3	26.43 > 9.47 *
3 vrs 1	18.04 > 9.95 *
3 vrs 2	1.79 < 9.47
2 vrs 1	16.25 > 9.47 *

Fuente: Anexo No. 4.5

* P < 0.05

Tabla No. 12 Test de Duncan para prueba de flexión

Comparación	Análisis
4 vrs 1	0.91 > 0.66 *
4 vrs 2	0.29 < 0.64
4 vrs 3	0.04 < 0.61
3 vrs 1	0.87 > 0.64 *
3 vrs 2	0.25 < 0.61
2 vrs 1	0.62 > 0.61 *

Fuente: Anexo No. 4.6

* P < 0.05

Después de analizar los diferentes resultados, tanto de las pruebas fisicoquímicas como de los análisis estadísticos, se procedió a caracterizar la formulación más promisorio (BP3) según las normas ASTM, las cuales son reconocidas internacionalmente. La prueba de dureza shore ASTM D-2240 tipo A indica la fuerza necesaria para que cedan o se fragmenten las fibras exteriores de una muestra con una masa de 1 kilogramo por la gravedad estándar del sitio donde se realiza la prueba. Los resultados de esta prueba se aprecian en la tabla No. 13

Tabla No. 13 Prueba de dureza shore según norma ASTM D-2240 tipo A

Fórmula	Promedio (Kg/mm ²) de la fórmula	Desviación estándar
BP3	6.72	1.84

Fuente: Anexo No. 5

Kg/mm² = Kilogramo-fuerza o kilopodio por milímetro cuadrado

La segunda prueba de calidad internacional a la cual fue sometida la formulación más promisorio fue la prueba de tensión según la norma ASTM D-638, norma que evalúa la presión que ejerce una fuerza de 1 Newton sobre la superficie de un plástico (Mpa = megapascal), la tensión también se presentó como kilogramos de esfuerzo por centímetro cuadrado (kg/cm²), esta dimensional implica los kilogramos de esfuerzo aplicados a un área específica de la muestra. Los resultados de esta prueba se observan en la tabla No. 14

Tabla No. 14 Prueba de tensión según norma ASTM D-638

Formula	Promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar	Promedio (Mpa)	Desviación estándar
BP3	0.869	0.504	0.085	0.049

Fuente: Anexo No. 5

En la tabla No. 15 se presentan los costos de cada uno de los insumos necesarios para extraer almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*), la cantidad utilizada de cada insumo así como la cantidad comprada del mismo. El costo total por la extracción de 2691.67 gramos de almidón fue de Q 421.00, dando como resultado que la extracción de 1 gramo de almidón de banano tiene un costo de Q 0.16

Tabla No. 15 Insumos para la extracción de almidón de banano

Insumos	Cantidad utilizada	Cantidad comprada	Costos
Bananos	199	320	Q96.00
Sodio Fosfato monobásico anhidro (NaH_2PO_4)	48.00 g	500 g	Q35.00
Sodio Fosfato dibásico dihidratado (Na_2HPO_4)	145.57 g	500 g	Q18.00
Tween 20	300 ml	500 ml	Q22.00
Polivinilpirrolidona (PVP)	600 g	1000 g	Q115.00
Agua desmineralizada	34.21 gal	35 gal	Q105.00
Ácido ascórbico	480 g	500 g	Q30.00
Total			Q421.00
Extraer 2691.67 g de almidón costó Q 421.00, por lo que extraer 1 g tiene un costo de Q 0.16			

Fuente: Datos experimentales

g= gramos, ml = mililitros, gal = galones

Después de obtener los costos por extracción del almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) se procedió a determinar los costos de los insumos necesarios para la plastificación de dicho almidón, dichos costos por insumos, cantidad utilizada y cantidad comprada se presentan en la tabla No. 16, obteniéndose un costo total de Q 338.50 por la plastificación de 1050 g de dicho almidón.

Tabla No. 16 Insumos para la plastificación

Insumos	Cantidad utilizada	Cantidad comprada	Costos
Almidón de banano	1050 g	1050 g	Q178.50
Agua desmineralizada	9.450 l	18.9 l	Q15.00
Glicerina	3150 ml	3785 ml	Q80.00
Carboximetilcelulosa	189 g	500 g	Q42.00
Carbonato de calcio	84 g	1000 g	Q18.00
Cloruro de calcio	84 g	450 g	Q5.00
Total			Q338.50

Fuente: Datos experimentales g= gramos, l = litros, ml = mililitros, Q = quetzales

Debido a que se realizaron cuatro formulaciones se necesitó determinar el costo de cada una de ellas y en la tabla No. 17 se presentan los costos de los insumos y la cantidad utilizada de los mismos por cada formulación. También el costo total de cada formulación y el costo total por las cuatro formulaciones. En la gráfica No. 7 se presenta una comparación entre los precios de cada una de las formulaciones.

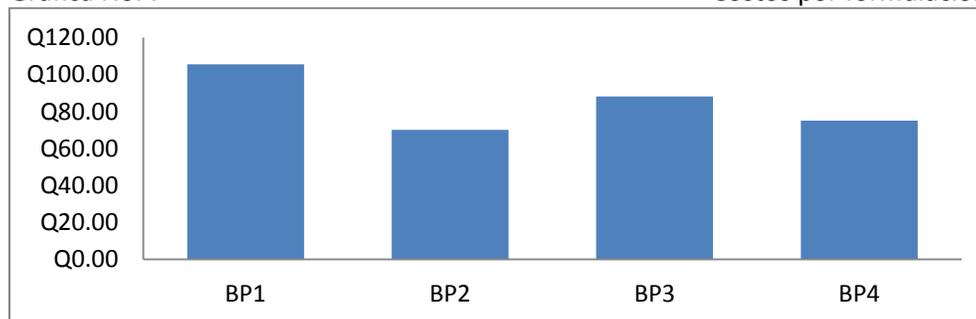
Tabla No. 17 Insumos y costos de formulaciones

Fórmula	Insumo	Cantidad utilizada	Costo
BP1	Almidón de banano	420 g	Q71.40
	Agua desmineralizada	1260 ml	Q2.00
	Glicerina	1260 ml	Q32.00
	Total Fórmula		
BP2	Almidón de banano	210 g	Q35.70
	Agua desmineralizada	2730 ml	Q4.33
	Glicerina	630 ml	Q16.00
	Carboximetilcelulosa	63 g	Q14.00
	Total Fórmula		
BP3	Almidón de banano	210 g	Q35.70
	Agua desmineralizada	2730 ml	Q4.33
	Glicerina	630 ml	Q16.00
	Carboximetilcelulosa	63 g	Q14.00
	Carbonato de calcio	84 g	Q18.00
	Total Fórmula		
BP4	Almidón de banano	210 g	Q35.70
	Agua desmineralizada	2730 ml	Q4.34
	Glicerina	630 ml	Q16.00
	Carboximetilcelulosa	63 g	Q14.00
	Cloruro de calcio	84 g	Q5.00
	Total Fórmula		
TOTAL			Q338.50

Fuente: Datos experimentales

g= gramos, ml = mililitros, Q = quetzales

Gráfica No. 7 Costos por formulación



Fuente: Tabla No. 17

Luego de realizadas las pruebas internacionales de calidad se procedió a realizarle pruebas de degradabilidad al bioplástico obtenido; se realizaron dos pruebas de degradabilidad, una a la intemperie a temperatura y humedad ambiente y otra bajo agua, en donde se simulo una degradación en medio acuoso. Los resultados de las pruebas de degradabilidad pueden observarse en la tabla No. 18

Tabla No. 18

Pruebas de degradabilidad

Prueba	Muestra	Degradabilidad (%)	% Promedio de degradabilidad	Desviación estándar
Intemperie	BP1	5.28	5.60	1.72
	BP2	7.46		
	BP3	-13.86		
	BP4	4.06		
	Hule	0.18	N.A.	
Agua	BP1	22.95	72.49	33.27
	BP2	92.13		
	BP3	91.52		
	BP4	83.36		
	Hule	-1.13	N.A.	

Fuente: Anexo No. 7.1 – 7.4

% = porcentaje, N.A. = No aplica

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los porcentajes de la extracción de almidón de banano verde se presentan en la tabla No. 1 y en la gráfica No. 2, mientras que la gráfica No. 1 representa los gramos de materia prima versus los gramos de almidón extraído. En la tabla No. 1 se puede observar que el lote B reportó el mayor porcentaje de extracción de almidón con un 26.46% de los 3499.78 gramos provenientes de 66 bananos (ver anexo No. 1.2), mientras que el lote C reportó 23.94% de almidón de los 3050.42 gramos provenientes de los otros 66 bananos y por último el lote que menos porcentaje de extracción reportó fue el lote A ya que de los 4652.64 gramos que se obtuvieron de los 67 bananos restantes solo se logró extraer 22.25% de almidón. El porcentaje de extracción total de los 199 bananos fue de 24.03%, lo que representó 2691.67 gramos de almidón provenientes de 11202.84 gramos de banano.

En la literatura se encuentran pocos informes relacionados con el aislamiento del almidón de banano, se ha indicado que estos frutos contienen hasta un 70 % de almidón (en base seca, en la cual se ha eliminado todo exceso de agua). En el anexo No. 1.3 se detalla el contenido de almidón en distintas especies del genero *Musa* y como se puede observar los porcentajes de almidón varían de especie en especie dando como resultado porcentajes que van desde el 11.80% hasta el 80.50%, el almidón extraído en esta investigación pertenece a la especie *Sapientum*, variedad Cavendish, y el porcentaje de extracción que se obtuvo se encuentra dentro del rango de porcentajes de almidón que se presenta en el anexo mencionado.

La razón por la cual las especies y variedades del genero *Musa* difieren en porcentajes de almidón se debe principalmente al método utilizado para la extracción del mismo; ya que por ejemplo en esta investigación se utilizó un método de extracción que eliminó una enzima, la polifenoloxidasasa (PPO), la cual ocasionaba un pardeamiento enzimático del banano lo que provocaba que el almidón extraído se degradara más rápido y el hecho de eliminar esta enzima implicó realizarle un tratamiento especial a los distintos lotes, lo que ocasionó pérdida de almidón.

Para eliminar la PPO se utilizó un sistema bifásico acuoso (SEBAS) compuesto por polivinilpirrolidona (PVP), sodio fosfato monobásico y dibásico así como tween 20 (Morales, M; 2013). Este último se utilizó para ayudar a orientar la parte hidrofóbica del SEBAS sobre el nivel del

agua mientras se sumergía la parte hidrofílica. La parte hidrofílica estaba compuesta por una mezcla de las sales y los compuestos hidrofílicos de la muestra, razón por la cual se orientaron en la parte inferior del SEBAS, mientras que la parte hidrofóbica estaba compuesta por una mezcla de PVP y PPO, el PVP sobresalió por encima del nivel del agua a pesar de ser un polímero soluble en dicho solvente y esto se debió a que el PVP se comportó como agente quelante y atrapó a la PPO, separándola así de la muestra. La cantidad utilizada de SEBAS se basó en una relación 1:3, 1 litro de SEBAS por cada 3 litros de muestra.

Después de realizada la extracción del almidón se procedió a identificarlo, en la tabla No. 2 se observan los resultados de la identificación de los tres lotes que se analizaron y como se puede observar los tres lotes dieron un resultado positivo en esta prueba. Para realizar la identificación se utilizó el reactivo de lugol, el cual se compone por una solución de yodo/yoduro de potasio en la cual el yodo (I_2) se encuentra disuelto en una solución acuosa de yoduro de potasio (KI) en esta el ion yoduro se combina con una molécula de yodo y forma el ion triyoduro (I_3) que libera moléculas de yodo que reacciona con la amilosa del almidón y produce un complejo azul intenso, este complejo es en realidad un compuesto de inclusión en el cual las moléculas de yodo están atrapadas dentro de la hélice no ramificada de la amilosa. Si esta red se desintegra, como ocurre cuando se calienta la muestra, el color azul se pierde pero cuando se enfría entonces la cadena se reconstituye y el color azul reaparece (MacFaddin, J; 2003).

