

**Elaboración de biopolímero a partir de almidón de banano (*Musa sp.*) para usos agrícolas.****Elaboration of biopolymer from banana starch (*Musa sp.*) for agricultural uses**

Leidy Julieth Rentería Estrada. Tecnología en Agrobiotecnología. E-mail: Julieth030689@hotmail.com

Recibido: febrero 20 del 2017. Aceptado: noviembre 15 del 2017

Resumen

El almidón es un polisacárido abundante, de bajo costo, renovable y totalmente biodegradable (según la norma EN13432), que se encuentra en las plantas y frutos como el banano en su estado inmaduro, este último es un recurso abundante en la subregión de Urabá debido a los excedentes de las exportaciones de banano a Europa y EE.UU. Los biopolímeros derivados de almidón son materiales termoplásticos resultantes del procesamiento del almidón natural por medios químicos, térmicos o mecánicos con diversas aplicaciones en diferentes industrias como la agrícola. En esta investigación se realizó la extracción del almidón de bananos verdes (almidón nativo); el almidón se modificó químicamente con hipoclorito de sodio a una concentración del 1,5% (almidón oxidado) y se procedió a la preparación de las películas de almidón (nativo u oxidado), con glicerina, carboximetilcelulosa y ácido acético en diferentes concentraciones, mediante el método *Solvent casting*, obteniéndose cuatro tratamientos. Se evaluaron las propiedades mecánicas de las películas mediante los ensayos de tensión (ASTM D882-12), flexión (ASTM D790.10) e impacto (ASTM D256-10). La modificación del almidón en el tratamiento tres y cuatro permitieron mejorar las propiedades de tensión (1,16 – 1,01 N/mm²) y flexión (3,10- 3,54 N/mm²). En cuanto a la prueba de impacto el tratamiento que presentó mejor resultado (0.187 J) fue el T1. Esta investigación abre las puertas para futuras investigaciones en la obtención de bioplásticos a partir de almidón obtenido de banano de rechazo en la subregión de Urabá, y es el inicio para buscar alternativas de reemplazo de plásticos no biodegradables para usos agrícolas, especialmente en el cultivo de banano.

Palabras clave: bioplástico, almidón, banano de rechazo, Urabá.

Abstract

Starch is an abundant, low-cost, renewable and totally biodegradable polysaccharide (according to EN13432), which is found in plants and fruits such as banana in its immature state, the last one is an abundant resource in the subregion of Urabá due to the surplus of banana exports to Europe and the US. Biopolymers derived from starch are thermoplastic materials resulting from the processing of natural starch by chemical, thermal or mechanical means with diverse applications in different industries such as agriculture. In this research the starch was extracted from Green bananas (native starch), the starch was modified chemically with sodium hypochlorite with a concentration of 1.5% (oxidized starch) and it proceeded to the preparation of starch films (native or oxidized), with glycerin, carboxymethylcellulose and acetic acid in different concentrations by the *Solvent casting* method, obtaining four treatments. The mechanical properties of the films were evaluated by stress tests (ASTM D882-12), bending (ASTM D790.10) and impact (ASTM D256-10). The modification of the starch in the treatment three and four allowed to improve the properties of tension (1,16 - 1,01 N / mm²) and flexion (3,10- 3,54 N / mm²). In terms of impact test the treatment with the best result (0.187 J) was T1. This research opens doors for future researches for obtaining bioplastics from starch obtained from reject bananas in the sub-region of Urabá, and is the beginning to think about looking for new alternatives for replacing non-biodegradable plastics in agricultural uses, especially in the banana cultivation.

Key words: bioplastic, starch, banana rejection, Urabá.

Introducción

El crecimiento en la producción y en el consumo de plásticos, sumado a su durabilidad, se ha convertido en un serio problema para el medio ambiente. El 99% del total de plásticos se produce a partir de combustibles fósiles provocando una excesiva presión sobre las ya limitadas fuentes de energía no renovables (Argenbio, 2015). La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en unos residuos difíciles de eliminar convirtiéndose en un problema ambiental (Pacheco et al., 2014, p. 27).

Los polímeros sintéticos han sido ampliamente utilizados en todos los campos de la actividad humana, con el aumento de la población mundial crece también la demanda sobre la producción de alimentos, haciendo vital la búsqueda de estrategias que permitan cubrir dicha demanda sin hacer necesaria la expansión de la tierra cultivada. Actualmente se implementa la técnica del “mulching” o “acolchado” (cobertura de suelo plástica) que permite obtener un aumento en la producción y a su vez sirve para el control de malezas en fruticultura, horticultura y floricultura la cual ha dado excelentes resultados (Carluccio et al., 2012), el problema con la implementación de esta técnica es que las coberturas plásticas al ser de origen fósil son de lenta degradación. Los filmes o plásticos para acolchados constituyen la segunda aplicación en importancia (luego de invernaderos) por su volumen de los plásticos en las aplicaciones agrícolas. La superficie mundial bajo esta modalidad (mulching) es de 4.530.000 hectáreas (Berardocco, 2010, p. 6).

Es así como los plásticos utilizados en determinadas etapas de la producción en las diferentes agroindustrias se suman al consumo mundial anual de los plásticos sintéticos provenientes del petróleo de los cuales se reportan más de 200 millones de Ton, con un incremento anual del 5% (Siracusa et al., 2008, p. 634). La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en unos residuos difíciles de eliminar convirtiéndose en un problema ambiental (Pacheco et al., 2014, p. 27).

Por lo tanto, desde la década de los 70's se ha dado mayor atención a los estudios sobre el desarrollo de materiales biodegradables (Lu et al., 2009, p. 366). Investigaciones recientes se han enfocado en el alivio del problema ambiental, principalmente por medio del desarrollo y uso de polímeros biodegradables. Entre los materiales biodegradables se encuentran la celulosa, el almidón, el políácido láctico (PLA) y los poliésteres microbianos (PHAs), los cuales son

provenientes de fuentes renovables (Merchán et al., 2009, p. 39). El almidón es el principal polisacárido de reserva de los vegetales, se encuentra, principalmente, en semillas, frutos, legumbres, tubérculos y cereales (Latorre, 2008, p. 15). Este polisacárido ha sido considerado durante muchos años como un polímero con alto potencial para formar películas biodegradables, debido a que es un material de alta disponibilidad, bajo costo renovable y biodegradable (Stagner et al., 2012, p. 135).

En Colombia hay 47.272 Ha. en banano, en las zona bananera de Urabá se reporta 34.054 Ha., en Magdalena y Guajira se reportan 13.218 Ha (Augura, 2016); La producción bananera en Urabá genera alrededor de 250.000 Ton/año de banano de rechazo, de las cuales la tercera parte se destina al consumo interno como fruta fresca, otra parte se emplea como sustrato en la producción de fertilizantes orgánicos (compost) para el cultivo de la misma fruta y, una tercera parte continúa considerándose como residuo (Guevara et al., 2012; Yoshioka & Mosquera, 2007); son precisamente estos residuos los que pueden ser utilizados en procesos biotecnológicos para la producción de bioplásticos, ya que el banano en su estado inmaduro contiene entre un 70% y 80% de almidón (Soto, 2010, p. 195), lo que lo convierte en una excelente y abundante fuente para la extracción de almidón y su posterior transformación y usos en la mejora del rendimiento, la humedad y la fertilidad de suelos en camas para cultivos, a partir del uso de materiales compuestos biodegradables como acolchados.

