

Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383*

Formulation to obtain a biodegradable polymer from yucca starch, variety MBRA 383

Jorge A. Durán V.

Químico. Especialista en Análisis Instrumental. Doctorado en Ciencias Químicas. Msc en Educación y Desarrollo Humano. Profesor Tiempo Completo de la USB
jaduran@usb.edu.co

Mónica Andrea Morales G.

Ingeniero Agroindustrial
Asesora comercial
mulatar79@hotmail.com

Roland Yusti L.

Ingeniero Agroindustrial. Jefe Aseguramiento de la Calidad en Diego Restrepo y Cía.
zarco04@hotmail.com

Grupo de investigación *Biotecnología vegetal*
Universidad de San Buenaventura Cali

Resumen

El plástico es el principal producto industrial causante de grandes volúmenes de residuos no biodegradables, esto debido a los fuertes enlaces químicos que se generan durante su elaboración y a que las materias primas para su obtención son derivadas del petróleo. Ante esta situación, el siguiente artículo presenta una opción para minimizar este problema mediante la elaboración de un polímero biodegradable a partir de *Isocianato* (compuesto alcohólico) y el refuerzo o sustitución de este por almidón de yuca, materia prima de origen vegetal que provee las mismas características químicas sin alterar o aumentar la expansión polimérica.

Palabras clave: Polímeros, almidón, biodegradable, espumas, tecnología limpia

Abstract

Plastic is the main industrial product causing high volumes of non-biodegradable waste due to the strong chemical linkages that result during its preparation and to the fact that its raw materials are derived from petroleum. This article presents an option to minimize this problem through the preparation of a biodegradable polymer from isocyanate (alcoholic compound) and its reinforcement or substitution by using yucca starch, raw material of vegetable origin that provides the same chemical characteristics to obtain a biodegradable polymer without altering or increasing the polymeric expansion.

Keywords: Polymers, starch, biodegradable, foam, clean technology.

* Este informe hace parte de las investigaciones adelantadas en el grupo *Biotecnología vegetal*, registrado por Colciencias e inscrito en el Centro de Investigaciones Bonaventuriana de la Universidad de San Buenaventura Cali.

Fecha de recepción: Septiembre de 2005.

Aceptación para su publicación: Noviembre de 2005.

Introducción

Con el fin de aportar tecnologías competitivas e innovadoras al sector de la industria del plástico en Colombia, la siguiente investigación propone el tratamiento y uso de una materia prima de origen vegetal a partir del almidón de yuca para la obtención de un polímero de buena calidad y ambientalmente favorable, libre de los derivados del petróleo y sin alterar las ventajas químicas e industriales de su estructura molecular.

Esta aplicación tecnológica generará una notable reducción de la contaminación al ofrecer un producto biodegradable, lo que garantiza de antemano el apoyo de los consumidores, quienes cada vez se comprometen más con tecnologías limpias, desarrollo sostenible y conservación del medio ambiente.

Esta propuesta se muestra como el resultado de una búsqueda de nuevas alternativas de producción para la disminución de costos en materias primas, reducción de contaminación y aplicación de nuevas tecnologías a través del aprovechamiento de almidones.

Antecedentes

El hombre, desde las primeras etapas de su desarrollo social, ha empleado los recursos de la tierra para su supervivencia y progreso sin que los residuos le hayan planteado un problema significativo, pues la población mun-

dial era escasa y el terreno disponible muy extenso. Sin embargo, la generación indiscriminada de desechos y el actual nivel de concienciación que posee la sociedad sobre la ecología han obligado a que se busquen nuevas tecnologías que brinden productos más benignos con el medio ambiente.

Aunque su desarrollo industrial es relativamente reciente –sólo se llevó a cabo, a escala importante a comienzos del siglo pasado– las primeras aplicaciones de plástico se realizaron en la primera mitad del siglo XIX.

EE.UU y Alemania fueron los primeros en desarrollar y comercializar productos como el PVC¹ (1920-1940). Hasta 1945 el proceso de industrialización del plástico se caracterizó por una precaria producción a escala comercial y por la utilización de materias primas de origen natural, a partir de la cual se obtenía celulósido. Hoy, países como Japón y Alemania, entre otros, son pioneros en la producción de materiales biodegradables.

En Colombia las primeras industrias de transformación del plástico aparecieron a finales de los años treinta, poco antes de la Segunda Guerra Mundial. Durante este período, el proceso de industrialización fue lento, debido a la dificultad de adquirir materias primas en el exterior.