Después de realizar la identificación de la materia prima, el almidón, se procedió a sintetizar un bioplástico y en la tabla No. 3 se muestra el rendimiento de las cuatro formulaciones evaluadas en esta investigación y se puede observar que la formulación que presentó un mayor porcentaje promedio de rendimiento frente al almidón fue la formulación BP3 ya que presentó 931.81 % de rendimiento, a diferencia de la formulación BP2 cuyo porcentaje promedio de rendimiento frente al almidón fue de 363.99 %. En cuanto al porcentaje de rendimiento total, la formulación BP1 fue la que obtuvo el mayor rendimiento ya que presentó el 61.81 % promedio de rendimiento, a diferencia de la formulación BP4 que solo obtuvo el 28.51%. La diferencia entre los porcentajes de rendimiento totales se debe a pérdidas ocasionadas por los remanentes que se quedaron en los recipientes donde se elaboraron las formulaciones y por la pérdida de agua y glicerina ocasionada por el secado al que fueron sometidas las formulaciones. En la gráfica No. 3 se puede observar que las formulaciones que tenían un mayor porcentaje de agua y glicerina fueron las que tuvieron un

menor porcentaje promedio de rendimiento total. La diferencia en cuanto al rendimiento también se ve influenciada por los aditivos de cada formulación, los aditivos más higroscópicos como el cloruro de calcio (CaCl_2) y la carboximetilcelulosa (CMC) absorbieron la humedad de las formulaciones y la concentraron en diversos lugares, con lo cual su eliminación por secado fue más efectiva y por lo tanto su rendimiento fue menor, en cambio el carbonato de calcio (CaCO_3) al no absorber la humedad tuvo menor pérdida de la misma y por lo tanto un mayor porcentaje de rendimiento que las formulaciones que contenía CaCl_2 y CMC.

Las cuatro formulaciones que se elaboraron fueron sometidas a tres diferentes pruebas fisicoquímicas para evaluar la dureza, la elongación y la flexión de cada una de las siete muestras de dichas formulaciones. Los resultados de la prueba de dureza se muestra en la tabla No. 4 y se puede observar que la fórmula BP4 tuvo una dureza promedio de 55.00 N; siendo esta la dureza promedio más alta de las cuatro formulaciones, a diferencia de la fórmula BP1 cuya dureza promedio fue de 11.43 N, siendo esta última la formulación con la dureza promedio más baja. La diferencia entre las durezas de la formulaciones se debe a los aditivos que cada una poseía, en el caso de la formula BP1 está solo estaba formada por una mezcla de almidón de banano, agua y glicerina, siendo estos últimos dos aditivos los que cumplieron una función de disolventes y plastificantes. En cambio la fórmula BP4 además de incluir agua y glicerina, también incluyó CaCl_2 el cual le proporciono mayor dureza. Formulaciones con mayor dureza implica materiales más resistentes; los cuales poseen una mayor aplicación industrial, materiales más blandos tienen menor dureza y menor aplicación industrial.

En cuanto a la prueba de elongación, los resultados son descritos en la tabla No. 5 y como se puede observar la fórmula BP3 presentó una elongación promedio del 55.18%, siendo esta la mayor elongación promedio de las cuatro formulaciones a diferencia de la fórmula BP1 cuya elongación promedio fue de 10.71% con lo cual esta última formulación tiene la menor elongación promedio de las cuatro formulaciones.

En el anexo No. 3.2 se pueden observar los pesos utilizados para realizar la prueba de elongación, donde la fórmula BP1 solo necesitó pesos de 200 y 100 gramos a diferencia de la fórmula BP3 que soportó pesos de hasta 1000 gramos, la diferencia de elongación indica que el CaCO_3 en conjunto con la CMC además de funcionar como materiales de relleno también aumentaron la elongación.

Las aplicaciones de los plásticos no se basan únicamente en la resistencia que estos ofrecen, sino también en la deformación que soportan. Materiales resistentes y deformables implican materiales reparables.

La última prueba fisicoquímica que se utilizó para caracterizar las formulaciones fue la prueba de flexión la cual determinó la elongación horizontal de las diferentes formulaciones. En la tabla No. 6 se puede observar que la fórmula BP3 presentó un promedio de flexión de 1.80 centímetros a diferencia de la fórmula BP1 cuyo promedio de flexión fue de 0.89 centímetros, siendo estos los promedios de flexión más altos y bajos, respectivamente. Cabe mencionar que en ambas formulaciones se utilizaron pesas de 200 gramos para provocar la flexión de las muestras, mientras que las formulaciones BP2 Y BP4 necesitaron un peso mayor, 500 gramos, para provocar la flexión pero estas tuvieron un menor desplazamiento. Al igual que con la elongación, la flexión es una característica que a medida que aumenta en un material mayor es su aplicación industrial.

Para tener una visión global de las diferentes pruebas fisicoquímicas, se presentan los datos promedios de dureza, elongación y flexión de las formulaciones en la gráfica No. 4, 5 y 6 (como resultados en Newtons, porcentajes y centímetros, respectivamente). Estas gráficas nos indican que hay diferencias entre las mismas formulaciones y para evaluar estas diferencias se les realizó un análisis de varianza a los resultados de cada una de las tres pruebas fisicoquímicas.

En la tabla No. 7 se presentan los resultados del análisis de varianza de la prueba de dureza y como se puede observar el valor P es menor que el nivel de significación establecido ($\alpha = 0.05$) y por lo tanto las medias de las formulaciones difieren y las distintas formulaciones tienen efectos significativos en la dureza. De igual manera en la tabla No. 8 y en la tabla No. 9 se presentan los resultados del análisis de varianza de la prueba de elongación y de flexión, respectivamente. Como se puede observar el valor P es menor que el nivel de significación establecido y por lo tanto en ambas las medias de las formulaciones difieren y esto indica que las formulaciones tienen efectos significativos en la elongación y en la flexión.

Debido a que se comprobó que las medias de las formulaciones difieren en cada una de las pruebas fisicoquímicas, se procedió a realizar una prueba de intervalos múltiples de Duncan (Test de Duncan) para detectar las diferencias entre las medias. La tabla No. 10 muestra los resultados

del test de Duncan para la prueba de dureza y como se puede observar el valor de las diferencias de las medias tres y cuatro resultó ser menor que el mínimo intervalo significativo correspondiente; entonces se dice que no existe diferencias significativas entre las medias de las formulaciones BP3 y BP4, por el contrario las demás diferencias de medias presentan un valor P menor a 0.05 (nivel de significación) por lo que resultaron ser mayores que el mínimo intervalo significativo correspondiente; entonces se dice que existen diferencias significativas entre sus medias.

Para la prueba de elongación se comprobó que el valor de las diferencias de las medias dos y tres resultó ser menor que el mínimo intervalo significativo correspondiente, según se observa en la tabla No. 11, entonces esto nos indica que no existen diferencias significativas entre las medias de las formulaciones BP4 y BP2, por el contrario las demás diferencias de medias presentan un valor P menor a 0.05 y resultaron ser mayores que el mínimo intervalo significativo correspondiente por lo que se dice que existen diferencias significativas entre sus medias.

Por último la tabla No. 12 presenta los datos del test de Duncan para la prueba de flexión y se puede observar que el valor de las diferencias de las medias dos y cuatro, tres y cuatro y dos y tres resultaron ser menores que los mínimos intervalos significativos correspondientes por lo que no existen diferencias significativas entre las medias de las formulaciones BP3 y BP4, BP2 y BP3 y BP2 y BP4 pero en cambio las demás diferencias de medias presentan un valor P menor a 0.05 y resultaron ser mayores que el mínimo intervalo significativo correspondiente por lo que se dice que existen diferencias significativas entre sus medias.

Estos análisis estadísticos en pocas palabras nos indican dos cosas: lo primero, es que las formulaciones tienen un efecto significativo en los resultados de las pruebas de dureza, elongación y flexión por lo que los aditivos utilizados para su elaboración si aumentan la dureza en el siguiente orden: $(\text{CaCl}_2 + \text{CMC}) > (\text{CaCO}_3 + \text{CMC}) > \text{CMC} > \text{Almidón}$, en el caso de la elongación y la flexión el orden es: $(\text{CaCO}_3 + \text{CMC}) > \text{CMC} > (\text{CaCl}_2 + \text{CMC}) > \text{Almidón}$. Esto indica que, según el análisis de varianza, el mejor aditivo para aumentar la dureza es el $\text{CaCl}_2 + \text{CMC}$ y para aumentar la elongación y la flexión es el $\text{CaCO}_3 + \text{CMC}$.

La segunda cosa que nos indican los análisis estadísticos es que en la prueba de dureza no existen diferencias significativas entre las medias de las formulaciones BP3 y BP4, lo que indica que utilizar CaCl_2 o CaCO_3 no representa una diferencia significativa en cuanto al aumento de la dureza por lo que el orden de los materiales cambia: $(\text{CaCl}_2 + \text{CMC} = \text{CaCO}_3 + \text{CMC}) > \text{CMC} > \text{Almidón}$. Para la prueba de elongación se determinó que no existen diferencias significativas entre las medias de las formulaciones BP4 y BP2, lo que indica que utilizar $\text{CaCl}_2 + \text{CMC}$ o solo CMC no representa una diferencia significativa en cuanto al aumento de la elongación por lo que el orden de los materiales queda de la siguiente manera: $(\text{CaCO}_3 + \text{CMC}) > (\text{CMC} = \text{CaCl}_2 + \text{CMC}) > \text{Almidón}$.

En el caso de la prueba de flexión no existen diferencias significativas entre las medias de las formulaciones BP3 y BP4, BP2 y BP3 y BP2 y BP4 por lo que utilizar $\text{CMC} + \text{CaCO}_3$, $\text{CMC} + \text{CaCl}_2$, CMC, $\text{CMC} + \text{CaCO}_3$, CMC o $\text{CMC} + \text{CaCl}_2$ no representa una diferencia significativa en cuanto al aumento de la flexión por lo que el orden de los materiales sigue igual $(\text{CaCO}_3 + \text{CMC}) > \text{CMC} > (\text{CaCl}_2 + \text{CMC}) > \text{Almidón}$.

Tomando en cuenta los dos análisis estadísticos (análisis de varianza y test de Duncan) se concluye que el mejor aditivo para aumentar la dureza es el CaCO_3 y CaCl_2 , sin diferencia significativa entre el uso de uno u otro, y para aumentar la elongación y la flexión es recomendable utilizar la combinación $\text{CaCO}_3 + \text{CMC}$.

Después del análisis de las características de calidad de las distintas formulaciones y de su análisis estadístico se puede observar que la fórmula más promisoría es la formulación BP3 ya que tiene el mayor porcentaje de rendimiento frente al almidón, es la segunda formulación con el mayor porcentaje promedio de rendimiento total, es la formulación con mayor elongación y flexión, así mismo los aditivos utilizados en esta formulación ($\text{CaCO}_3 + \text{CMC}$) son los mejores para aumentar la dureza, elongación y la flexión.

Debido a estos argumentos la formulación BP3 fue escogida para realizarle pruebas de dureza y tensión según las normas de calidad internacionales de la ASTM. La ASTM (American Society for Testing and Materials) es un líder reconocido a nivel mundial en el desarrollo y entrega de normas internacionales de consenso voluntario, estas normas se utilizan en todo el mundo para mejorar la

calidad de los productos, aumentar su seguridad, facilitar el acceso a los mercados y el comercio y fomentar la confianza de los consumidores.

En la tabla No. 13 se observan los resultados de la prueba de dureza shore A, según normas ASTM, de tres muestras de la fórmula BP3. El promedio de dicha fórmula fue de 6.72 Kilogramos-fuerza por milímetro cuadrado (shore A), lo que significa que se necesitan 6.72 kilopodios para que cedan o se fragmenten las fibras exteriores de una muestra con masa de 1 kilogramo en un sitio donde la prueba haya sido realizada con una gravedad estándar de 9.8 m/s^2 . Si se compara este resultado con la dureza shore A del anexo No. 6.3 (estas muestras no fueron elaboradas en esta investigación pero sus datos son comparados ya que los resultados están expresados en dureza shore A) de unas muestras de polímero modificadas con aceite de higuera, almidón de yuca y monómero acrílico, se puede observar que la dureza de la formulación BP3 es mucho menor a la dureza de las muestras del poliuretano modificado y esto se debe a que dichas muestras fueron modificadas con aditivos extras aparte del almidón, que de por sí ya incluía un plástico sintético, el poliuretano, lo que dio como resultado un polímero más rígido.

En la tabla No. 14 se presentan los resultados de la prueba de tensión o tracción según normas ASTM de tres muestras de la fórmula BP3, se presentan los resultados de esfuerzo en dos diferentes dimensionales (Kg/cm^2 y Mpa) para poder hacer una comparación con los resultados de tensión de dos diferentes polímeros modificados (anexo No. 6.2 y 6.3, estas muestras no fueron elaboradas en esta investigación). Como se puede observar la fórmula BP3 presenta el esfuerzo promedio más bajo, 0.869 Kg/cm^2 y 0.085 Mpa , comparado con el esfuerzo promedio más alto de un polímero reforzado con fibras de estopa de coco (155.12 Kg/cm^2) y con el esfuerzo máximo más alto de un polímero modificado con aceite de higuera, almidón de yuca y monómero acrílico ($18313.00 \text{ Kpa} \approx 18.313 \text{ Mpa}$).