Referente bibliográfico

Biopolímeros

Los biopolímeros, también conocidos como polímeros naturales o macromoléculas biológicas, las cuales se definen como aquellos que están contenidos en, y constituyen organismos vivos. Los principales polímeros de esta clase son las proteínas, los ácidos nucleicos y los polisacáridos. Los biopolímeros consisten en unidades estructurales repetitivas como ácidos aminos (proteínas), nucleótidos (ácidos nucleicos) y azúcar (polisacáridos), los cuales están enlazados por deshidratación (Pinilla, 2011, p. 23). Los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/ gelatina), origen marino (quitina/ quitosano), origen vegetal (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano ácido poliláctico

(PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA) (Tharanathan & Kittur, 2003).

Polisacáridos

Los polisacáridos forman uno de los grupos más importantes de compuestos macromoleculares. Estos compuestos forman los materiales estructurales y de reserva de la mayor parte de las plantas. Los polisacáridos están formados por muchas unidades de monosacáridos que constituyen cadenas largas (polímeros). Los polisacáridos más importantes son el almidón, la celulosa y la quitina, los polisacáridos son conocidos por su estructura compleja y diversidad funcional (Stawaskis & Jantas, 2003 citado por Villada et al., 2007, p. 184).

Celulosa

Es el principal componente de la pared celular de los vegetales. Se puede considerar como la molécula orgánica más abundante en la naturaleza. Es un polímero lineal de varios miles de glucosas unidas por enlaces (1 β -4). Tiene una estructura lineal o fibrosa, en la cual se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas, haciéndolas impenetrables al agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales (Reddy et al., 2013, p. 1659).

La celulosa natural se incrusta conteniendo fibras en matrices poliméricas biodegradables, se obtiene una nueva generación de materiales fibrosos conocidos como “biocompuestos”. Otro material derivado de la celulosa es el acetato de celulosa, el cual es un material termoplástico amorfo, traslúcido pertenece a la familia de los esteres; es obtenido introduciendo grupos acetilo en la celulosa (como algodón o fibras de madera) para producir un material plástico duro (Rubio & Guerrero, 2012, p. 176).

Quitina y Quitosano

Son elementos orgánicos producidos por invertebrados de agua dulce. En el medio salado son producidos fundamentalmente por crustáceos. La quitina es un biopolímero de N-acetilglucosamina y residuos de glucosamina que se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, y constituye la segunda sustancia más abundante en la misma, luego de la celulosa. Es un polisacárido no tóxico y biodegradable que forma una sustancia cornea y es el principal constituyente de exoesqueleto de insectos, crustáceos y arácnidos. El quitosano se encuentra en ciertos hongos pero se lo obtiene, por lo general,

desacetilando la quitina. Es el único biopolímero natural catiónico (López, 2010, p. 2).

El quitosano es, de hecho, un nombre colectivo que representa a una familia de quitinas acetilados-de-N desacetilado en diferentes grados. Tanto la quitina / quitosano y sus derivados modificados encuentran amplias aplicaciones en la medicina, la agricultura, los alimentos y las industrias no alimentarias, así han surgido como una nueva clase de materiales fisiológicos de funciones altamente sofisticadas. Su versatilidad de aplicación es un gran reto para la comunidad científica y la industria. Todos estos son el resultado de su actividad biológica versátil, excelente biocompatibilidad y biodegradabilidad completa en combinación con su baja toxicidad (Tharanathan & Kittur, 2003).

La quitina y sus derivados son efectivos en el control de enfermedades y plagas vegetales. Sus mecanismos de acción están vinculados a su estructura química. Pueden actuar sobre el organismo patógeno, o inducir mecanismos resistentes a las plantas, contra varias enfermedades vegetales antes y después de la cosecha (Mármol et al., 2011; Ramírez et al., 2010).

Almidón

Es el principal polisacárido de reserva de los vegetales, se encuentra, principalmente, en semillas, frutos, legumbres, tubérculos y cereales. El almidón se sintetiza a partir de la glucosa generada en los procesos de fotosíntesis y se almacena en los amiloplastos. El contenido relativo de amilosa y amilopectina, así como las características de los granos, varía según la fuente del almidón (Latorre, 2008; Fang & Fowler, 2003). Este polisacárido ha sido considerado durante muchos años como un polímero con alto potencial para formar películas biodegradables, debido a que es un material de alta disponibilidad, bajo costo renovable y biodegradable (Stagner et al., 2012).

Hay muchos reportes acerca del uso de almidón como material industrial, su capacidad de gelificar permite moldearlo y formar películas (Rimsa & Tatarka, 2009). Este puede provenir del maíz, papa, trigo, sorgo, yuca, caña, frutos, entre otros y puede encontrarse en concentraciones entre el 30 y el 70 % de la composición polimérica (Tomka, 2000).

El almidón en su estado nativo (estado natural o que no ha sufrido ningún tipo de modificación) presenta ciertos inconvenientes que limitan su aplicación a nivel industrial, estas limitaciones se deben a su baja resistencia al esfuerzo cortante, degradación térmica,

alta retrogradación y sinéresis (Fang & Fowler, 2003). Para superar estas limitaciones y diversificar su aplicación, se realizan modificaciones químicas. La oxidación es un método de modificación química en el cual los grupos hidroxilo (OH-) de los carbonos C2, C3 y C6 de la unidad anhidroglucosa del almidón pueden ser sustituidos por grupos funcionales carbonilo (CHO) o carboxilo (COO-). Esta modificación permite obtener películas con mejores propiedades mecánicas que las que se obtienen con el almidón nativo, similares en propiedades mecánicas a los plásticos sintéticos, una vez que se mezclan con el quitosano para obtener películas compuestas (Zamudio-Flores & Bello- Pérez, 2013; Zamudio-Flores et al., 2010).

Según Long et al., (2008) algunos tipos de almidones modificados químicamente como el hidroxipropilado, tienen efectos positivos sobre las películas obtenidas a partir de éste, tales como aumento de la elongación y la resistencia al momento de ruptura, mayor flexibilidad, y, disminución de la permeabilidad al vapor de agua (Jansson & Järnström, 2009 citado por Enríquez et al., 2012, p. 184).

Por lo que las investigaciones más recientes se enfocan en las modificaciones del almidón, así como el manejo de la formulación de las sustancias (aditivos) necesarias para contrarrestar o evitar las limitaciones propias del almidón, con el fin de crear formulaciones filmogénicas capaces de generar películas cada vez más parecidas a las sintéticas controlando las propiedades de barrera al vapor de agua de las películas y su comportamiento mecánico con la finalidad de obtener materiales con diferentes posibilidades de aplicación (López, 2011).

Alginatos

Los alginatos son los polisacáridos más abundantes presentes en las algas marinas pardas (feofíceas), comprenden hasta 40% de su peso seco. Son los componentes estructurales de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua (Hernández et al., 2005). Los alginatos son extraídos principalmente de tres especies de algas, éstas incluyen *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*. En su estado natural los alginatos se presentan como una mezcla de sales de cationes que comúnmente se localizan en el agua de mar, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{+} (Yabur et al., 2007).

En general, las aplicaciones de los alginatos se relacionan con su hidrofiliidad, su capacidad de formar geles y su biocompatibilidad. Tres de sus derivados son de importancia comercial: el alginato de sodio, el alginato de calcio y el alginato de propilenglicol. Su capacidad de formar geles es quizá su propiedad más resaltante, y la más explotada en la industria (Avendaño et al., 2013). Los alginatos tienen gran afinidad por cationes multivalentes, principalmente debido al efecto quelato de los bloques poligulurónicos del polímero, con lo cual se pueden formar geles por entrecruzamiento iónico. Los geles formados son resistentes a la temperatura, es decir, no se descomponen ni pierden su forma (Ayarza, 2014), tiene varias propiedades únicas que le han permitido a ser utilizado como una matriz para el atrapamiento y/o entrega de una variedad de agentes biológicos. (Gombotz & Wee, 2012, p. 194).