Con el tiempo, los productos plásticos pasaron de ser algo exótico a formar parte integral de la vida humana al sustituir materiales tradicionales, renovables y no renovables, por su gran versatilidad, su higiene, sus cualidades

1. Sigla del polímero polivinil cloruro.

de resistencia, su duración y su economía. Hoy nuestro país produce polietileno de baja densidad, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliestireno y poliéster e importa los demás polímeros, los cuales generalmente utiliza para protección de alimentos.

Sin embargo, los altos niveles de contaminación por plástico exigen a las industrias del ramo el desarrollo de productos biodegradables –como es el caso de polímeros derivados del almidón de yuca– que presentan cualidades industriales similares, además de ser materia prima de bajo costo y buena calidad.

Polímeros sintéticos

Conocidos genéricamente como plástico, estos se obtienen a partir de diversas sustancias de origen vegetal y mineral. Desde los más sencillos hasta los más complejos han tenido una vasta difusión y se han empleado en casi todas las áreas de la actividad humana, debido a sus múltiples aplicaciones y a la amplia gama de propiedades que presentan; por ejemplo, en la conservación de alimentos se han utilizado en forma directa como empaques, envases y empaques.

También, en combinación con otros materiales, se han empleado con gran éxito en estructuras complejas flexibles, las cuales tienen como objeto fundamental ofrecer mejores ca-

racterísticas de barrera contra los agentes del deterioro.

El plástico se produce a partir de materias primas básicas, llamadas monómeros,² sometidas a reacciones químicas específicas (polimerización, policondensación y poliadición) en condiciones particulares. Su comercialización se da en forma de polvos, gránulos, escamas, líquidos o suspensiones, que luego van a ser procesados a fin de obtener materiales intermedios (películas, láminas, tubos, etc.) o productos totalmente terminados (bolsas, envases, botellas, etc.).

Entre el polímero que elabora el productor y el material que llega al procesador o convertidor, existe una etapa que contempla la adición de modificadores que sirven para impartir propiedades a los polímeros o mejorar las ya existentes; es decir, hacer plásticos más flexibles (con el uso de plastificantes), resistentes a la luz y al calor (con el empleo de estabilizadores), fuertes y resistentes al impacto, coloreados mediante pigmentos, etc.

Las compañías que suministran los aditivos son generalmente las mismas productoras de polímeros.

La formulación de la resina base (mezcla de polímeros con los aditivos) es usualmente realizada por el productor. Sin embargo, existen muchos convertidores que se encuentran en capacidad de llevar a cabo sus propias formulaciones a partir de determinados elementos.

2. Se denomina monómero a la unidad molecular más sencilla que se repite n veces para formar la macromolécula o polímero. Se da el caso en que la estructura que se repite está conformada por dos moléculas diferentes; a este conjunto se le denomina dímero.

Biopolímeros

Los plásticos biodegradables son una prometedora alternativa, en especial para utensilios que tienen una vida útil reducida o no son prácticos de reciclar, como las envolturas de alimentos. En algunos casos los productos de su degradación (metano, metanol) pueden ser reaprovechados y el material restante transformado en carbono orgánico para el suelo, lo que cierra el ciclo de la producción limpia.

No deben confundirse los plásticos biodegradables (que pueden ser producidos a partir del petróleo y ser degradados posteriormente por los microorganismos) con los biopolímeros, producidos a partir de almidón,³ celulosa o bacterias. Es esencial, sin embargo, que la producción de biopolímeros no involucre el uso de organismos genéticamente modificados o patentes sobre estos seres vivos.

Polimerización⁴

En esta reacción química básica de la industria del plástico se unen moléculas pequeñas (monómeros o dímeros) para dar origen a macromoléculas (polímeros). No todas las polimerizaciones tienen lugar de manera semejante. Unas transcurren con la liberación de moléculas pequeñas (v.g., agua), y otras no, tal como ocurre en las polimerizaciones de adición.

En la mayoría de los casos, la polimerización se controla hasta lograr consistencia de jara-

be en la macromolécula, momento en el cual se vierte sobre un molde, sitio donde termina la reacción.

Composición y estructura del almidón

El almidón contiene, generalmente, alrededor del 20% de una sustancia soluble en agua llamada amilosa y el 80% de una insoluble conocida como amilopectina. Ambas fracciones corresponden a dos carbohidratos diferentes, de peso molecular elevado. Tanto la amilosa como amilopectina están constituidas por unidades de D-(+)-glucosa, pero difieren en tamaño y forma (Ver Tabla 1).