Según los datos de dureza y tensión, según las normas ASTM, la formulación BP3 no presenta rigidez ni resistencia práctica, en comparación con otros polímeros como el que estaba reforzado con estopa de coco o el que estaba modificado con almidón de yuca. Cabe mencionar que dichos polímeros incluyen dentro de su formulación la incorporación de plásticos sintéticos. Por ejemplo el polímero reforzado con estopa de coco tiene incorporado polietileno de alta densidad y el polímero modificado con almidón de yuca tiene como base el poliuretano, como ya se había

mencionado. La incorporación de estos plásticos sintéticos hace que los nuevos polímeros conserven las propiedades mecánicas de los plásticos sintéticos y no se examinen las propiedades mecánicas de los otros aditivos como la estopa de coco o el almidón de yuca. Estos polímeros modificados podrán tener buenas propiedades mecánicas pero no se evaluó su degradabilidad y por lo general polímeros más rígidos y resistentes tienden a ser menos degradables y por lo tanto se convierten en fuentes de contaminación. Aunque el propósito de esta investigación no era hacer una comparación entre bioplásticos, se decidió hacer una extensión de este estudio para proporcionar antecedentes para futuras investigaciones sobre bioplásticos.

Uno de los objetivos de esta investigación fue determinar el costo de producción del bioplástico obtenido a escala piloto y en la tabla No. 15 se presentan los costos de los insumos que se utilizaron para la extracción del almidón; se puede observar que el insumo más caro fue la PVP ya que tuvo un costo de Q 115.00, mientras que el Na_2HPO_4 costó Q 18.00, siendo este último el insumo más barato. En cuanto a los bananos, que fueron la materia prima para la extracción del almidón, su costo fue de Q 96.00 representando así el tercer insumo más caro. En la tabla No. 15 también se puede observar una columna que detalla la cantidad comprada de cada insumo y si se compara con la columna que indica la cantidad utilizada de cada insumo, se puede notar que se compró más insumo del que se utilizó y esto se debió a que ciertos insumos no se vendían por una cantidad menor a la que se indica en la columna de "cantidad comprada".

El costo total de los insumos utilizados para la extracción de 2691.67 gramos de almidón de banano fue de Q 421.00 por lo que el costo de extracción de un gramo de almidón es de Q 0.16; a simple vista este precio parece bajo pero si se compara con el precio de una libra de almidón de maíz, la cual tiene un costo de Q 4.85 (según cotización realizada en distribuidora de esta materia prima), se puede observar que el almidón de banano es mucho más caro ya que una libra de este tendría un costo de Q 72.00 ($450 \text{ g} * \text{Q } 0.16$). La diferencia de precios entre el almidón de banano y el almidón de maíz se debe a la eliminación de la PPO, por lo que al no eliminar esta enzima se podría disminuir el precio del almidón de banano considerablemente. También cabe mencionar que debido a que no se utilizó toda la cantidad comprada de los insumos y si se hubiera utilizado toda la cantidad de los mismos entonces la cantidad de almidón aumentaría y el costo por gramo podría reducirse.

Pero para obtener el costo total de la producción del bioplástico no es suficiente con saber el costo de la extracción del almidón de banano, se tiene que determinar el costo de los insumos de la plastificación y eso se puede observar en la tabla No. 16, donde el insumo más caro que se presenta es el almidón de banano ya que este tuvo un costo de Q 178.50 mientras que el cloruro de calcio solo costó Q 5.00, por lo que este último representó el insumo más barato. El costo total de la plastificación de las cuatro formulaciones según la tabla No. 17 fue de Q 338.50 y en la gráfica No. 7 se observa que la formulación BP1 es la más cara ya que su elaboración tuvo un costo de Q 105.40, la formulación BP3 fue la segunda más costosa con un precio de Q 88.03 mientras que la elaboración de la formulación BP2 costó Q 70.03 siendo esta la formulación que tuvo el menor costo de elaboración. Se realizaron siete repeticiones de cada formulación y cada repetición tuvo un volumen de 300 cm^3 (30 cm de largo * 5 cm ancho * 2 cm espesor) por lo que cada repetición de la formulación BP1 tuvo un costo de Q 15.06 mientras que cada repetición de la formulación BP3 costó Q 12.58 y cada repetición de la formulación BP2 costó Q 10.00, siendo estas la repeticiones por formulación más caras y más baratas, respectivamente.

Los plásticos convencionales fueron elaborados para ser materiales estables y duraderos, pero debido a que el ser humano se convirtió en un ser consumista y poco reciclador, los plásticos tendieron a acumularse y la enorme ventaja de ser estables y duraderos se convirtió en poco tiempo en una gran desventaja ya que el desecho de estos materiales conlleva una enorme acumulación en los vertederos sanitarios. La elaboración de bioplásticos degradables es una tendencia que en los últimos años a tratado de solucionar el problema cada vez más oneroso de la acumulación de los plásticos convencionales. Es por esto que en esta investigación se realizaron pruebas de degradabilidad a las siete muestras de cada una de las cuatro formulaciones.

En la tabla No. 18 se presentan los resultados de las dos pruebas de degradabilidad, degradabilidad por agua y degradabilidad por intemperie, realizadas a las cuatro formulaciones elaboradas en esta investigación y como se puede observar la degradabilidad por agua es mayor que la degradabilidad por intemperie ya que el porcentaje promedio de degradabilidad por agua es de 72.49% mientras que la degradabilidad por intemperie presentó un 5.60%.

Este último porcentaje solo toma en cuenta los porcentajes de degradación de las formulaciones BP1, BP2 Y BP4 ya que la formulación BP3 tuvo un porcentaje de degradación de -13.86%, lo que

implica que esta formulación no se degradó sino que aumento su peso y esto se debió a que durante los días en que las muestras de la formulación BP3 fueron expuestas a la intemperie llovió y esto ocasiono que las superficies de las muestras se tornaran viscosas y debido a que el aire depositó partículas de polvo, estas se adhirieron a la superficies y por lo tanto las muestras aumentaron de peso.

La degradabilidad por intemperie se produjo por efecto de la fotodegradación debida a la combinación de luz solar y radiación ultravioleta que afecto a los aditivos plastificantes presentes en las formulaciones. La baja degradabilidad por intemperie nos indica que el bioplástico sintetizado en esta investigación se puede dejar bajo la luz solar al menos por 30 días sin que ocurra su degradación completa, lo cual es importante en la elaboración de materiales plásticos para empaques.

Por otra parte, la degradabilidad por agua se produjo por efecto de la disolución de las moléculas del bioplástico al momento que el agua estuvo en contacto con las muestras. Los gránulos del almidón aumentaron la capacidad del bioplástico para absorber agua, lo que facilitó la fragmentación de las superficies tanto internas como externas de las muestras ya que estas llegaron a un punto en el cual no pudieron continuar con su expansión y por lo tanto se produjo la disolución de las muestras.

En el anexo No. 7.7 se observan los porcentajes de pérdida de peso de un polímero elaborado a partir de almidón de yuca que fue sometido a cuatro diferentes medios de degradación, pérdida de peso, entre los cuales se encontraba la degradación por agua dulce y por luz solar. El polímero sometido a degradación por agua dulce presentó una pérdida de peso del 86.83% y el polímero sometido a degradación por luz solar presentó una pérdida de peso del 2.05%.

Como se puede observar la degradabilidad por agua dulce del polímero de yuca es 14.34% mayor que la observada en el promedio del bioplástico de almidón de banano, 72.49%, pero se asemeja a la degradabilidad de la formulación BP4. Por el contrario las formulaciones BP2 Y BP3 son superiores en la degradabilidad por agua del polímero de yuca en un 5.30 y 4.69%, respectivamente.

En cuanto a la segunda degradación a la cual fue sometido el polímero de almidón de yuca, podemos observar que el promedio de degradación por luz solar de este polímero es 3.55% inferior al porcentaje de degradación promedio del bioplástico de almidón de banano por degradabilidad debida a condiciones de intemperie. Los porcentajes de degradación del bioplástico estudiado en esta investigación se asemejan a los porcentajes de degradación del polímero de almidón yuca, con la diferencia de que las pruebas de degradabilidad de este último fueron efectuadas durante 60 días, mientras que las efectuadas en esta investigación fueron efectuadas solo por 30 días. Como se menciona anteriormente el propósito de esta investigación no era hacer una comparación entre bioplásticos, pero este tipo de comparaciones pueden orientar futuras investigaciones en las cuales se sometan a pruebas de degradabilidad diferentes bioplásticos pero en las mismas condiciones de estudio para así determinar que formulaciones podrían en un futuro desplazar a los plásticos sintéticos que contaminan nuestro ambiente.

En la tabla No. 18 también se muestran los resultados de la degradación de una muestra control elaborada a partir de hule y como se puede observar el porcentaje de degradabilidad por intemperie fue de 0.18% y el porcentaje de degradabilidad por agua fue de -1.13%, este último porcentaje indica que la muestra aumento de peso por lo cual no se degrado. El aumento de peso se debió a que la muestra absorbió agua.

La muestra de hule también fue caracterizada al igual que las formulaciones estudiadas en esta investigación y presentó una dureza superior a 150 N, un porcentaje de elongación del 0.00% y un desplazamiento de 0.00 cm en la prueba de flexión, según anexos No. 3.1, 3.2 y 3.3, respectivamente. Estos datos y los del párrafo anterior nos indican que la muestra de hule es un material duro, rígido, inflexible y escasamente degradable; por lo cual es un material útil para aplicaciones industriales como lo es la fabricación de piezas de maquinaria, piezas que deben ser resistentes y duraderas.

Por otro lado la formulación BP3, según los resultados de caracterización y degradación, está elaborada de un material poco duro, medianamente maleable y flexible así como altamente degradable; características que lo convierten en un material útil para aplicaciones industriales como la fabricación de materiales de empaque como bolsas y cajas, así también este material sería útil para la fabricación de materiales de uso cotidiano como platos, vasos y cubiertos. Se insiste en

que el propósito de esta investigación no es la comparación entre plásticos convencionales como el hule y otros bioplásticos pero al hacer esta comparación se puede observar que aunque el bioplástico elaborado a partir de almidón de banano verde *Musa sapientum* variedad *Cavendish* no es tan resistente, maleable y flexible como los plásticos convencionales y otras formas de bioplásticos, si podría ser un material con aplicaciones industriales.

La fabricación de materiales de empaque y de uso cotidiano utilizando la formulación BP3 aseguraría que estos materiales serían altamente degradables y que después de su uso estos no contaminarían el ambiente y es que los materiales de empaque y de uso cotidiano hoy en día son la mayor fuente de contaminación ya que son utilizados por poco tiempo y después de su uso son depositados en rellenos sanitarios donde suelen pasar varios cientos de años antes de degradarse por completo.

A pesar de que la formulación BP3 fue la más promisoría, las formulaciones BP2 Y BP4 también presentaron cierto grado de elongación y dureza, respectivamente, aunque no fueron evaluadas según las normas ASTM. Por lo que también podrían ser utilizadas para la elaboración de materiales de empaque; por otro lado la formulación BP1 no presenta dureza, elongación o flexión apropiada para la elaboración de algún tipo de material con aplicación industrial, según se aprecia en el anexo No. 2.1

X. CONCLUSIONES

- 10.1 Utilizando cuatro formulaciones elaboradas a partir de almidón de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*) se logró sintetizar un bioplástico cuyas características de calidad lo definen como un producto adecuado para la elaboración de materiales de empaque.
- 10.2 El porcentaje de rendimiento (extracción) total de los 199 bananos utilizados como materia prima fue de 24.03%, lo que representó 2691.67 gramos de almidón provenientes de 11202.84 gramos de banano verde (*Musa sapientum* variedad *Cavendish*).
- 10.3 Para aumentar la dureza de las formulaciones los mejores aditivos fueron el CaCO_3 y CaCl_2 , sin diferencia significativa entre el uso de uno u otro, mientras que para aumentar la elongación y la flexión es recomendable utilizar la combinación CaCO_3 + CMC.
- 10.4 La fórmula BP3 es la formulación más promisoría de esta investigación ya que presentó el mayor porcentaje promedio de rendimiento frente al almidón, la mayor elongación promedio y la mayor flexión promedio. Mientras que la fórmula BP4 presentó la mayor dureza promedio.
- 10.5 Según la norma internacional ASTM D-2240 y ASTM D-638, la fórmula BP3 tiene en promedio una dureza shore A de 6.72 y una tensión promedio de 0.085 Mpa, lo que indica que esta fórmula no es muy rígida y no soporta esfuerzos muy grandes.
- 10.6 Se determinó el costo de producción de cuatro fórmulas de bioplástico a escala piloto. La elaboración de una muestra de 300 cm^3 de la formulación BP1 tuvo un costo de Q 15.06, una muestra de la formulación BP3 de las mismas dimensiones costó Q 12.58, mientras que la elaboración de una muestra de 300 cm^3 de la formulación BP2 costó Q 10.00, estas fueron las muestras por formulación más caras y más baratas, respectivamente.
- 10.7 Al determinar la degradabilidad del bioplástico se obtuvo que la degradación promedio por agua es mayor que la degradación promedio por intemperie.

10.8 La fórmula BP3 está elaborada de un material poco duro, medianamente maleable y flexible así como altamente degradable; características que lo convierten en un material útil para aplicaciones industriales como lo es la fabricación de materiales de empaque como lo son las bolsas y cajas, así también como para la fabricación de materiales de uso cotidiano como lo son los platos, vasos y cubiertos.