Proteínas

Una proteína es un copolímero al azar de diferentes aminoácidos. Generalmente, este biomaterial protéico se puede definir como una red polimérica estable 3D que se refuerza por interacciones hidrófobas y enlaces de hidrógeno. Las proteínas según su origen pueden ser clasificadas como proteínas vegetales (soja, guisante, canola, trigo) y proteínas animales (gelatina, suero de leche, caseína) (Verbeek & Van den Berg, 2010). Las proteínas globulares son solubles en agua y forman arreglos esféricos complejos; entre ellas están el gluten de trigo, la proteína de soja, la proteína del suero de leche y la caseína (Flieger et al., 2003).

Proteínas del suero lácteo

Las películas basadas en proteínas del suero cuando se procesa apropiadamente produce una película flexible, pero frágil con excelentes propiedades de barrera al O_2 (Tharanatha, 2003, Parzanese, 2013). Como solución a este inconveniente se detectó que sus propiedades mecánicas mejoran considerablemente mediante la adición de un agente plastificante, como el glicerol. Para la fabricación de las películas y los recubrimientos se parte de un concentrado de proteínas al que se aplica calor para su desnaturalización (Verbeek & Van den Berg, 2010). La formación de la película con estas proteínas, se hace a través de enlaces moleculares disulfóxidos y anillos de hidrógeno (Villada et al., 2007).

Dentro de las primeras aplicaciones consideradas en fase de experimentación se puede nombrar su uso

como cobertura en productos sensibles al oxígeno, como nueces y maníes, para evitar su oxidación y prolongar su vida útil. También se investiga la formación de recubrimientos comestibles anti-moho para quesos, envases destinados a la leche en polvo y otros productos deshidratados, como barrera frente a la humedad y alternativas al colágeno de las coberturas empleadas en derivados cárnicos (Parzanese, 2013, p. 7).

Colágeno

Es el mayor constituyente de la piel, tendones y tejidos conectivos, y se encuentra extensamente distribuido en las proteínas fibrosas de los animales. Las películas de colágeno son usadas tradicionalmente en la preparación de envolturas comestibles. La gelatina resulta del hidrólisis parcial del colágeno, produce una película flexible y gruesa y las propiedades mecánicas mejoran cuando se utiliza cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones bajas (Lee & Lucey, 2004).

Zeína:

Es una prolamina y la principal proteína de reserva del maíz. Se caracteriza por ser un material relativamente hidrofóbico y termoplástico por lo cual forman películas fuertes, con brillo, resistentes al ataque microbiano, insolubles en agua; con propiedades antioxidantes y capacidad de adhesión (Parzanese, 2013, Ghanbarzadeh et al., 2007).

Lípidos

Hoy en día los aceites vegetales son una de las fuentes más importantes en la síntesis de biopolímeros. Los aceites vegetales pueden ser obtenidos de plantas y, en su mayoría, están compuestos por triglicéridos. Entre los aceites de triglicéridos que se utilizan en la preparación de biopolímeros se encuentran el de linaza, girasol, higuera, soja y palma. Algunos tipos de polímeros preparados a partir de aceites de triglicéridos se enumeran a continuación: poliésteres, poliuretanos, poliamidas, resinas acrílicas, resinas epoxi y poliéster amidas (Valero et al., 2013).

Polihidroxialcanatos PHA

Los Polihidroxialcanatos de alto peso molecular (PHA) son poliésteres termoplásticos sintetizados por diversos organismos, que se almacenan en el citoplasma de la célula como inclusiones insolubles en agua, incluyendo microorganismos procariotes y algunas plantas, que los acumulan como reserva de

carbono y energía (Serrano, 2010, Sudesh et al., 2000), son producidos bajo condiciones desbalanceadas de cultivo, es decir, con exceso en la fuente de carbono y limitación en los elementos esenciales (N, S, O, P, Mg) (Anderson & Dawes, 1990).

Constituyen biopolímeros importantes por su capacidad para ser producidos a partir de fuentes renovables, así como por su biodegradabilidad. Identificados en 1926 por Maurice Lemoigne (Trotsenko & Belova; 2000; Anderson & Dawes, 1990). Estos polímeros tienen propiedades que van desde plásticos rígidos y frágiles a materiales similares al caucho. Debido a su biodegradabilidad inherente, PHAs son considerados como una fuente atractiva para la producción de plásticos y elastómeros no contaminantes que se puede utilizar para la especialidad y las materias primas productos (Poirier et al., 1995).

El tiempo que demora la degradación depende de la naturaleza propia del polímero, así como también las condiciones ambientales a las que sean expuestos, se ha observado degradación de los PHAs en gran cantidad de ambientes incluyendo aerobios, anaerobios, salinos, marinos y otros (Ojumu et al., 2004).

Los PHA exhiben pesos moleculares relativamente altos, características termoplásticas o elastoméricas y otras propiedades físicas y mecánicas que los hacen candidatos para varias aplicaciones en la industria de empaques, medicina, farmacia, agricultura y alimentos, o como materias primas para la síntesis de químicos enantioméricamente puros y para la producción de pinturas (Babel y Steinbüchel 2001 citado por González et al., 2013, p. 83).

Aplicaciones de los biopolímeros

Existen grandes avances en la utilización de polímeros biodegradables como el ácido poliláctico (PLA), los polihidroxialcanatos (PHA), y otros materiales obtenidos a partir de recursos como almidones, celulosa o quitina, los cuales ya son aplicados, con resultados muy favorables, en productos como empaques para alimentos frescos, botellas para agua, lácteos y otras bebidas no carbonatadas, material de embalaje, películas para uso agrícola, fibras para textiles, utensilios desechables, material biomédico, entre muchos otros (Bioplastics Magazine, 2007 citado por Pinilla, 2011).

En el área específica de aplicación de plásticos en la agricultura, o plasticultura los polímeros son utilizados

para invernaderos, acolchados, películas para almacenamiento, solarización y protección de suelos, geomembranas, bolsas para protección de frutos, bolsas para vivero, películas para cerramiento tipo túnel y sistemas de riego (Riggi et al., 2011). Además de sus propiedades mecánicas o de barreras también son aprovechadas sus propiedades bactericidas, fungicidas, nematocidas, bioestimulantes e inducción de resistencia de biopolímeros como la quitina y el quitosano (Lárez, 2008, p. 1).

Pacheco et al., (2014), reportan varios productos actualmente fabricados a base de biopolímeros, así como algunas de las empresas que los fabrican actualmente, en la tabla 1 se observan los tipos de bioplásticos producidos en Europa.

Tabla 1. Tipos de bioplásticos, marcas y aplicaciones en Europa

Bioplástico	Manufactureros	Marca	Aplicación
Almidón	Limagrain Cereales	Biolice	Bolsas, charolas, papel para envolver, material de empaque (cacahuates)
	DuPont	Biomax	
	Stanelco	Biome	
	BIOP	BIOPAR	
	Biopolymer		
	Biotech	Bioplas	
	Cardia	Cardia	
	Bioplastics		
	Cerestech	Cereloy	
	Cereplast	Cereplast	
		Compostables	
	IGV	GETREX	
	Grace Biotech	GRACE Bio	
	Novamont	Mater-Bi	
	POLYDEN	Mulchfolie	
Celulosa	Foilenfabrik		Películas flexibles
	Plantic Technologies	Plantic	
	Starch Tec	Re-NEW	
PLA	Rodenburg	Solanyl	Contenedores rígidos Películas
	Biopolymers		
	Wenstus Kunststoff	Wenterra	
PLA	Clarifoil	Carifoil	Películas flexibles
	Innovia Films	Nature Flex	
PLA	fkuR	Bio-flex	Contenedores rígidos Películas
	Kunststoff		

Fuente: Adaptado de www.nnfcc.co.uk

Metodología

La investigación se realizó en el laboratorio de agrobiotecnología del Complejo Tecnológico Agroindustrial, Pecuario y Turístico-Sena, Urabá, es un desarrollo experimental utilizando un diseño factorial con 27 tratamientos, planteados a partir de la

necesidad de aprovechar los excedentes de la fruta “rechazo” en el denominado eje bananero.