Clasificación de los polímeros

Según su origen

- *Naturales*. Se pueden presentar en la naturaleza (reino vegetal y animal), por ejemplo: la celulosa, el caucho natural, las resinas, el almidón, entre otros.
- *Semisintéticos*. Obtenidos por transformación química de los polímeros naturales, sin que se destruya de modo apreciable su naturaleza macromolecular, por ejemplo: la seda artificial obtenida a partir de la celulosa.

3. El almidón y la celulosa son polímeros naturales denominados polisacáridos; se clasifican como carbohidratos.

4. El grado de polimerización se define como el número de unidades monoméricas unidas para formar una cadena o macromolécula y experimentalmente se controla con análisis de viscosidad.

Tabla 1
Propiedades de la amilosa y la amilopectina

PROPIEDAD	AMILOSA	AMILOPECTINA
Peso molecular	50.000 - 200.000	1 a varios millones
Enlaces glicosídicos	Principalmente α - D-(1-4)	α - D-(1-4), α - D-(1-6)
Susceptibilidad a la retrogradación	Alta	Baja
Productos de la acción de β -amilasa	Maltosa	Maltosa y β dextrina límite
Productos de la acción de glucoamilasa	D-Glucosa	D-Glucosa
Forma molecular	Esencialmente lineal	Arbustiva

Fuente: El autor

- *Sintéticos*. Se obtienen por vía puramente sintética a partir de sustancias de bajo peso molecular, v. g., el nylon.

Según su estructura molecular

- *Lineales*. Formados por largas cadenas de macromoléculas no ramificadas.
- *Ramificados*. Constituidos por macromoléculas en las que la cadena principal presenta una serie de ramificaciones laterales.
- *Reticulados*. Las macromoléculas que los componen se forman a partir de cadenas y ramificaciones entrelazadas en las tres dimensiones del espacio.

Según las reacciones de formación

- *Polimerizados*. Sus macromoléculas se han formado por la unión de moléculas monómeras no saturadas; por ejemplo, el polietileno.
- *Policondensados*. Se generan de enlaces multifuncionales entre las macromoléculas, con separación de algún producto de bajo peso molecular; por ejemplo: nylon, proteínas, etc.

Desarrollo metodológico

Pre-selección del almidón

Para esta investigación se utilizaron diferentes almidones, de acuerdo con las variedades de yuca. Y en esta escogencia jugó un importante papel el banco de germoplasma del Centro Internacional de Agricultura Tropical –CIAT– que cuenta con más de 6.000 variedades de yuca, de las cuales 600 de ellas son las más representativas.

El CIAT, a través del Proyecto de Mejoramiento de Yuca, brindó información suficiente de las diferentes variedades para seleccionar las más adecuadas, de acuerdo con las siguientes características:

- *Contenido*. Factor importante para la formación de un polímero biodegradable y a su vez incrementa la expansión polimérica.
- *Alta producción en campo*. Permite contar con disponibilidad continua y satisfactoria de materias primas.
- *Zona de producción*. Hay que tener en cuenta los lugares ideales para el desarrollo del tubérculo. Las zonas más adecua-

das para la selección de las variedades son: Valle del Cauca, Quindío, entre otras.

Descripción de las etapas del proceso de elaboración del polímero

En la elaboración del polímero se trabajó con dos fórmulas: La primera mantiene constante los derivados del petróleo, variando las cantidades de almidón. La segunda varía tanto las cantidades de almidón como los derivados del petróleo.

Para seleccionar la formulación más apropiada, se efectuó un diseño experimental estadístico con 95% de confiabilidad. En la elección se tienen en cuenta la degradabilidad y la expansión polimérica.

El polímero obtenido debe ser biodegradable pero, adicionalmente, debe presentar una buena expansión polimérica; esto es, el mayor volumen que puede llegar a adquirir la espuma, de acuerdo con la formulación aplicada.

A partir de este referente, se determina la formulación de mejor rendimiento. Para lo anterior se halló la densidad de cada uno de los polímeros obtenidos en cada formulación.

La relación entre expansión polimérica y densidad es inversamente proporcional; es decir, cuanto mayor sea la expansión polimérica, menor será el valor de densidad, tal como lo muestran las Tablas 2 y 3.