XI. RECOMENDACIONES

- 11.1 Realizar comparaciones entre la formulación BP3 elaborada a partir de almidón de banano verde y almidón de maíz o almidón de yuca.
- 11.2 Realizar pruebas de vulcanización con azufre para aumentar tanto la dureza como la elongación en la formula BP3.
- 11.3 Disminuir el porcentaje de glicerina en las formulaciones a un 5% ya que eso reduciría costos y probablemente aumentaría la dureza.
- 11.4 Realizar pruebas de degradabilidad utilizando las siguientes normas: ASTM D5988-03 “biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o residuos plásticos después del compostaje”, norma ASTM D6691-01 “Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de los materiales plásticos en medio marino por un consorcio microbiano definido”, norma ASTM 5526-94 “biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en condiciones aceleradas de relleno sanitario” y norma ASTM 5247 “biodegradación anaeróbica de plásticos degradables por microorganismos específicos”.
- 11.5 Elaborar vasos, platos o bolsas a partir de la formulación BP3 y evaluar su uso y costo.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Acosta, H; Velasco, R. y Villada, H. (2007). *Biopolímeros Naturales Usados en Empaques Biodegradables*. Temas Agrarios. 12: 5 – 13.
- Afanador, A. (2005). *El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante*. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA). (3): 51-68.
- Alzate, A; Marín, M. y Mazzeo, M. (2008). *Obtención de Almidón a partir de residuos poscosecha del plátano Dominic Hartón (Mussa AAB Simmonds)*. Revista Vector. 3: 57 -69.
- Asimov, I. (2007). *Historia y cronología de la ciencia y los descubrimientos: Cómo la ciencia ha dado forma a nuestro mundo*. España. Editorial Ariel.
- ASTM. (1990). *Annual Book of ASTM Standards*. (8). Philadelphia.
- Ayaz, F. A. et al. (2008). Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. *Food Chemistry*, 106:291-298.
- Belitz, H.D. & Grosh, W. (2004). *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia S.A., Zaragoza. España. p.105-172.
- Beltrán, Maribel y Gomis, Antonio. (2012). *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Universidad de Alicante. España. P. 79
- Besednjak, Alejandro. (2009). *Materiales compuestos*. Universidad politécnica de Catalunya. España. P 20
- Billmeyer, Fred. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Editorial Reverte. España. P 504.
- Calderón, J. Et al. (2011). Desarrollo de un método para la extracción de polifenol oxidasa de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y aislamiento por sistemas bifásicos acuosos. *Revista VITAE. Facultad de Química Farmacéutica*. 18: 124 -132.
- Calvo, M. 2007. *Bioquímica de los Alimentos*. Disponible en: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/enzimas/tirosinasa.html> (consultada en: agosto 22 de 20013).

Camargo, D. C. (2006). Síntesis y caracterización de polímeros tipo IPN's con base en aceite de higuera modificado, almidón y monómero acrílico. Facultad de Ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander. Colombia.

Carey, F.A. (2006). Química Orgánica (6ª Edición). México. Editorial McGraw-Hill.

Castro, Lucas. Etl. (2006). Procesos industriales para materiales metálicos. 2 edición. Editorial visión libros. España. P 34

Costa, J.M. (2005). Diccionario de química física. España. Ediciones Díaz de Santos.

De Almeida. A. *Et al.* (2004, Septiembre). Bioplásticos: una alternativa ecológica. Química Viva. (3): 122-133.

Dietz. Albert. (1973). Plásticos para arquitectos y constructores. Reverte. España. P 78

ECOEMBES. (2008). *Proyecto de Análisis de Bioplásticos, informe sobre biodegradabilidad teórica de envases plásticos.* (en línea). Fecha de acceso 20 de febrero de 2012. Disponible en <http://www.ecoembes.com/es/documentos-e-informacion/estudios-idi/Documents/Pl%C3%A1sticos/Informe%20sobre%20biodegradabilidad%20te%C3%B3rica%20de%20envases%20BPL.pdf>

ECOEMBES. (2009). *Proyecto de Análisis de Bioplásticos, resumen ejecutivo.* (en línea). Fecha de acceso 17 de febrero de 2012. Disponible en http://www.ecoembes.com/es/documentos-e-informacion/estudios-idi/Documents/Pl%C3%A1sticos/RESUMEN_EJECUTIVO.pdf

Esteve, M. (2007). *Tecnologías II ESO.* Editorial Editex. España.

Flores. C. (2009, Octubre). Polímeros Vs. Plásticos. Ingeniería Primero. (14): 51-60.

Franco, J. (2004). *Producción de Biopolímeros Vía Fermentativa Utilizando Cepas de Rhizobium leguminosarum.* Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia.

- García, Luis. Etal . (2009). Elementos metálicos y sintéticos: carrocería. 5ª Edición. Editorial paraninfo. España. pp 232. Pag. 127 y 136
- Góngora, M.R. (2011). Estudio de las características espesantes y viscosantes del almidón de banano, comparado con los almidones utilizados comercialmente. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Groover, M. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas. México. Pearson Educación.
- Guerrero, C.A. (2009). Inhibición de la actividad enzimática de la polifenol oxidasa extraída del banano (cavendish valery) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Gutsche, C.D. & Pasto, D.J. (1978). Fundamentos de química orgánica. España. Reverte.
- Hill, J. & Kolb D. (1999). Química para el nuevo Milenio. 8 va Ed. México. Pearson Educación.
- Kachur, M. (2011). Un material milagroso. México. Benchmark Education Company.
- López, A. *Et al.* (2004). *Biotecnología Alimentaria*. Editorial Limusa. México.
- López, F. (2004). Fundamentos de polímeros. Venezuela. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Química.
- MacFaddin, J.F. (2003). Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica. 3ª Edición. Argentina. Editorial medica Panamericana.
- Maier, Marta. (2010). Polímeros. Departamento de Química Orgánica. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina. pp 24
- Martínez, J.E. (2006). Química 2. (2ª Edición) (Volumen 2). México. Cengage Learning Editores.

- McMurry, J. (2008). Química Orgánica. 7ª edición. Editorial Cengage Learning. México Pp 1352.
- Méndez, A.E. (2010). *Extracción de almidón del banano verde (Musa Sapientum variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Meneses, J; Corrales, C.M; y Valencia, M. (2007). *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA). (8): 57-67.
- Miller. G. (2002). Ciencia ambiental: preservemos la tierra. 5ta Edición. Editorial Cengage Learning. México P 383
- Morales, M. M. (2013). Síntesis de glucosa por hidrólisis ácida a partir de almidón de banano (Musa paradisiaca, variedad cavendish) para uso farmacéutico. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Pérez, M.A. (2008). *Elaboración de matrices de polímeros reciclados reforzados con fibras de la estopa del coco y determinación de sus propiedades físicas y mecánicas*. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- PROARCA. (2004). Reporte nacional de manejo de residuos en Guatemala, Residuo: plásticos diversos. (en línea). Fecha de acceso 8 de febrero de 2012. Disponible en <http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/desechos/documentos/nac/%286%29%20P%20LASTICOS%20DIVERSOS%20GUA.pdf>
- Ramirez EC. Etal. (2003). Polyphenol Oxidase: Handbook of Food Enzymology. Marcel Dekker Inc. EE.UU. p. 509-523.
- Rojas, M; Vallejo, B. y Perilla, J. (2008). *Los biopolímeros como materiales para el desarrollo de productos en aplicaciones farmacéuticas y de uso biomédico*. Ingeniería e investigación. 28: 57 -71.

- Ruiz, G; Montoya, C; y Paniagua, M. (2009). *Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca*. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA). (12): 67-78.
- Sánchez. Enrique. (2006). Elementos metálicos y sintéticos: Mantenimiento de vehículos autopropulsados. Editex. México. Pp. 247. Pag 182.
- Schmid, S.R. etal. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. (4ª Edición). Editorial Pearson Educación.
- Schweigger. Enrique. (2005). Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Ediciones Diaz de Santo. España. Pp. 288. Pág. 55
- Sharpe, A.G. (1996) Química inorgánica (2ª Edición). España. Reverte.
- Skoog, D.A. etal. (2008). Principios de Análisis Instrumental. (6ª Edición). México. Cengage Learning Editores.
- Soto, V.S. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa Cavendishii*) y banana verde (*Musa Paradisiaca*). Revista Boliviana de Química. 27: 94-99.
- Wide, L.G. (2004). Química Orgánica. (5ta Edición). España. Pearson Educación.
- Zamudio. F. Et al. (2007, Septiembre). Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano. Agrociencia. (41): 837-844.

XIII. ANEXOS

Anexo No. 1
Extracción de almidón

Anexo No. 1.1 Gramos de banano verde

65.01	60.20	72.24	57.20	54.26	40.37	52.45	
81.62	66.93	60.46	55.20	44.86	47.11	49.17	
77.97	62.42	87.45	59.93	47.21	45.54	50.62	
73.18	68.92	86.07	54.52	49.06	45.43	42.30	
72.53	66.38	89.51	40.44	48.86	42.98	46.30	
67.83	63.03	70.60	48.93	52.20	46.18	52.74	
72.80	80.58	84.87	60.06	49.68	45.90	47.66	
58.69	49.55	98.33	58.20	57.39	42.86	53.36	
64.48	57.42	99.47	50.48	51.16	34.43	47.13	
67.66	57.88	61.13	52.11	51.19	37.90	50.95	
64.83	56.80	52.66	58.97	52.91	35.25	48.34	
62.98	69.01	52.80	50.45	46.30	38.92	53.14	
75.21	57.16	46.20	58.17	47.56	34.65	53.98	
66.79	57.13	64.76	57.67	48.69	36.35	52.63	
68.40	60.01	49.63	52.48	51.16	32.91	46.00	
59.45	56.00	56.58	52.56	49.26	37.08	49.89	
51.67	54.76	52.22	58.06	46.64	34.57	46.15	
54.05	89.96	59.77	49.94	45.15	37.81	43.23	
65.02	93.00	55.94	49.65	39.48	53.46	48.30	
59.07	80.40	48.06	58.67	57.29	43.25	51.75	
62.17	94.53	64.76	54.71	42.08	45.93	47.28	
65.97	77.85	51.52	47.08	43.68	50.38	48.91	
50.95	73.10	56.42	54.72	59.15	49.17	48.44	
61.80	84.61	55.01	52.63	49.61	50.50	51.17	
62.17	79.43	50.25	48.61	50.47	52.87	46.71	
58.05	77.11	59.53	60.49	40.55	39.88	Total de bananos: 199	
54.26	81.54	46.62	52.91	42.34	43.80		
66.54	65.03	56.97	54.90	48.83	45.85		
69.02	82.73	49.26	51.56	46.85	65.01		
Total de gramos				11,202.84			
Promedio de pesos				56.30			

Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 1.2 División de bananos por lotes

Lote A	Lote B	Lote C
65.01	61.13	45.15
81.62	52.66	39.48
77.97	52.80	57.29
73.18	46.20	42.08
72.53	64.76	43.68
67.83	49.63	59.15
72.80	56.58	49.61
58.69	52.22	50.47
64.48	59.77	40.55
67.66	55.94	42.34
64.83	48.06	48.83
62.98	64.76	46.85
75.21	51.52	40.37
66.79	56.42	47.11
68.40	55.01	45.54
59.45	50.25	45.43
51.67	59.53	42.98
54.05	46.62	46.18
65.02	56.97	45.90
59.07	49.26	42.86
62.17	57.20	34.43
65.97	55.20	37.90
50.95	59.93	35.25
61.80	54.52	38.92
62.17	40.44	34.65
58.05	48.93	36.35
54.26	60.06	32.91
66.54	58.20	37.08
69.02	50.48	34.57
60.20	52.11	37.81
66.93	58.97	53.46
62.42	50.45	43.25
68.92	58.17	45.93
66.38	57.67	50.38
63.03	52.48	49.17
80.58	52.56	50.50
49.55	58.06	52.87
57.42	49.94	39.88
57.88	49.65	43.80
56.80	58.67	45.85

69.01	54.71	65.01
57.16	47.08	52.45
57.13	54.72	49.17
60.01	52.63	50.62
56.00	48.61	42.30
54.76	60.49	46.30
89.96	52.91	52.74
93.00	54.90	47.66
80.40	51.56	53.36
94.53	54.26	47.13
77.85	44.86	50.95
73.10	47.21	48.34
84.61	49.06	53.14
79.43	48.86	53.98
77.11	52.20	52.63
81.54	49.68	46.00
65.03	57.39	49.89
82.73	51.16	46.15
72.24	51.19	43.23
60.46	52.91	48.30
87.45	46.30	51.75
86.07	47.56	47.28
89.51	48.69	48.91
70.60	51.16	48.44
84.87	49.26	51.17
98.33	46.64	46.71
99.47	Total de bananos: 199	

Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 1.3 Contenido de almidón en distintas especies del genero *Musa* según diversos autores

Variedad	Almidón (%)
<i>Musa spp.</i>	61.74
<i>Musa paradisiaca Normalis</i>	12.00
Macho	43.80
Criollo	11.80
<i>Musa paradisiaca</i> (Macho)	80.50
<i>Musa paradisiaca</i>	73.42
<i>Musa cavendishii</i>	68.13
<i>Musa</i> AAB Simmonds	23.16

Fuente: (Góngora, 2011), (Soto, 2010) y (Alzate, A; Marín, M. y Mazzeo, M. 2008) %= porcentaje

Anexo No. 1.4

Diagrama de flujo para extracción de almidón



1° Conseguir materia prima



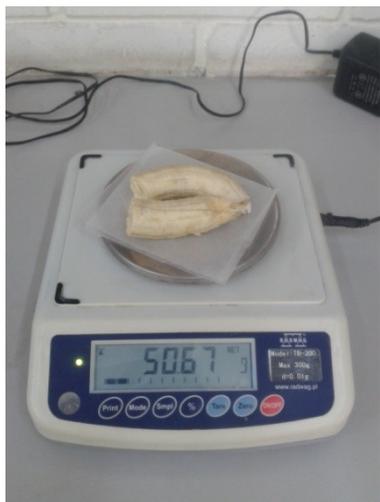
2° Preparar solución Antioxidante (Ácido Ascórbico 4%)



3° Cortar longitudinalmente el banano



4° Pelar el banano



5° Pesar el banano



6° Colocar el banano en Sol. Antioxidante



7° Licuar el banano con la Sol. Antioxidante



8° Moler el banano



9° Lavar Sol. Antioxidante



10° Refrigerar muestras por 1 hora



11° Decantar sobrenadante, repetir paso 9°, 10° y 11° hasta que se clarifique el agua



12° Elaborar buffer de fosfatos



13° Refrigerar muestras por 48 horas



14° Lavar buffer de fosfatos



15° Decantar sobrenadante, repetir paso 14°, 10° y 15° hasta que se clarifique el agua y la muestra



16° Eliminar exceso de agua



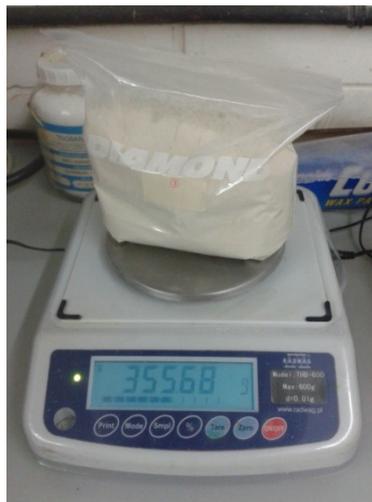
17° Secar muestras (60-70°C)



18° Triturar muestras secadas



19° Secar muestras trituradas (60-70°C) hasta que el porcentaje de humedad sea menor al 4%

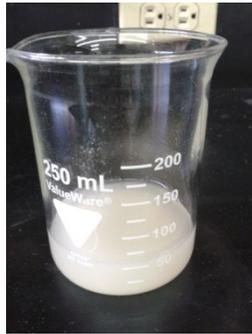


20° Empacar y pesar muestras

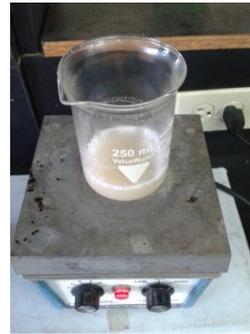
Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 1.5

Diagrama de flujo de identificación de almidón extraído



1° Suspender 1 g de muestra en 50 ml de agua



2° Agitar suspensión y hervir por 1 minuto



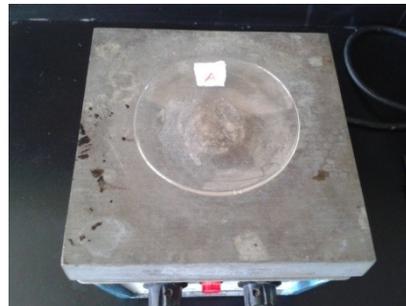
3° Enfriar muestra



4° Colocar 1 ml de muestra en un vidrio de reloj y añadir 0.05 ml de yodo/yoduro de potasio



5° Mezclar y observar coloración



6° Calentar muestra y observar decoloración

Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 2 Formulaciones

Anexo No. 2.1

Formulación BP1



BP1.1



BP1.2



BP1.3



BP1.4



BP1.5



BP1.6



BP1.7







BP4.1



BP4.2



BP4.3



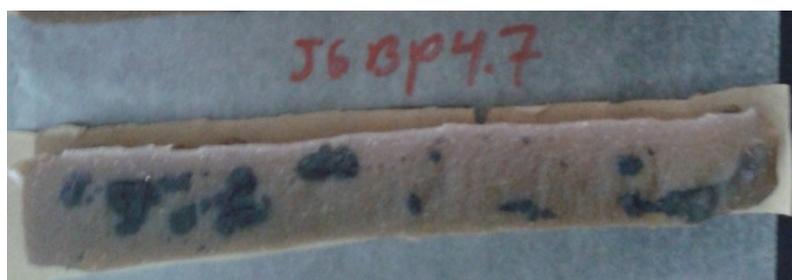
BP4.4



BP4.5



BP4.6



BP4.7

Anexo No. 2.5

Rendimiento de formulaciones

Fórmula	Muestra	Peso Teórico (g)	% de agua + glicerina	Peso Experimental (g)	% de rendimiento frente al almidón	% promedio de rendimiento frente al almidón	Desviación estándar	% de rendimiento total	% promedio de rendimiento total	Desviación estándar
BP1	BP1.1	466.8	87.15	274.6	457.67	390.18	25.61	58.83	61.81	3.29
	BP1.2			276.8	461.33			59.30		
	BP1.3			274.9	458.17			58.89		
	BP1.4			312.6	521.00			66.97		
	BP1.5			304.3	507.17			65.19		
	BP1.6			294.2	490.33			63.02		
	BP1.7			282.3	470.50			60.48		
BP2	BP2.1	542.4	92.81	155.5	518.33	363.99	13.71	28.67	29.89	0.76
	BP2.2			165.9	553.00			30.59		
	BP2.3			166.0	553.33			30.60		
	BP2.4			163.7	545.67			30.18		
	BP2.5			157.3	524.33			29.00		
	BP2.6			163.5	545.00			30.14		
	BP2.7			162.9	543.00			30.03		
BP3	BP3.1	554.4	90.80	297.1	990.33	931.81	14.59	53.59	50.42	2.63
	BP3.2			293.3	977.67			52.90		
	BP3.3			262.2	874.00			47.29		
	BP3.4			278.5	928.33			50.23		
	BP3.5			262.8	876.00			47.40		
	BP3.6			271.7	905.67			49.01		
	BP3.7			291.2	970.67			52.53		
BP4	BP4.1	554.4	90.80	161.3	537.67	526.81	6.04	29.09	28.51	1.09
	BP4.2			159.9	533.00			28.84		
	BP4.3			161.7	539.00			29.17		
	BP4.4			159.8	532.67			28.82		
	BP4.5			163.9	546.33			29.56		
	BP4.6			146.7	489.00			26.46		
	BP4.7			153.0	510.00			27.60		

Fuente: Datos experimentales

g= gramos, % = porcentaje

Anexo No. 3
Caracterización de formulaciones

Anexo No. 3.1

Prueba de dureza de muestras de formulaciones

Formulación	Muestra	Resultado (N)	Promedio (N)	Desviación estándar
BP1	BP1.1	10.00	11.43	3.18
	BP1.2	12.50		
	BP1.3	12.50		
	BP1.4	10.00		
	BP1.5	7.50		
	BP1.6	10.00		
	BP1.7	17.50		
BP2	BP2.1	22.50	32.50	6.12
	BP2.2	30.00		
	BP2.3	32.50		
	BP2.4	42.50		
	BP2.5	35.00		
	BP2.6	30.00		
	BP2.7	35.00		
BP3	BP3.1	52.50	54.29	13.67
	BP3.2	55.00		
	BP3.3	75.00		
	BP3.4	70.00		
	BP3.5	40.00		
	BP3.6	45.00		
	BP3.7	42.50		
BP4	BP4.1	45.00	55.00	12.08
	BP4.2	65.00		
	BP4.3	72.50		
	BP4.4	55.00		
	BP4.5	62.50		
	BP4.6	42.50		
	BP4.7	42.50		
Hule	Control	>150	N.A.	

Fuente: Datos experimentales

N = Newtons, N.A. = No aplica

Anexo No. 3.2

Prueba de elongación de muestras de formulaciones

Formulación	Muestra	Peso utilizado (g)	Resultado (%)	Promedio (%)	Desviación estándar
BP1	BP1.1	200	18.75	10.71	4.72
	BP1.2	200	6.25		
	BP1.3	200	12.50		
	BP1.4	100	12.50		
	BP1.5	100	12.50		
	BP1.6	100	6.25		
	BP1.7	100	6.25		
BP2	BP2.1	500	18.75	28.75	6.85
	BP2.2	500	25.00		
	BP2.3	500	22.50		
	BP2.4	500	31.25		
	BP2.5	500	35.00		
	BP2.6	500	37.50		
	BP2.7	500	31.25		
BP3	BP3.1	1000	62.50	55.18	10.49
	BP3.2	1000	63.75		
	BP3.3	1000	37.50		
	BP3.4	1000	56.25		
	BP3.5	1000	67.50		
	BP3.6	1000	50.00		
	BP3.7	1000	48.75		
BP4	BP4.1	1000	11.25	26.96	10.75
	BP4.2	1000	36.25		
	BP4.3	1000	28.75		
	BP4.4	1000	37.50		
	BP4.5	1000	31.25		
	BP4.6	1000	12.50		
	BP4.7	1000	31.25		
Hule	Control	1000	0.00	N.A.	

Fuente: Datos experimentales

g = gramos, % = porcentaje N.A. = No aplica

Anexo No. 3.3

Prueba de flexión de muestras de formulaciones

Formulación	Muestra	Peso utilizado (g)	Resultado (cm)	Promedio (cm)	Desviación estándar
BP1	BP1.1	200	1.30	0.89	0.45
	BP1.2	200	0.30		
	BP1.3	200	1.00		
	BP1.4	200	0.70		
	BP1.5	200	0.40		
	BP1.6	200	1.50		
	BP1.7	200	1.00		
BP2	BP2.1	500	1.50	1.76	0.17
	BP2.2	500	1.80		
	BP2.3	500	1.90		
	BP2.4	500	1.70		
	BP2.5	500	1.80		
	BP2.6	500	1.60		
	BP2.7	500	2.00		
BP3	BP3.1	200	1.00	1.80	0.64
	BP3.2	200	2.00		
	BP3.3	200	2.20		
	BP3.4	200	2.50		
	BP3.5	200	2.40		
	BP3.6	200	1.50		
	BP3.7	200	1.00		
BP4	BP4.1	500	0.90	1.51	0.78
	BP4.2	500	2.00		
	BP4.3	500	1.00		
	BP4.4	500	1.30		
	BP4.5	500	0.80		
	BP4.6	500	1.60		
	BP4.7	500	3.00		
Hule	Control	1000	0.00	N.A.	