Materiales

Para la extracción del almidón se utilizó banano verde de rechazo (*Musa sp.*) cultivado en el municipio de Apartadó, departamento de Antioquia. El proceso de extracción se llevó a cabo aplicando el procedimiento reportado por (Flores et al., 2004). Para la elaboración de las películas se utilizó glicerina 99% como plastificante, carboximetilcelulosa (CMC) grado alimenticio como material de refuerzo, ácido acético 99% como agente antimicrobiano. En la figura 1 se muestra la obtención de las primeras muestras de bioplástico según procedimientos realizados en laboratorio.



Obtención del material vegetal en campo y pelado de la fruta.



Troceado y secado del material y obtención del almidón



Primeras muestras de bioplástico obtenidas a partir de almidón de banano

Fuente: El autor

Figura 1. Proceso de obtención de bioplástico en condiciones de laboratorio.

Métodos

Preparación del almidón modificado

La modificación química del almidón se llevó a cabo con hipoclorito de sodio a una concentración del 1,5% según lo reportado por (Zamudio-Flores et al., 2006), en un proceso previo.

Preparación de las películas

Las películas fueron preparadas aplicando el método de *solvent casting* que consiste en realizar una mezcla de almidón, glicerina, carboximetilcelulosa y ácido acético a 2000 rpm por 2 minutos, la mezcla se llevó a cocción en una plancha calentadora hasta alcanzar 90°C durante 5 minutos y luego se vació en placas de vidrio, posteriormente se secó en un horno a 65°C. Las películas obtenidas por triplicado, se almacenaron a 60% HR Y 24°C hasta su posterior evaluación. En la tabla 2 se muestra la composición de cada uno de los tratamientos evaluados.

Tabla 2. Composición de los tratamientos

Numero tratamiento	Componentes			
	Tipo de almidón (p/v)	Glicerina (p/v)	Ácido acético (v/v)	Carboximetilcelulosa (CMC) (p/v)
T1	Almidón nativo 10%	5%	3,5%	0
T2	Almidón nativo 10%	5%	3,5%	1,25%
T3	Almidón oxidado 10%	5%	3,5%	1,25%
T4	Almidón oxidado	5%	3,5%	0

Pruebas de caracterización

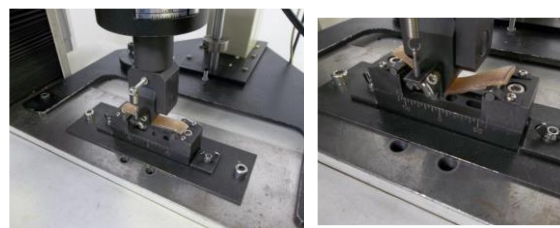
Las propiedades mecánicas de las películas se evaluaron mediante los siguientes ensayos. Los ensayos de tensión y flexión, se realizaron con una Máquina Universal de Ensayos marca Shimadzu® 5KN. Para el ensayo de tensión (figura 2) se utilizó una celda de carga de 1KN y la velocidad de cabezal del equipo se programó a 50 mm/min, como se sugiere en la “tabla 1” de la norma ASTM D882-12; las dimensiones de las probetas evaluadas fueron 2,3 mm de espesor, 16 mm de ancho y 50 mm de longitud calibrada. Para el ensayo de flexión (figura 3) se implementó una celda de carga de 1KN y la velocidad de cabezal del equipo se programó a 2,4 mm/min, como sugiere en el numeral 10.1.4 de la norma ASTM D790.10; las dimensiones de las probetas fueron 2,5

mm de espesor y 16 mm de ancho. El ensayo de impacto (figura 4) se realizó en una Máquina de Impacto Physical Test Solution - PTS, Model ITC-XJU-22. Para este ensayo se instaló un péndulo de 1,0 Jules; las dimensiones de las probetas fueron 3,5 mm de espesor, 16 mm de ancho y 22 mm de altura de la probeta en la zona de impacto. El instrumento con el que se registraron las dimensiones de las probetas, fue un Pie de Rey marca Mitutoyo, con una resolución de 0,05 mm.



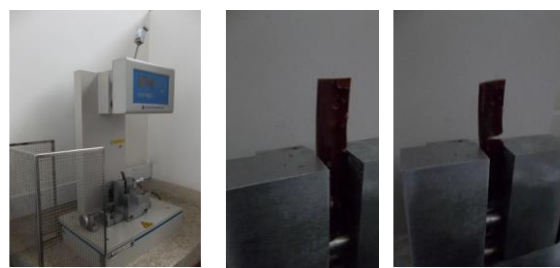
Fuente: Laboratorio interfacultades de ensayos mecánicos. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá

Figura 2. Imagen de la izquierda: Instalación de la Probeta. Imagen de la derecha: Probeta ensayada a Tensión.



Fuente: Laboratorio interfacultades de ensayos mecánicos. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá

Figura 3. Imagen de la izquierda: Instalación de la Probeta. Imagen de la derecha: Probeta ensayada



Fuente: Laboratorio interfacultades de ensayos mecánicos. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá

Figura 4. Imagen de la izquierda y centro: Instalación de la probeta. Imagen de la derecha: Muestra ensayada

Resultados y discusión

Después de elaborar las muestras de bioplástico en el Complejo y realizar las respectivas pruebas de ensayos de Tensión, Flexión e Impacto dirigidos por el laboratorio de ensayos mecánicos de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, se pueden plantear los siguientes resultados presentados en la tabla 3.

Tabla 3. Resultado de pruebas de ensayos de Tensión, Flexión e Impacto elaborados por el laboratorio de ensayos mecánicos

Tratamientos		Tensión					Flexión			Impacto	
T	Alm	C M C	Fmá x (N)	Des p (mm)	Esf max (N/ mm ²)	Def Max (%)	Fmáx (N)	Des p (mm)	Esf max (N/ mm ²)	Def Ma x (%)	Energía (J)
1	0	0	27,1 0	5,13	0,74	10,2 5	3,20	25,9 2	2,89	10,8 0	0,11
1	0	0	25,6 0	4,04	0,69	8,08	3,00	27,6 8	2,68	11,5 3	0,29
1	0	0	33,5 0	10,6 2	0,91	21,2 4	3,90	29,2 2	3,48	12,1 8	0,22
1	0	0	39,7 0	16,1 0	1,08	32,2 0	2,30	26,7 2	2,04	11,1 3	0,22
1	0	0	39,6 0	11,9 2	1,08	23,8 4	4,60	17,4 1	4,11	7,25	0,10
Promedio			33,1 0	9,56	0,90	19,1 2	3,40	25,3 9	3,04	10,5 8	0,19
Desviación			6,67	4,99	0,18	9,98	0,88	4,63	0,79	1,93	0,08
2	0	1	38,1 0	23,2 2	1,04	46,6 3	3,00	30,7 2	2,70	12,8 0	0,11
2	0	1	31,6 0	18,5 6	0,86	37,1 2	2,70	27,8 8	2,43	11,6 2	0,14
2	0	1	30,2 0	18,7 3	0,82	37,4 7	3,00	31,4 5	2,74	13,1 1	0,08
2	0	1	26,1 0	10,2 6	0,71	20,5 3	2,50	26,2 5	2,28	10,9 4	0,15
2	0	1	26,3 0	11,7 8	0,72	23,5 6	3,40	30,0 1	3,05	12,5 0	0,11
Promedio			30,4 6	16,5 1	0,83	33,0 6	2,92	29,2 6	2,64	12,1 9	0,12
Desviación			4,90	5,38	0,13	10,8 1	0,34	2,15	0,30	0,89	0,03
3	1	1	46,2 0	14,3 2	1,25	28,6 3	3,10	26,0 6	2,78	10,8 6	0,15
3	1	1	41,8 0	17,9 6	1,14	35,9 2	3,70	27,3 6	3,30	11,4 0	0,13
3	1	1	45,5 0	23,8 9	1,24	47,7 8	3,40	24,8 2	3,02	10,3 4	0,18
3	1	1	40,8 0	16,2 8	1,11	32,5 7	3,80	26,2 7	3,39	10,9 5	0,20
3	1	1	38,4 0	16,7 7	1,04	33,5 4	3,40	28,9 5	3,03	12,0 6	0,22
Promedio			42,5 4	17,8 4	1,16	35,6 9	3,48	26,6 9	3,10	11,1 2	0,18
Desviación			3,27	3,63	0,09	7,25	0,28	1,55	0,24	0,65	0,04
4	1	0	47,2 0	24,3 8	0,94	29,6 3	3,79	26,0 6	3,45	9,96	0,15
4	1	0	45,8 0	17,9 6	1,14	34,2 2	3,96	24,1 6	3,67	10,4 3	0,16
4	1	0	43,5 0	23,8 9	0,94	47,7 8	3,70	23,8 2	3,35	9,94	0,14