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir del diseño experimental estadístico, se seleccionó la formulación 1 para la prueba de degradabilidad con ácido sulfúrico.

Resultados obtenidos

Evaluación del biopolímero a partir de densidades para las dos formulaciones⁵

Evaluación cualitativa de degradabilidad utilizando ácido sulfúrico

El período de observación tuvo una duración de veinte días durante los cuales se presentaron cambios interesantes en los polímeros.

Tabla 2

Resultados de la formulación 1 (Tres ensayos⁶)

Tratamiento ⁷ con almidón	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Densidad promedio (ensayo 1)	0.03423	0.03751	0.03204	0.02889	0.02898	0.03201	0.03411	0.03250	0.0308
Densidad promedio (ensayo 2)	0.03178	0.03661	0.03188	0.03177	0.03131	0.03003	0.02802	0.03470	0.03033
Densidad promedio (ensayo 3)	0.03512	0.03566	0.03571	0.03484	0.03207	0.02889	0.02619	0.03128	0.02859

Fuente: El autor

5. Se refiere a las sustancias empleadas y sus respectivas cantidades

6. Se refiere a la repetición de cada uno de los tratamientos que conforman la formulación.

7. Se refiere a las variaciones que sufre la formulación a partir del cambio en la cantidad de almidón utilizado.

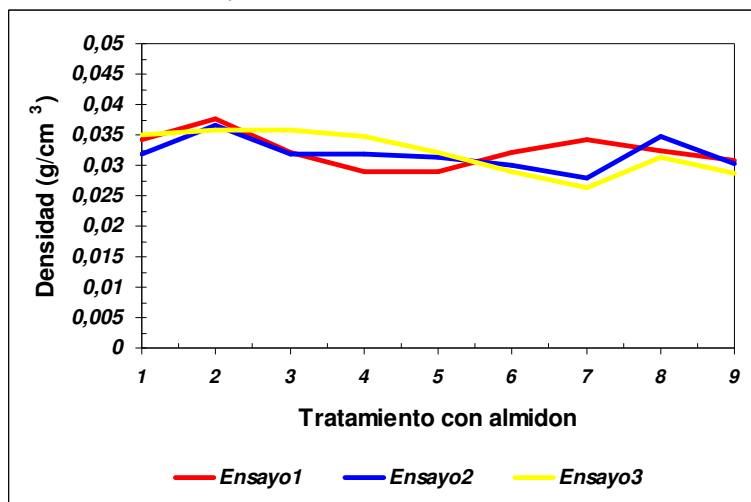
Tabla 3
Resultados de la formulación 2

Tratamiento con almidón	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Densidad Repetición 1	0.03522	0.02821	0.02761	0.02900	0.02634	0.02403	0.03748	0.02546	0.03548
Densidad Repetición 2	0.03741	0.02948	0.02685	0.02897	0.02707	0.02533	0.03528	0.02296	0.03317
Densidad Repetición 3	0.03627	0.02901	0.02940	0.02733	0.02728	0.02450	0.04732	0.02653	0.02419
Densidad Repetición 4	0.03423	0.02797	0.02825	0.02626	0.02590	0.02795	0.05107	0.02767	0.02960
Densidad promedio	0.03578	0.02866	0.02802	0.02789	0.026647	0.02545	0.04278	0.02565	0.03061

Fuente: El autor

Gráfico 1

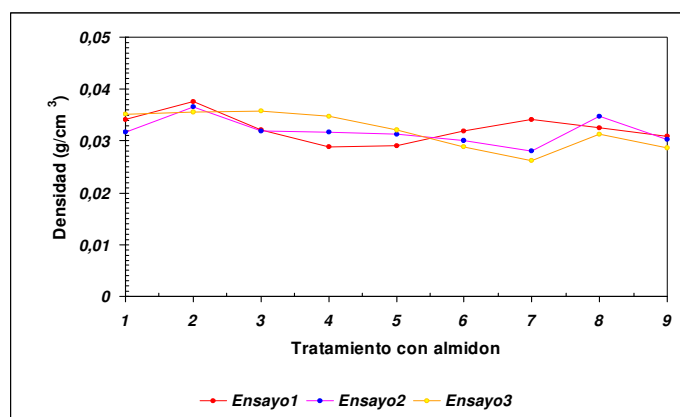
Comportamiento lineal de la formulación 1



Fuente: El autor

Gráfico 2

Dispersión para la formulación 1



Fuente: El autor