Fuente: Datos experimentales

g = gramos, cm = centímetros, N.A. = No aplica

Anexo No. 3.4

Pruebas de caracterización

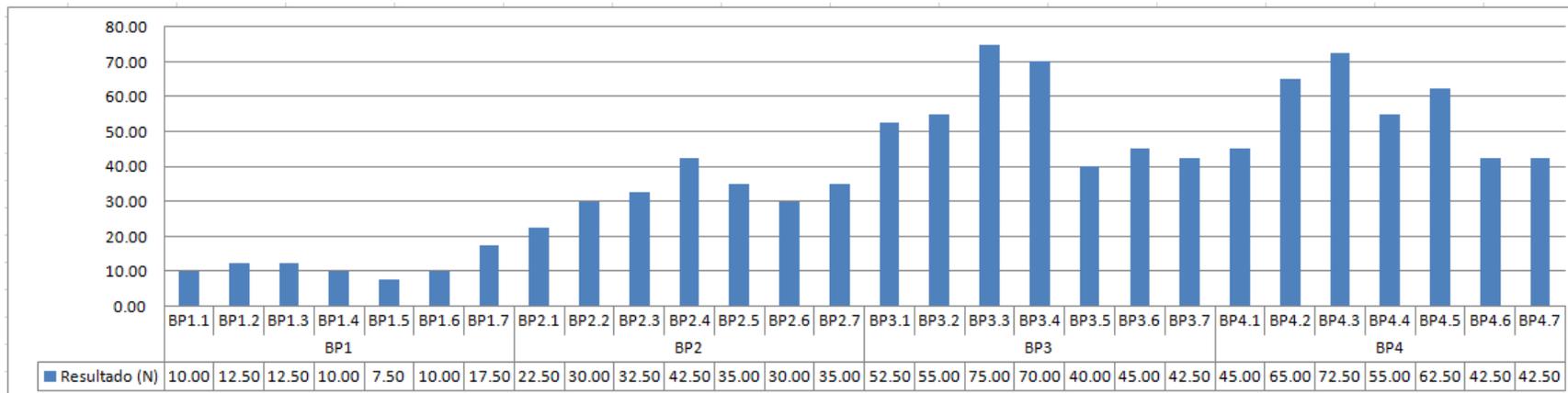
Fórmula BP1			
Dureza		Elongación	Flexión
			
Fórmula BP2			
Dureza		Elongación	Flexión
			
Fórmula BP3			
Dureza		Elongación	Flexión
			

Fórmula BP4		
Dureza	Elongación	Flexión
 	 	
Control		
Dureza	Elongación	Flexión
 	 	

Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 3.5

Dureza de formulaciones

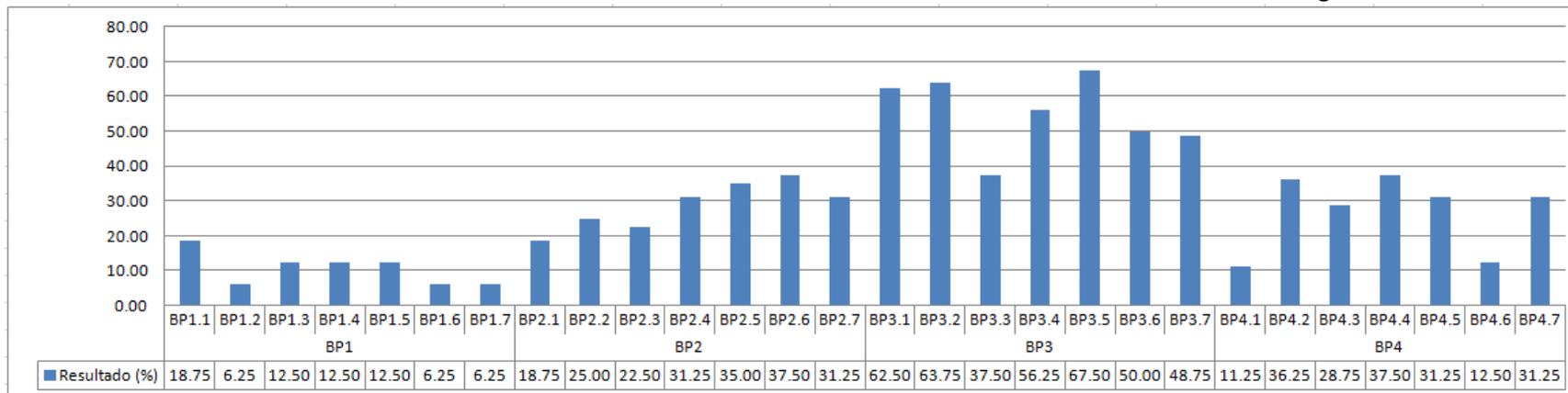


Fuente: Anexo No. 3.1

N = Newtons

Anexo No. 3.6

Elongación de formulaciones

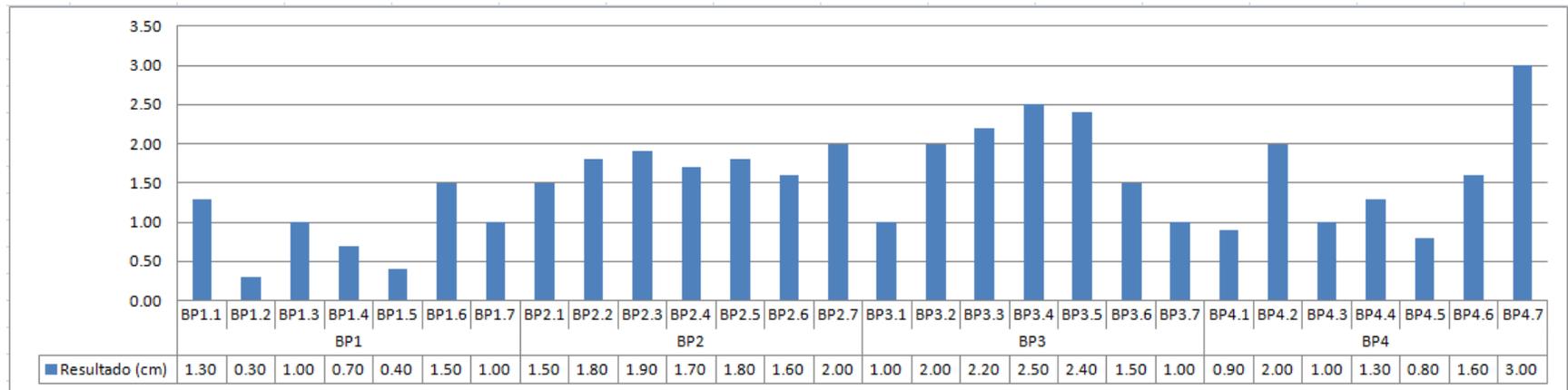


Fuente: Anexo No. 3.2

% = porcentaje

Anexo No. 3.7

Flexión de formulaciones



Fuente: Anexo No. 3.3

cm = centímetros

Anexo No. 4
Análisis de varianzas y pruebas de intervalos
múltiples de Duncan

Anexo No. 4.1: Análisis de varianza No. 1

	Formulaciones	Muestras							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Dureza	BP1	10.00	12.50	12.50	10.00	7.50	10.00	17.50	80.00
	BP2	22.50	30.00	32.50	42.50	35.00	30.00	35.00	227.50
	BP3	52.50	55.00	75.00	70.00	40.00	45.00	42.50	380.00
	BP4	45.00	65.00	72.50	55.00	62.50	42.50	42.50	385.00

Variable respuesta: Resistencia a la dureza.

H_0 = las medias no difieren.

H_1 = las medias difieren.

Termino de corrección:

$$C = (\sum x)^2 / rn$$

$$C = (10.00 + 22.50 + 52.50 + 45.00 + \dots 17.50 + 35.00 + 42.50 + 42.50)^2 / 7*4$$

$$C = (1072.5)^2 / 28$$

$$C = 1150256.25 / 28$$

$$C = 41080.58036$$

Suma de cuadrados de formulaciones:

$$SCF = [\sum(\text{Totales})^2 / r] - C$$

$$SCF = [(80.00^2 + 227.50^2 + 380.00^2 + 385.00^2) / 7] - 41080.58036$$

$$SCF = [(6400 + 51756.25 + 144400 + 148225) / 7] - 41080.58036$$

$$SCF = (350781.25 / 7) - 41080.58036$$

$$SCF = 50111.60714 - 41080.58036$$

$$SCF = 9031.02678$$

Cuadrado medio de formulaciones:

$$CMF = SCF / \text{grados de libertad formulaciones}$$

$$CMF = 9031.02678 / 3$$

$$CMF = 3010.34226$$

Suma de cuadrados totales:

$$SCT = \sum(x^2) - C$$

$$SCT = (10.00^2 + 22.50^2 + 52.50^2 + 45.00^2 + \dots 17.50^2 + 35.00^2 + 42.50^2 + 42.50^2) - C$$

$$SCT = 52381.25 - 41080.58036$$

$$SCT = 11300.66964$$

Suma de cuadrado del error:

$$SCE = SCT - SCF$$

$$SCE = 11300.66964 - 9031.02678$$

$$SCE = 2269.64286$$

Cuadrado medio del error:

$$CME = SCE / \text{grados de libertad del error}$$

$$CME = 2269.64286 / 24$$

$$CME = 94.5684525$$

F calculado:

$$F_o = CMF / CME$$

$$F_o = 3010.34226 / 94.5684525$$

$$F_o = 31.83241536$$

Tabla ANOVA:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F 5%	Valor P
Formulaciones	3	9031.02678	3010.34226	31.83241536	3.01	1.56657E-08
Error	24	2269.64286	94.5684525			
Total	27	11300.66964				

Anexo No. 4.2: Análisis de varianza No. 2

	Formulaciones	Muestras							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Elongación	BP1	18.75	6.25	12.50	12.50	12.50	6.25	6.25	75.00
	BP2	18.75	25.00	22.50	31.25	35.00	37.50	31.25	201.25
	BP3	62.50	63.75	37.50	56.25	67.50	50.00	48.75	386.25
	BP4	11.25	36.25	28.75	37.50	31.25	12.50	31.25	188.75

Variable respuesta: Resistencia a la elongación.

H_0 = las medias no difieren.

H_1 = las medias difieren.

Termino de corrección:

$$C = (\sum x)^2 / rn$$

$$C = (18.75 + 18.75 + 62.50 + 11.25 + \dots 6.25 + 31.25 + 48.75 + 31.25)^2 / 7*4$$

$$C = (851.25)^2 / 28$$

$$C = 724626.5625 / 28$$

$$C = 25879.52009$$

Suma de cuadrados de formulaciones:

$$SCF = [\sum(\text{Totales})^2 / r] - C$$

$$SCF = [(75.00^2 + 201.25^2 + 386.25^2 + 188.75^2) / 7] - 25879.52009$$

$$SCF = [(5625 + 40501.5625 + 149189.0625 + 35626.5625) / 7] - 25879.52009$$

$$SCF = (230942.1875 / 7) - 25879.52009$$

$$SCF = 32991.74107 - 25879.52009$$

$$SCF = 7112.220981$$

Cuadrado medio de formulaciones:

$$CMF = SCF / \text{grados de libertad formulaciones}$$

$$CMF = 7112.220981 / 3$$

$$CMF = 2370.740327$$

Suma de cuadrados totales:

$$SCT = \sum(x^2) - C$$

$$SCT = (18.75^2 + 18.75^2 + 62.50^2 + 11.25^2 + \dots 6.25^2 + 31.25^2 + 48.75^2 + 31.25^2) - C$$

$$SCT = 34760.9375 - 25879.52009$$

$$SCT = 8881.41741$$

Suma de cuadrado del error:

$$SCE = SCT - SCF$$

$$SCE = 8881.41741 - 7112.220981$$

$$SCE = 1769.196429$$

Cuadrado medio del error:

$$CME = SCE / \text{grados de libertad del error}$$

$$CME = 1769.196429 / 24$$

$$CME = 73.71651788$$

F calculado:

$$F_o = CMF / CME$$

$$F_o = 2370.740327 / 73.71651788$$

$$F_o = 32.16023213$$

Tabla ANOVA:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F 5%	Valor P
Formulaciones	3	7112.220981	2370.740327	32.16023213	3.01	1.42114E-08
Error	24	8881.41741	73.71651788			
Total	27	1769.196429				

Anexo No. 4.3: Análisis de varianza No. 3

	Formulaciones	Muestras							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
Flexión	BP1	1.30	0.30	1.00	0.70	0.40	1.50	1.00	6.20
	BP2	1.50	1.80	1.90	1.70	1.80	1.60	2.00	12.30
	BP3	1.00	2.00	2.20	2.50	2.40	1.50	1.00	12.60
	BP4	0.90	2.00	1.00	1.30	0.80	1.60	3.00	10.60

Variable respuesta: Resistencia a la flexión.

H_0 = las medias no difieren

H_1 = las medias difieren.