4	1	0	45,8 0	25,2 8	1,11	32,7 7	3,89	24,2 7	3,78	10,2 5	0,16
4	1	0	40,4 0	26,6 4	0,94	34,8 4	3,70	26,4 5	3,47	12,0 6	0,14
Promedio			44,5 4	23,6 3	1,01	35,8 5	3,81	24,9 5	3,54	10,5 3	0,15
Desviación			2,67	3,34	0,10	6,97	0,12	1,21	0,13	0,88	0,01

*Alm= Almidón; CMC= Carboximetilcelulosa; Fmax= Fuerza máxima, Desp= Desplazamiento; Esfmax= Esfuerzo máximo; DefMax= Deformación máxima

Se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos al biopolímero según las mezclas realizadas para cada prueba (tensión, flexión e impacto) donde se pudo observar valores de significancia mayores a 5%; en la prueba de tensión específicamente para las variables de fuerza máxima, desplazamiento, esfuerzo máximo y deformación máxima con valores de 0.054, 0.329, 0.157 y 0.917 respectivamente, lo cual significa que no existe una diferencia significativa entre tratamientos por lo cual se corrobora la hipótesis nula indicando que los tratamientos son iguales.

De igual manera se presenta valores mayores de significancia 5% para la prueba de flexión en cada uno de los tratamientos y variables de 0.529, 0.440, 0.673 y 0.540 respectivamente, de igual manera la prueba de impactos presenta un valor de 0.824 lo que indica que para ambas pruebas se acepta la hipótesis nula en donde se observa que los tratamientos son iguales, además la presencia de Carboximetilcelulosa -CMC no presenta ventaja estadística en ninguna de las pruebas, ya que al analizar los valores de significancia de estos compuestos todos son mayores al 5%.

Teniendo en cuenta que no se encuentra diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos, se procede a analizar los promedios presentados en la tabla 3, se observa que el tratamiento 3 presento mejores propiedades en cuanto a los ensayos de tensión, en donde se evaluaron fuerza máxima, desplazamiento, esfuerzo máximo y deformación máxima con valores de 42,54 N, 17,84mm, 1,16n/mm² y 35,69% respectivamente, siendo inferior al reportado por Navia et al., (2013), que lograron resultados de resistencia última al esfuerzo de tensión y flexión de 1,8 ± 0,2 MPa y 3,5 ± 0,2 MPa, respectivamente en películas de almidón de yuca variedad MPER 183; mientras que López et al., (2014), evaluaron el uso potencial de la cáscara de banana verde de rechazo en la elaboración de un bioplástico, obteniendo esfuerzos de 0.5994 MPa (bioplástico) inferiores a los alcanzados en la presente investigación, aunque los promedios más bajos los presentaban los tratamientos 1 y 2 en donde el almidón utilizado no se encontraba oxidado, lo que indica que

al utilizar almidón oxidado aumenta las características de tensión.

En general, la adición de almidón oxidado provocó un aumento en la tensión y redujo la deformación de todas las formulaciones, indicando una interacción química de niveles de oxidación del almidón. Existen algunas publicaciones que respaldan el argumento de la interacción existente entre los grupos carboxilos del almidón oxidado con los grupos de otras moléculas los cuales refuerzan la estructura de la película (Zamudio-Flores et al., 2010; Wu et al., 2010). De acuerdo a la aplicación del almidón modificado, se preferirá que el contenido de grupos carboxilo sea máximo ya que éstos influyen en la estabilización de las moléculas de amilosa y en la minimización de la retrogradación (Parovuori et al., 1995).

Analizando los resultados de flexión en la tabla número 3, al tratarse de la fuerza máxima se observa que es necesario implementar menos fuerza en los tratamientos 2 y 1, 2,92 N y 3,40 N respectivamente, indicando que estas mezclas permiten o le dan características de elasticidad, es importante destacar el comportamiento de los datos al estudiar los dos tipos de almidones por separado, para el almidón nativo al igual que el oxidado los tratamientos con presencia de Carboximetilcelulosa- CMC, su promedios son menores a los tratamientos que no tienen en sus mezcla CMC; de igual manera se observa los tratamientos sin CMC 1 y 4 presenta valores menores en desplazamientos a los tratamientos 2 y 3 29,26mm y 26,69 mm respectivamente, indicando la facilidad de expansión del polímero conferido por la CMC, ya que algunos compuestos cumplen la función de extensores dentro de la mezcla. En la mayoría de las pastas para biopolímeros se recomiendan agentes espesantes como los polisacáridos carboximetilcelulosa e hidroxietilcelulosa (Andersen & Hodson, 1997). Según Meneses et al., (2007), en una investigación realizada con almidón de yuca, el material que presenta las mejores propiedades es el que proviene de Almiyuca 2, con una resistencia a la tracción de 3,249 MPa, la cual es superior a la encontrada en esta investigación, los mismos autores además concluyen que la inclusión de aditivos al plástico es importante, debido a que mejora su desempeño. Por esto es fundamental a la hora de adicionar productos al plástico tener en cuenta su composición, su toxicidad y su degradabilidad, ya que todo insumo que se adicione al polímero debe ser biodegradable y ambientalmente asimilable, con el objeto de que no entorpezca el comportamiento final del plástico después de ser desechado.

En cuanto a la prueba de impacto el tratamiento 1 fue el que presento mejor resultado 0.187 J/m. Resultando inferior al reportado por Navia et al., (2013), que fue de $21,2 \pm 0,1$ J/m con almidón de yuca. En la composición de las películas de los tratamientos de esta investigación se incluyó carboximetilcelulosa, ya que según Ghanbarzadeh, et al., (2010), la adición aumenta la resistencia a la tensión de las películas obtenidas, lo que no se evidenció en los resultados obtenidos en esta investigación puesto que al comparar resultados de los ensayos de tensión el T2 (0, 83 N/mm²) con el T1 (0, 9 N/mm²), este último presentó mejores resultados. El ensayo T3 que contenía el almidón oxidado fue el que arrojó mejores resultados en esta evaluación.