Termino de corrección:

$$C = (\sum x)^2 / rn$$

$$C = (1.30 + 1.50 + 1.00 + 0.90 + \dots 1.00 + 2.00 + 1.00 + 3.00)^2 / 7*4$$

$$C = (41.7)^2 / 28$$

$$C = 1738.89 / 28$$

$$C = 62.10321429$$

Suma de cuadrados de formulaciones:

$$SCF = [\sum(\text{Totales})^2 / r] - C$$

$$SCF = [(6.20^2 + 12.30^2 + 12.60^2 + 10.60^2) / 7] - 62.10321429$$

$$SCF = [(38.44 + 151.29 + 158.76 + 112.36) / 7] - 62.10321429$$

$$SCF = (460.85 / 7) - 62.10321429$$

$$SCF = 65.83571429 - 62.10321429$$

$$SCF = 3.732499996$$

Cuadrado medio de formulaciones:

$$CMF = SCF / \text{grados de libertad formulaciones}$$

$$CMF = 3.732499996 / 3$$

$$CMF = 1.244166665$$

Suma de cuadrados totales:

$$SCT = \sum(x^2) - C$$

$$SCT = (1.30^2 + 1.50^2 + 1.00^2 + 0.90^2 + \dots 1.00^2 + 2.00^2 + 1.00^2 + 3.00^2) - C$$

$$SCT = 73.27 - 62.10321429$$

$$SCT = 11.16678571$$

Suma de cuadrado del error:

$$SCE = SCT - SCF$$

$$SCE = 11.16678571 - 3.732499996$$

$$SCE = 7.434285714$$

Cuadrado medio del error:

$$CME = SCE / \text{grados de libertad del error}$$

$$CME = 7.434285714 / 24$$

$$CME = 0.309761904$$

F calculado:

$$F_o = CMF / CME$$

$$F_o = 1.244166665 / 0.309761904$$

$$F_o = 4.016525754$$

Tabla ANOVA:

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	F 5%	Valor P
Formulaciones	3	3.732499996	1.244166665	4.016525754	3.01	0.018932797
Error	24	7.434285714	0.309761904			
Total	27	11.16678571				

Anexo No. 4.4: Prueba de intervalos múltiples de duncan No. 1

	Formulaciones	Muestras							Media
		1	2	3	4	5	6	7	
Dureza	BP1	10.00	12.50	12.50	10.00	7.50	10.00	17.50	11.43
	BP2	22.50	30.00	32.50	42.50	35.00	30.00	35.00	32.50
	BP3	52.50	55.00	75.00	70.00	40.00	45.00	42.50	54.29
	BP4	45.00	65.00	72.50	55.00	62.50	42.50	42.50	55.00

Medias de formulaciones ordenadas ascendentemente:

$$\text{Media}_1 = 11.43$$

$$\text{Media}_2 = 32.50$$

$$\text{Media}_3 = 54.29$$

$$\text{Media}_4 = 55.00$$

Obtención del error estándar de cada media:

$$E_s = \sqrt{\text{CME} / r}$$

$$E_s = \sqrt{94.5684525 / 7}$$

$$E_s = \sqrt{13.50977893}$$

$$E_s = 3.675565117$$

Valores de los intervalos significativos para $p=2, 3, 4$ (utilizando tablas de rangos estudentizados mínimos significativos de Duncan):

$$\alpha = 0.05$$

$$\text{Grados de libertad del error} = 24$$

$$q_{0.05}(2, 24) = 2.919$$

$$q_{0.05}(3, 24) = 3.066$$

$$q_{0.05}(4, 24) = 3.160$$

Cálculo de los mínimos intervalos significativos para $p=2, 3, 4$:

$$Q_2 = q_{0.05}(2, 24) * E_s$$

$$Q_2 = 2.919 * 3.675565117$$

$$Q_2 = 10.72897458$$

$$Q_3 = q_{0.05}(3, 24) * E_s$$

$$Q_3 = 3.066 * 3.675565117$$

$$Q_3 = 11.26928265$$

$$Q_4 = q_{0.05}(4, 24) * E_s$$

$$Q_4 = 3.160 * 3.675565117$$

$$Q_4 = 11.61478577$$

Comparaciones y diferencias de las medias:

$$4 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_4 - \text{Media}_1 = 55.00 - 11.43 = 43.57 > 11.61478577 (Q_4) \text{ }^*$$

$$4 \text{ vrs } 2 : \text{Media}_4 - \text{Media}_2 = 55.00 - 32.50 = 22.50 > 11.26928265 (Q_3) \text{ }^*$$

$$4 \text{ vrs } 3 : \text{Media}_4 - \text{Media}_3 = 55.00 - 54.29 = 0.71 < 10.72897458 (Q_2)$$

$$3 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_3 - \text{Media}_1 = 54.29 - 11.43 = 42.86 > 11.26928265 (Q_3) \text{ }^*$$

$$3 \text{ vrs } 2 : \text{Media}_3 - \text{Media}_2 = 54.29 - 32.50 = 21.79 > 10.72897458 (Q_2) \text{ }^*$$

$$2 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_2 - \text{Media}_1 = 32.50 - 11.43 = 21.07 > 10.72897458 (Q_2) \text{ }^*$$

Anexo No. 4.5: Prueba de intervalos múltiples de duncan No. 2

Elongación	Formulaciones	Muestras							Media
		1	2	3	4	5	6	7	
	BP1	18.75	6.25	12.50	12.50	12.50	6.25	6.25	10.71
	BP2	18.75	25.00	22.50	31.25	35.00	37.50	31.25	28.75
	BP3	62.50	63.75	37.50	56.25	67.50	50.00	48.75	55.18
	BP4	11.25	36.25	28.75	37.50	31.25	12.50	31.25	26.96

Medias de formulaciones ordenadas ascendentemente:

$$\text{Media}_1 = 10.71$$

$$\text{Media}_2 = 26.96$$

$$\text{Media}_3 = 28.75$$

$$\text{Media}_4 = 55.18$$

Obtención del error estándar de cada media:

$$E_s = \sqrt{\text{CME} / r}$$

$$E_s = \sqrt{73.71651788 / 7}$$

$$E_s = \sqrt{10.53093113}$$

$$E_s = 3.245139616$$

Valores de los intervalos significativos para $p = 2, 3, 4$ (utilizando tablas de rangos estudentizados mínimos significativos de Duncan):

$$\alpha = 0.05$$

$$\text{Grados de libertad del error} = 24$$

$$q_{0.05}(2, 24) = 2.919$$

$$q_{0.05}(3, 24) = 3.066$$

$$q_{0.05}(4, 24) = 3.160$$

Cálculo de los mínimos intervalos significativos para $p = 2, 3, 4$:

$$Q_2 = q_{0.05}(2, 24) * E_s$$

$$Q_2 = 2.919 * 3.245139616$$

$$Q_2 = 9.47256254$$

$$Q_3 = q_{0.05}(3, 24) * E_s$$

$$Q_3 = 3.066 * 3.245139616$$

$$Q_3 = 9.949598064$$

$$Q_4 = q_{0.05}(4, 24) * E_s$$

$$Q_4 = 3.160 * 3.245139616$$

$$Q_4 = 10.25464119$$

Comparaciones y diferencias de las medias:

$$4 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_4 - \text{Media}_1 = 55.18 - 10.71 = 44.47 > 10.25464119 (Q_4) ^*$$

$$4 \text{ vrs } 2 : \text{Media}_4 - \text{Media}_2 = 55.18 - 26.96 = 28.22 > 9.949598064 (Q_3) ^*$$

$$4 \text{ vrs } 3 : \text{Media}_4 - \text{Media}_3 = 55.18 - 28.75 = 26.43 > 9.47256254 (Q_2) ^*$$

$$3 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_3 - \text{Media}_1 = 28.75 - 10.71 = 18.04 > 9.949598064 (Q_3) ^*$$

$$3 \text{ vrs } 2 : \text{Media}_3 - \text{Media}_2 = 28.75 - 26.96 = 1.79 < 9.47256254 (Q_2)$$

$$2 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_2 - \text{Media}_1 = 26.96 - 10.71 = 16.25 > 9.47256254 (Q_2) ^*$$

Anexo No. 4.6: Prueba de intervalos múltiples de duncan No. 3

	Formulaciones	Muestras							Media
		1	2	3	4	5	6	7	
Flexión	BP1	1.30	0.30	1.00	0.70	0.40	1.50	1.00	0.89
	BP2	1.50	1.80	1.90	1.70	1.80	1.60	2.00	1.76
	BP3	1.00	2.00	2.20	2.50	2.40	1.50	1.00	1.80
	BP4	0.90	2.00	1.00	1.30	0.80	1.60	3.00	1.51

Medias de formulaciones ordenadas ascendentemente:

$$\text{Media}_1 = 0.89$$

$$\text{Media}_2 = 1.51$$

$$\text{Media}_3 = 1.76$$

$$\text{Media}_4 = 1.80$$

Obtención del error estándar de cada media:

$$E_s = \sqrt{\text{CME} / r}$$

$$E_s = \sqrt{0.309761904 / 7}$$

$$E_s = \sqrt{0.0442517}$$

$$E_s = 0.21036088$$

Valores de los intervalos significativos para $p = 2, 3, 4$ (utilizando tablas de rangos estudentizados mínimos significativos de Duncan):

$$\alpha = 0.05$$

$$\text{Grados de libertad del error} = 24$$

$$q_{0.05}(2, 24) = 2.919$$

$$q_{0.05}(3, 24) = 3.066$$

$$q_{0.05}(4, 24) = 3.160$$

Cálculo de los mínimos intervalos significativos para $p = 2, 3, 4$:

$$Q_2 = q_{0.05}(2, 24) * E_s$$

$$Q_2 = 2.919 * 0.21036088$$

$$Q_2 = 0.614043408$$

$$Q_3 = q_{0.05}(3, 24) * E_s$$

$$Q_3 = 3.066 * 0.21036088$$

$$Q_3 = 0.644966458$$

$$Q_4 = q_{0.05}(4, 24) * E_s$$

$$Q_4 = 3.160 * 0.21036088$$

$$Q_4 = 0.66474038$$

Comparaciones y diferencias de las medias:

$$4 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_4 - \text{Media}_1 = 1.80 - 0.89 = 0.91 > 0.66474038 \quad (Q_4)^*$$

$$4 \text{ vrs } 2 : \text{Media}_4 - \text{Media}_2 = 1.80 - 1.51 = 0.29 < 0.644966458 \quad (Q_3)$$

$$4 \text{ vrs } 3 : \text{Media}_4 - \text{Media}_3 = 1.80 - 1.76 = 0.04 < 0.614043408 \quad (Q_2)$$

$$3 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_3 - \text{Media}_1 = 1.76 - 0.89 = 0.87 > 0.644966458 \quad (Q_3)^*$$

$$3 \text{ vrs } 2 : \text{Media}_3 - \text{Media}_2 = 1.76 - 1.51 = 0.25 < 0.614043408 \quad (Q_2)$$

$$2 \text{ vrs } 1 : \text{Media}_2 - \text{Media}_1 = 1.51 - 0.89 = 0.62 > 0.614043408 \quad (Q_2)^*$$

Anexo No. 5
Informe de ensayos ASTM



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



1. DATOS GENERALES

O.T. No. 31525

INFORME No. 267-M

INTERESADO: CARLO HUMBERTO IGUARDA ARRIVILLAGA CARNE No. 200710723
 PROYECTO: TRABAJO DE TESIS AD GRADUM TITULADO "SINTESIS Y CARACTERIZACION DE BIOPLASTICO A PARTIR DE ALMIDON DE BANANO VERDE (MUSA SAPIENTUM VARIEDAD CAVENDISH)"
 ASUNTO: ENSAYO DE DUREZA SHORE Y PRUEBA DE TENSION EN PROBETAS DE BIOPLASTICO.
 PROVEEDOR: *****
 FECHA: GUATEMALA, 04 DE JUNIO DE 2013.

1. ANTECEDENTES

El interesado refirió a este Centro de Investigaciones de Ingeniería, 06 probetas de bioplastico, con el objeto de aplicarles prueba de dureza shore y prueba de tensión hasta la falla.

2. RESULTADOS ENSAYO

PRUEBA DE DUREZA SHORE

No.	IDENTIFICACION	DUREZA KG/MM ²	PROMEDIO DUREZA KG/MM ²
01	BP 3.1	7, 5, 5	5.67
02	BP 3.2	6, 8.5, 9	7.83
03	BP 3.3	5.5, 9.5, 5	6.67

ESPECIFICACION: SEGÚN NORMA ASTM D-2240 TIPO "A"

PRUEBA DE TENSION

No.	IDENTIFICACION	AREA cm ²	Esfuerzo	
			kg/cm ²	Mpa Psi
01	BP 3.1	9.30	0.538	0.053 7.65
02	BP 3.2	8.07	0.620	0.061 8.812
03	BP 3.3	6.98	1.450	0.142 20.64

Observaciones: muestras proporcionadas por el interesado.

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
 Jefe de Metales y Productos
 Manufacturados

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA C.I.I.

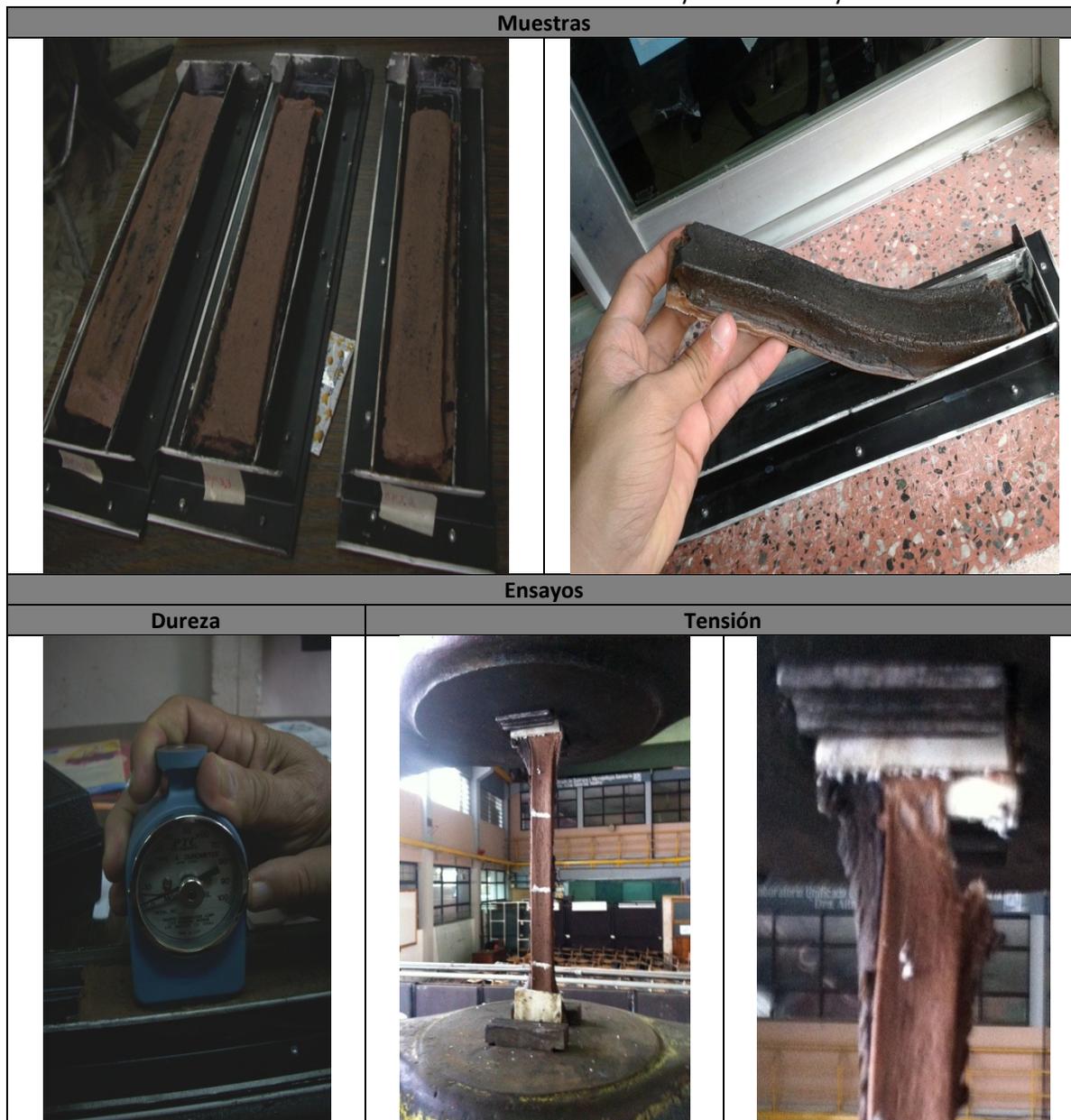


/cbr
 C.C. SECRETARIA CII/USAC
 SECCION DE METALES

Anexo No. 6
Ensayos ASTM

Anexo No. 6.1

Ensayos de dureza y tensión fórmula BP3



Fuente: CII (Centro de Investigaciones de Ingeniería)

Anexo No. 6.2 Ensayo de tracción de polímeros reforzados con fibras de estopa del coco

Muestra	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)
Polietileno virgen de baja densidad inyectado con 0% de fibra de estopa de coco (LDPEV INY 0%)	85.23
LDPEV INY 15%	92.74
LDPEV INY 20%	102.98
Polietileno virgen de alta densidad inyectado con 0% de fibra de estopa de coco (HDPEV INY 0%)	122.09
HDPEV INY 15%	97.41
HDPEV INY 20%	155.12
Polietileno virgen de baja densidad soplado con 0% de fibra de estopa de coco (LDPEV SOPL 0%)	80.51
LDPEV SOPL 15%	85.00
LDPEV SOPL 20%	92.91
Polietileno virgen de alta densidad soplado con 0% de fibra de estopa de coco (HDPEV SOPL 0%)	163.54
HDPEV SOPL 15%	90.59
HDPEV SOPL 20%	70.62
Polietileno reciclado de baja densidad soplado con 0% de fibra de estopa de coco (LDPER SOPL 0%)	93.40
LDPER SOPL 15%	94.40
LDPER SOPL 20%	93.88
Polietileno reciclado de alta densidad soplado con 0% de fibra de estopa de coco (HDPER SOPL 0%)	170.01
HDPER SOPL 15%	114.76
HDPER SOPL 20%	113.98
Polietileno reciclado de botes recolectados soplado con 0% de fibra de estopa de coco (HDPEB SOPL 0%)	114.47
HDPEB SOPL 15%	49.96
HDPEB SOPL 20%	43.78

Fuente: (Pérez, 2008)

Anexo No. 6.3 Ensayo de tensión y dureza de poliuretanos*

Muestra	Esfuerzo máximo (Kpa)	Dureza Shore A
PUSCO	1899.66	66
PUP0	1299.24	66
PUSP0	1461.13	76
PUP1	2581.78	84
PUSP1	2893.70	84
PUCO + 5GE	1790.00	59
PUCO + 5GG	2532.00	71
PUCO + 10GE	8035.00	73
PUCO + 10GG	18313.00	96
PUP0 + 5GE	4826.00	74
PUP0 + 5GG	11511.00	87
PUP0 + 10GE	12711.00	90
PUP0 + 10GG	16621.00	96
PUP1 + 5GE	2362.00	83
PUP1 + 5GG	8552.00	90
PUP1 + 10GE	11688.00	93
PUP1 + 10GG	16882.00	97
<p>10 GE = 10% glucósido etilenglicol 10 GG = 10% glucósido glicerina 5 GE = 5% glucósido etilenglicol 5 GG = 5% glucósido glicerina CO = aceite P0 = polioliol 0 P1 = polioliol 1 PU = poliuretano PUS = poliuretano suspensión</p>		
* muestras de polimero modificadas con aceite de higuera, almidón de yuca y monómero acrílico		

Fuente: (Camargo, 2006)

Anexo No. 7
Pruebas de degradabilidad

Anexo No. 7.1

Resultados de pruebas de degradabilidad de fórmula BP1

Fórmula	Muestra	Prueba	Fecha Inicial	Hora	Peso Inicial (g)	Fecha Final	Hora	Peso Final (g)	Diferencia (g)	Peso inicial total (g)	Peso final total (g)	Diferencia total (g)	Degradabilidad (%)
BP1	BP1.1	Intemperie	02/03/2013	12:15	5.8140	02/04/2013	12:15	5.8432	0.0292	31.9631	30.2757	1.6874	5.28
	BP1.2				6.2858			5.9654	0.3204				
	BP1.3				5.2983			4.9401	0.3582				
	BP1.4				4.9119			4.5658	0.3461				
	BP1.5				3.1397			2.8648	0.2749				
	BP1.6				3.3323			3.0428	0.2895				
	BP1.7				3.1811			3.0536	0.1275				
	BP1.1	Agua	02/03/2013	11:40	5.2620	02/04/2013	11:40	3.6757	1.5863	30.5053	23.5055	6.9998	22.95
	BP1.2				5.9814			4.6447	1.3367				
	BP1.3				5.3465			4.5943	0.7522				
	BP1.4				5.0268			3.8259	1.2009				
	BP1.5				3.1205			2.1907	0.9298				
	BP1.6				3.2739			2.6476	0.6263				
	BP1.7				2.4942			1.9266	0.5676				

Fuente: Datos experimentales

g = gramos, % = porcentaje (Pruebas realizadas a temperatura ambiente)

Anexo No. 7.2

Resultados de pruebas de degradabilidad de fórmula BP2

Fórmula	Muestra	Prueba	Fecha Inicial	Hora	Peso Inicial (g)	Fecha Final	Hora	Peso Final (g)	Diferencia (g)	Peso inicial total (g)	Peso final total (g)	Diferencia total (g)	Degradabilidad (%)
BP2	BP2.1	Intemperie	09/03/2013	11:26	2.0956	09/04/2013	11:26	2.0146	0.0810	13.4330	12.4304	1.0026	7.46
	BP2.2				1.7724			1.6067	0.1657				
	BP2.3				1.8740			1.7011	0.1729				
	BP2.4				2.3881			2.2857	0.1024				
	BP2.5				1.9509			1.8709	0.0800				
	BP2.6				1.7157			1.4399	0.2758				
	BP2.7				1.6363			1.5115	0.1248				
	BP2.1	Agua	08/03/2013	22:08	2.1695	08/04/2013	22:08	1.0355	12.1286	13.1641	1.0355	12.1286	92.13
	BP2.2				1.6679								
	BP2.3				1.4830								
	BP2.4				1.7723								
	BP2.5				1.6644								
	BP2.6				2.1461								
	BP2.7				2.2609								

Fuente: Datos experimentales

g = gramos, % = porcentaje (Pruebas realizadas a temperatura ambiente)

Anexo No. 7.3

Resultados de pruebas de degradabilidad de fórmula BP3

Fórmula	Muestra	Prueba	Fecha Inicial	Hora	Peso Inicial (g)	Fecha Final	Hora	Peso Final (g)	Diferencia (g)	Peso inicial total (g)	Peso final total (g)	Diferencia total (g)	Degradabilidad (%)
BP3	BP3.1	Intemperie	20/03/2013	11:35	4.3894	20/04/2013	11:35	5.2641	0.8747	28.2169	32.1278	3.9109	-13.86
	BP3.2				2.7199			3.1709	0.451				
	BP3.3				2.3752			2.7212	0.346				
	BP3.4				2.2917			2.1920	0.0997				
	BP3.5				4.1802			4.9238	0.7436				
	BP3.6				6.3166			7.2987	0.9821				
	BP3.7				5.9439			6.5571	0.6132				
	BP3.1	Agua	19/03/2013	20:00	4.3244	19/04/2013	20:00	2.3639	25.5148	27.8787	2.3639	25.5148	91.52
	BP3.2				3.2379								
	BP3.3				2.7709								
	BP3.4				2.9603								
	BP3.5				2.7219								
	BP3.6				6.0917								
	BP3.7				5.7716								

Fuente: Datos experimentales

g = gramos, % = porcentaje (Pruebas realizadas a temperatura ambiente)

Anexo No. 7.4

Resultados de pruebas de degradabilidad de fórmula BP4 y muestra control

Fórmula	Muestra	Prueba	Fecha Inicial	Hora	Peso Inicial (g)	Fecha Final	Hora	Peso Final (g)	Diferencia (g)	Peso inicial total (g)	Peso final total (g)	Diferencia total (g)	Degradabilidad (%)
BP4	BP4.1	Intemperie	06/04/2013	11:16	4.9173	06/05/2013	11:16	4.8823	0.035	32.3738	31.0603	1.3135	4.06
	BP4.2				4.7453			4.6691	0.0762				
	BP4.3				5.0545			5.0722	-0.0177				
	BP4.4				5.4250			5.2846	0.1404				
	BP4.5				3.7679			3.4990	0.2689				
	BP4.6				3.1842			2.9666	0.2176				
	BP4.7				5.2796			4.6865	0.5931				
	BP4.1	Agua	05/04/2013	23:53	3.4096	05/05/2013	23:53	0.8856	2.524	26.0870	4.3401	21.7469	83.36
	BP4.2				3.3272			0.7919	2.5353				
	BP4.3				4.1877			0.4301	3.7576				
	BP4.4				3.2324			0.5947	2.6377				
	BP4.5				3.7300			0.8346	2.8954				
	BP4.6				3.7299			0.2845	3.4454				
	BP4.7				4.4702			0.5187	3.9515				
Hule	Control	Intemperie	20/03/2013	11:35	4.5798	20/04/2013	11:35	4.5717	0.0081	4.5798	4.5717	0.0081	0.18
		Agua	19/03/2013	20:00	4.7875	19/04/2013	20:00	4.8415	-0.054	4.7875	4.8415	0.0540	-1.13

Fuente: Datos experimentales

g = gramos, % = porcentaje (Pruebas realizadas a temperatura ambiente)

Anexo No. 7.5

Degradabilidad por agua

Muestra	Antes	Después
Fórmula BP1		
Fórmula BP2		
Fórmula BP3		
Fórmula BP4		
Control		

Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 7.6

Degradabilidad por intemperie

Muestra	Antes	Después
Fórmula BP1		
Fórmula BP2		
Fórmula BP3		
Fórmula BP4		
Control		

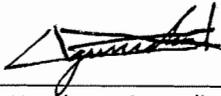
Fuente: Datos experimentales

Anexo No. 7.7 Porcentajes de pérdida de peso de polímero de almidón de yuca

Medio utilizado	% pérdida de peso
Relleno sanitario	90.47
Agua dulce	86.83
Agua salada	75.72
Luz solar	2.05
<i>Las muestras fueron sometidas a los diferentes medios durante 60 días.</i>	

Fuente: (Ruiz, G. *Etal* ; 2009)

% = porcentaje



Br. Carlos Humberto Iguardia Arrivillaga

Tesista



Licda. Aylin Santizo Juárez

Asesora



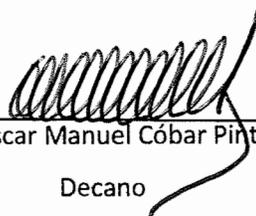
Lic. Julio Chinchilla

Revisor



Licda. Lucrecia Martínez de Haase

Directora de escuela



Dr. Oscar Manuel Cobar Pinto

Decano