La mayoría de los plásticos, en la actualidad, son a base de petróleo y no se degradan durante muchas décadas en condiciones ambientales normales. Como resultado, desde hace varias décadas se han desarrollado investigaciones para la fabricación de plásticos biodegradables “plásticos verdes”, evaluando diversas fuentes renovables, como los biopolímeros (almidón, proteínas, celulosa, PHA's, PHB's, entre otros) para la producción de estos, logrando así, que los esfuerzos dirigidos hacia la protección del medio ambiente y el desarrollo de productos con diversas aplicaciones comerciales, hayan adquirido un impulso significativo en los últimos años. También, debido a la dificultad para el procesamiento de los biopolímeros, muchos estudios se han dado en función de lograr mezclas entre biopolímeros y otros aditivos para reforzar los materiales plásticos mejorando sus propiedades mecánicas y de barrera, facilitar el procesamiento de estos, y así aplicar el método más eficiente para la producción industrial (extrusión) de los mismos (Zamudio-Flores et al., 2015; Verbeek & Van den Berg, 2010; Ban et al., 2006; Lodha & Netravali, 2005; Avérous, 2004; Fang & Fowler, 2003; Rouilly & Rigal, 2002; Zhong & Sun, 2001; Otaigbe et al., 1999; Jane et al., 1994, Otey & Mark, 1976). En la figura 5 se muestra las primeras muestras de bioplástico obtenidas a partir de almidón de banano y otros compuestos, proceso que debe ser sometido a mejorar de acuerdo a los resultados preliminares de las pruebas de tensión, flexión e impacto.



Fuente: El autor

Figura 5. Bioplástico obtenido en condiciones de laboratorio del Complejo

Esta investigación es el primer avance que se hace en la subregión de Urabá respecto al aprovechamiento de los excedentes de banano “fruta de rechazo” para la producción de un bioplástico, lo cual se debe seguir explorando teniendo en cuenta los resultados aquí planteados y las potencialidades que puede tener el producto para usos agrícolas, como es el embolsado de racimos en banano, identificación de la fruta, acolchado “mulch” para suelos, bolsas para vivero, entre otros. Es necesario continuar con la investigación haciendo otro tipo de mezclas y nuevas pruebas con el fin de encontrar el procedimiento ideal que pueda ser sometido a procesos de extrusión.

Conclusiones y recomendaciones

- La preparación de la película plástica con almidón oxidado permite mejorar las propiedades mecánicas de tensión y flexión según los resultados obtenidos de esta investigación, sin embargo, estadísticamente no hay diferencias para ninguno de los tratamientos en referencia a las pruebas de ensayo realizadas, lo que implica

continuar con las investigaciones para desarrollar nuevos materiales de bioplástico.

- Luego de la medición de las propiedades del polímero obtenido a partir del almidón, puede concluirse que es viable realizar un producto que no requiera una resistencia a la tracción muy alta y no debe estar expuesto al agua ni a unas condiciones de humedad elevadas; por lo tanto, la potencial fabricación de bolsas plásticas es uno de los usos que podrían darse al polímero como iniciativa para sustituir un producto cuya generación de residuos es masiva, con el fin de tratar de solucionar la no biodegradabilidad de los plásticos convencionales.
- La subregión de Urabá cuenta con una abundante fuente de materia prima para la obtención de almidón de banano verde de rechazo y posterior transformación en un bioplástico con aplicaciones agrícolas. El almidón como único componente para la elaboración de bioplásticos dificulta su transformación, por lo que se hace necesaria la incorporación de plastificantes. Además, se hace necesaria la incorporación de un material de refuerzo que permita que la matriz obtenida con solo almidón sea reforzada y mejore propiedades mecánicas como la resistencia a la fuerza.
- Los materiales plásticos obtenidos en esta investigación presentaron ciertos inconvenientes debido a la falta de los equipos adecuados para su elaboración, por lo que recomendamos para el procesamiento de los componentes una extrusora de doble tornillo que permitirá alcanzar los valores necesarios de temperatura y homogenización de los componentes.

Referentes bibliográficos

- Andersen, P. J. & Simon K. Hodson. (1997). *Starch-based compositions having uniformly dispersed fibers used to manufacture high strength articles having a fiber-reinforced, starch-bound cellular matrix*. US Patent 5,679,145, 1997. Recuperado de <https://www.google.com/patents/US5679145> [Noviembre 10, 2017]
- Anderson, A.J. & Dawes, E. A. (1990). *Occurrence, metabolism, metabolic role, and industrial uses of bacterial polyhydroxyalkanoates*. Microbiological reviews. Vol. 54(4). pp. 450-472. Recuperado de:



- <http://mmbr.asm.org/content/54/4/450.short> [Junio 3, 2015]
- Argenbio. (2015). *Por qué Biotecnología*. Recuperado de: <http://porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=48> [Junio 3, 2015]
- Avendaño, G; López, A. & Palou, E. (2013). *Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos*. Tems selectos de ingeniería de alimentos. Vol. 7(1). pp.87-96. Recuperado de: <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-71-Avendano-Romero-et-al-2013.pdf> [Junio 4, 2015]
- Avérous, L. (2004). *Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch: A Review*. Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. Vol. 44. pp.231-274. Recuperado de: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/MC-200029326>. [Enero 12, 2015]
- Ayarza, J. (2014). *Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas*. Revista Química PUCP. Perú. Vol. 28 (1-2). pp.19-23. ISSN: 1012-3946. Recuperado de: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/viewFile/10413/10863> [Junio 4, 2015]
- Ban, W., Song, J. & Argyropoulos, D. S. (2006). *Improving the physical and chemical functionality of starch-derived films with biopolymers*. Journal of Applied. Vol. 100 (3). pp. 2542-2548. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.23698/full>. [Mayo 2, 2015]
- Berardocco, H. G. (2010). *Acolchado plástico*. Departamento técnico Inplex Venados S A. Recuperado de: www.inplexvenados.com. [Agosto 13, 2015]
- Carluccio, C., Lenscak, M., Pabelo, M; Colombo, M., Cáceres, S., Molina, N., Scaglia, E. & Pernuzzi, C. (2012). *Desarrollo Actual de los Cultivos Protegidos en la República Argentina*. Recuperado de: <http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2008/10/cultivos-forzados-en-la-argentina-no-actualizado.pdf> [Septiembre 13, 2015]
- Enríquez, M., Velasco, R. & Ortiz, V. (2012). *Composición y Procesamiento de Películas Biodegradables Basadas en Almidón*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 10 N° 1. pp.182 – 192. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf> [Junio 13, 2015]
- Fang, J. & Fowler, P. (2003). *The use of starch and its derivatives as biopolymer sources of packaging materials*. Journal of Food Agriculture and Environment. Vol. 1 (3&4). pp.82-84. Recuperado de: http://world-food.net/download/journals/2003-issue_3%264/food-15.pdf [Abril 6, 2015]
- Flieger, M., Kantorova, M., Prell, A. Řezanka, T. & Votruba, J. (2003). *Biodegradable plastics from renewable sources*. Folia microbiológica. Vol. 48 (1). pp.27-44. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02931273#page-1> [Agosto 14, 2015]
- Flores, E., García, F., Flores, E., Nuñez, M., González, R. & Bello, L. (2004). *Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (Musa paradisiaca). Estudio en planta piloto*. Acta Científica. Venezuela. Vol. 55. pp.86-90. Recuperado de: http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-55042004000100011&lng=es&nrm=i [Junio 13, 2015]
- Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A. R., Musavi, M., Falcone, P. M. & Rad, E. R. (2007). *Study of mechanical properties, oxygen permeability and AFM topography of zein films plasticized by polyols*. Packaging Technology and Science. Vol. 20 (3). pp.155-163. DOI: 10.1002/pts.750 [Junio 12, 2015]
- Ghanbarzadeh, B. Almasi, H. & Entezami, A. A. (2010). *Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films*. Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 11 (4). pp.697-702. DOI: 10.1016/j.jfset.2010.06.001 [Junio 12, 2015]
- Gombotz, W. R & Wee, S. F. (2012). *Protein release from alginate matrices*. Advanced Drug Delivery Reviews. Vol. 64. pp.194-205. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X12002670> [Junio 12, 2015]
- González, Y; Meza, J. González, O. & Córdova, J. (2013). *Síntesis y biodegradación de*

- polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano*. Contaminación Ambiental. Vol. 29 (1). pp.77-115. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a7.pdf> [Mayo 6, 2015]
- Guevara, C. A., Arenas, H. A., Mejía, A & Peláez, C. A. (2012). *Obtención de etanol y biogás a partir de banano de rechazo*. Información tecnológica. Vol. 23(2). pp.19-30. ISSN 0718-0764. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000200004> [Julio 1, 2015]
- Hernández, M., López, G. & García, A. (2005). *Evaluación de derivados carboximetilados del alginato de sodio como superabsorbente*. Revista Cubana de Química. Vol. 17(3). pp.239-240. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543687096> [Enero 12, 2015]
- Jane, J., Lim, S; Paetau, I., Spence, K. & Wang, S. (1994). *Biodegradable plastics made from agricultural biopolymers*. Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO. Recuperado de: http://agris.fao.org/agris-search/search.do?request_locale=es&recordID=US9620605&sourceQuery=&query=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField= [Enero 13, 2015]
- Latorre, L. (2008). *Análisis Estructural y Modificación Funcional de la Glucoamilasa de Saccharomyces cerevisiae var. diastaticus*. Tesis Doctoral. Universitat de València. Departamento de Bioquímica & Biología Molecular. Recuperado de: <http://www.tesisenxarxa.net/handle/10803/9556;jsessionid=B1C6BC7F65128D6C9871873B3D80BB8A.tdx1> [Junio 14, 2015]
- Lárez, C. (2008). *Algunas de las potencialidades de la quitina y el quitosano para uso relacionado con la agricultura en Latinoamérica*. 22p. Recuperado de: <http://www.bioline.org.br/pdf?cg08002> [abril 23, 2015]
- Lee, W. J. & Lucey, J. A. (2004). *Structure and physical properties of yogurt gels: Effect of inoculation rate and incubation temperature*. Journal of dairy science. Vol. 87 (10). pp. 3153-3164. Recuperado de: [http://doi10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73450-5](http://doi10.3168/jds.S0022-0302(04)73450-5) [Abril 23, 2015]
- Lodha, P. & Netravali, A. N. (2005). *Thermal and mechanical properties of environment-friendly 'green' plastics from stearic acid modified-soy protein isolate*. Industrial Crops and Products. Vol. 21 (1). pp.49-64. Recuperado de: <http://doi10.1016/j.indcrop.2003.12.006> [Abril 23, 2015]
- López, J., Cuarán, J., Arenas, L. & Flórez, L. (2014). *Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico*. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales-RECIA-SENA. Vol. 1. pp.7-21. ISSN 2422-4456. Recuperado de: <http://www.metarevistas.org/index.php/recia/article/view/109> [Abril 23, 2015]
- López, N. (2010). *Extracción biotecnológica de quitina para la producción de quitosanos: caracterización y aplicación*. Food and Nutrition. Universite Claude Bernard - Lyon I. Universidad Autónoma Metropolitana. 160p. Recuperado de: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00807945/document> [Abril 23, 2015]
- López, O. (2011). *Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas. La Plata. 263p. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2651> [Abril 26, 2015]
- Lörcks J. (1998). *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 59. Pp.245-249. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391097001687> [Abril 24, 2015]
- Lu, D; Xiao, C. & Xu, S. (2009). *Starch-based completely biodegradable polymer materials*. Express polymer letters. Vol. 3 (6). pp.366-375. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2009.46 [Abril 23, 2015]
- Meneses, J., Corrales, C. M. y Valencia, M. (2007). *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. Rev. EIA. Esc. Ing. Antioq. N°8 Envigado July/Dec. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006 [Noviembre 20, 2017]
- Mármol, Z., Páez, G; Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C; Chandler, C & Gutiérrez, E. (2011). *Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de*

- sus aplicaciones/Chitin and Chitosan friendly polymer. A review of their applications.* Revista Tecnocientífica URU. Vol. 1. pp.53-58. Recuperado de: <http://200.35.84.134/ojs-2.4.2/index.php/rtcu/article/view/20/16> [Abril 26, 2015]
- Navia, D; Villada, H; Ayala, A. (2013). *Evaluación mecánica de Bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca.* Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Edición Especial No. 2. pp.77- 84. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11n_esp09.pdf [Abril 28, 2015]
- Otaigbe, J. Goel, H. Babcock, T & Jane, J. (1999). *Processability and Properties of Biodegradable Plastics Made from Agricultural Biopolymers.* Journal of Elastomers and Plastics. Vol. 31 (1). pp.56-71. Recuperado de: <http://jep.sagepub.com/content/31/1/56.short?rss=1&ssource=mfr> [Abril 2, 2015]
- Otey, F. H., & Mark, A. M. (1976). U.S. Patent No. 3,949,145. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. Recuperado de: <https://www.google.com/patents/US3949145> [Abril 2, 2015]
- Pacheco, G., Flores, N., Rodríguez, R. (2014). *Bioplásticos.* Departamento de Biología Molecular y Biotecnología. Instituto de Investigaciones Biomédicas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Biotecnología. Vol. 18(2). pp.27-36. Recuperado de: http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2014_2/bioplasticos.pdf [Marzo 4, 2015]
- Parovuori, P., Hamunen, A., Forssell, P., Autio, K., & Poutanen, K. (1995). *Oxidation of Potato Starch by Hydrogen Peroxide.* Starch, 47(1). Pp.19-23. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1002/star.19950470106>. [Noviembre 11, 2017]
- Parzanese, M. (2013). *Películas y recubrimientos comestibles ficha N° 7.* Alimentos Argentinos-MinAgri. 11p. Recuperado de: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PeliculaComestible.pdf [marzo 24, 2015]
- Pinilla, A. (2011). *Efecto del quitosano en la resistencia al envejecimiento de películas de biopolímeros obtenidos a partir de almidón de yuca reforzado con arcillas modificadas.* Tesis de Maestría en Ingeniería de Materiales. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería físico-químicas. Bucaramanga. Recuperado de: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7670/2/141034.pdf> [Marzo 22, 2015]
- Poirier, Y; Nawrath, C & Somerville, C. (1995). *Production of polyhydroxyalkanoates, a family of biodegradable plastics and elastomers, in bacteria and plants.* Nature Biotechnology. Vol. 13 (2). pp.142-150. Recuperado de: <http://www.nature.com/nbt/journal/v13/n2/abs/nbt0295-142.html> [Marzo 24, 2015]
- Ramírez, M., Rodríguez, A., Alfonso, L. & Peniche, C. (2010). La quitina y sus derivados, biopolímeros con potencialidades de aplicación agrícola. Biotecnología aplicada. Vol.27(4). pp. 270-276. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-28522010000400002 [Marzo 28, 2015]
- Reddy, M. M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S. K. & Mohanty, A. K. (2013). *Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities.* Progress in Polymer Science. Vol. 38(10). pp.1653-1689. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.05.006 [Marzo 18, 2015]
- Riggi, E., Santagata, G. & Malinconico, M. (2001). *Bio-based and biodegradable plastics for use in crop production.* Recent Pat Food Nutr Agric. Vol. 3 (1). P. 49-63. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21114467> [agosto 21, 2015]
- Rimsa, S., & Tatarka, P. (2009). U.S. Patent No. 7,517,924. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. Recuperado de: <http://www.google.co.ug/patents/US7517924> [Agosto 21, 2015]
- Rivera, L; Nevárez, G. (2009). *Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos.* TECNOCIENCIA. Chihuahua. Vol. 3(2). pp.58-63. Recuperado de: http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v3n2/data/Fuentes_de_carbono_economicas_para_la_produccion_de_bioplasticos_bacterianos.pdf [Agosto 21, 2015]



- Rosales, J. (2008). *Comportamiento de un Copoliéster Alifático-Aromático Biodegradable como acolchado en la producción de Piña (Ananas comosus L.)*. Universidad EARTH. Costa Rica. 41p. Recuperado de: [http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/ColeccionVirtual/pdf/PG33-2008_RosalesJ\[1\].pdf](http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/ColeccionVirtual/pdf/PG33-2008_RosalesJ[1].pdf) [Agosto 21, 2015]
- Rouilly, A. & Rigal, L. (2002). *Agro-materials: a bibliographic review*. Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. Vol. 42 (4). pp. 441-479. Recuperado de: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/MC-120015987>. [Mayo 11, 2015]
- Rubio, M. & Guerrero, J. (2012). *Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables*. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. Vol. (6-2). pp. 175-181. Recuperado de: <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Rubio-Anaya-et-al-2012.pdf> [Agosto 21, 2015]
- Serrano, Y. (2010). *Polihidroxialcanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente*. Teoría y Praxis Investigativa. Vol. 5 (2). pp.79-84. Recuperado de: [dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3702404.pdf](http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Rubio-Anaya-et-al-2012.pdf) [Julio 1, 2015]
- Segura, D., Noguez, R., Espín, G. (2007). *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*. México. 12p. Recuperado de: http://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/30542702/capitulo_31.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1483141043&Signature=ibtBkcGEZQn4DLaTMhuUXHcEO54%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DContaminacion_ambiental_y_bacterias_prod.pdf [Julio 8, 2015]
- Siracusa, V; Rocculi, P; Romani, S & Dalla Rosa, M. (2008). *Biodegradable polymers for food packaging: a review*. Trends in Food Science & Technology. Vol. 19 (12). pp.634-643. Doi: 10.1016/j.tifs.2008.07.003 [Julio 1, 2015]
- Soto, V. (2010). *Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (Musa cavendishii) y banana verde (Musa paradisíaca)*. Revista Bolivariana de Química. Vol. 27. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Bioquímica y Farmacia. Cochabamba-Bolivia. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339674004> [Julio 5, 2015]
- Sudesh, K; Abe, H & Doi, Y. (2000). *Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters*. Progress in Polymer Science. Vol. 25 (10). pp. 1503-1555. DOI: 10.1016/S0079-6700(00)00035-6 [Julio 8, 2015]
- Stagner, J. A., Dias, V. & Narayan, R. (2012). *Application and Performance of Maleated Thermoplastic Starch-Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blends for Films*. Journal of Applied Polymer Science. Vol. 126. pp.135-142. DOI 10.1002/app.34876 [Septiembre 5, 2015]
- Tharanathan, R.N. & Kittur, F. S. (2003). *Chitin — The Undisputed Biomolecule of Great Potential*. Food Science and Nutrition. Vol. 43 (1). pp. 61-87. DOI: 10.1080/10408690390826455 [Septiembre 5, 2015]
- Tomka, I. (2000). *U.S. Patent No. 6,117,925*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. Recuperado de: <http://es.patents.com/us-6117925.html> [Septiembre 5, 2015]
- Trotsenko, Y & Belova, L. (2000). *Biosynthesis of poly (3-Hydroxybutyrate) and poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and its regulation in bacteria*. Microbiology. Vol.69 (6). pp.635-645. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1026641821583#page-1> [Septiembre 8, 2015]
- Valero, M., Ortegón, Y. & Uscategui, Y. (2013). *Biopolímeros: avances y perspectivas*. Dyna. Vol. 80 (181). pp.171-180. Recuperado de: <http://search.proquest.com/docview/1677423272?pq-origsite=gscholar> [sSeptiembre 8, 2015]
- Verbeek, C. & Van den Berg, L. (2010). *Extrusion Processing and Properties of Protein-Based Thermoplastics*. Macromolecular Materials and Engineering. Vol. 295 (1). pp.10-21. DOI: 10.1002/mame.200900167 [Septiembre 9, 2015]
- Villada, H., Acosta, H. y Velasco, R. (2007). *Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables*. Temas Agrarios. Vol. 12. (2). pp. 5-13. Recuperado de:



<http://revistas.unicordoba.edu.co/ojs/index.php/temasagrarios/article/view/440> [Septiembre 8, 2015]

- Wu, H., Liu, C., Chen, J., Chen, Y., Anderson, D. P. & Chang, P. R. (2010). *Oxidized pea starch/chitosan composite films: Structural characterization and properties*. J. Appl. Polym. Sci., 118 (5), pp.3082-3088. Recuperado de <http://www.agr.gc.ca/eng/abstract/?id=2059400000117> [Noviembre 10, 2017]
- Yabur, R., Bashan, Y. & Hernández, G. (2007). *Alginate from the macroalgae Sargassum sinicola as a novel source for microbial immobilization material in wastewater treatment and plant growth promotion*. Journal of Applied Phycology. Vol. 19(1). pp.43-53. DOI:10.1007/s10811-006-9109-8 [Septiembre 10, 2015]
- Yoshioka, I. C. & Mosquera, Y. (2007). *Proceso de compostaje de los residuos orgánicos*. Augura-SENA-Banatura. Medellín. 30p. [Octubre 1, 2015]
- Zamudio-Flores, P. B., Vargas-Torres, J. Pérez-González, E. Bosquez-Molina, A. & Bello-Pérez, L. A. (2006). *Films prepared with oxidized banana starch: Mechanical and barrier properties*. Starch/Stärke 58: pp.274-282. Recuperado <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/star.200500474/full> [Marzo 12, 2017]
- Zamudio-Flores, P. B., Vargas-Torres, A., Salgado-Delgado, R., Bello-Pérez, L. A. (2010). *Influence of the oxidation and acetylation of banana starch on the mechanical and water barrier properties of modified starch and modified starch/chitosan blend films*. Journal of applied polymer science. Vol. 115 (2). pp. 991-998. Recuperado de: DOI: 10.1002/app.31047 [Octubre 1, 2015]
- Zamudio-Flores, P. & Bello-Pérez, L. (2013). *Elaboración y caracterización de películas de glicoproteínas obtenidas mediante reacción de Maillard utilizando almidón acetilado y aislado proteico de suero lácteo*. Revista mexicana de ingeniería química. Vol.12 (3). pp.401-413. ISSN 1665-2738. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382013000300004 [Septiembre 10, 2015]
- Zamudio-Flores, P. B., Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J., Tirado-Gallegos, J. M.; Bello-Pérez, L. A.; Rubio-Ríos, A. & Cárdenas-Felix, R. G. (2015). *Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de a vena y plátano adicionadas con betalaínas*. Agrociencia. Vol. 49. N° 5. Julio-agosto. 2015, pp. 483-498. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/302/30240678002.pdf> [Noviembre 11, 2017]
- Zhong, Z. & Sun, X. (2001). *Properties of soy protein isolate/polycaprolactone blends compatibilized by methylene diphenyl diisocyanate*. Polymer. Vol. 42 (16). pp.6961-6969. Recuperado de: DOI: 10.1016/S0032-3861(01)00118-5. [Septiembre 10, 2015]