

ALTERNATIVA ECOLÓGICA EN LA OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA DULCE

(Ecological alternative to obtain a biodegradable polymer from sweet cassava starch)

Ruth Álvarez^{1,2}, Celia Rondón¹, Fernanda Gutiérrez¹, Carlos Aguilar³, Iliannys Suárez³, Hernández Freddy⁴

¹ Universidad de Carabobo. Facultad de Ciencias de la Salud. Escuela de Ciencias Biomédicas y Tecnológicas. Dpto. de Bioquímica. Zona Postal: 2005. Naguanagua. Venezuela.

² Universidad de Carabobo. Facultad de Ciencias y Tecnología. Unidad de Síntesis de Materiales y Metales de Transición (SIMMET). Zona Postal: 2005. Naguanagua. Venezuela.

³ República Bolivariana de Venezuela. Ministerio para el Poder Popular de Educación. E.T.N. "Francisco González Guinán". Zona Postal: 2001. Valencia. Venezuela.

⁴ Universidad de Carabobo. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales (INFACES). Zona Postal: 2005. Naguanagua. Venezuela.

Recibido: 20/02/17 -Aceptado: 22/05/17

RESUMEN

La gran problemática ambiental que ocasiona el consumo y la producción de plásticos a nivel mundial, genera la necesidad de plantear nuevas alternativas que aporten soluciones claves en tiempo reales. Los polímeros por su durabilidad, tienen un aspecto negativo al ecosistema, a pesar de representar unos de los principales materiales en la elaboración de muchos productos, origina que sea uno de los materiales contaminantes más difíciles en degradar de forma natural, debido a las materias primas utilizadas para su síntesis, las cuales no son biodegradables. Por esta razón, el objetivo principal de esta investigación fue producir un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca dulce, para ser empleado como alternativa ecológica en la posible elaboración de bolsas plásticas menos contaminantes que las fabricadas con polímeros sintéticos. Basado en lo antes expuesto, se aplicó un diseño de experimentos tradicional enfocado en la metodología del japonés Genichi Taguchi, el cual tuvo como finalidad la variación en el orden y la cantidad de adición de los principales componentes y aditivos necesarios en la obtención del Plástico biodegradable. Se logró sintetizar cuatro muestras (4), una vez ejecutada la matriz del diseño, dando mejor resultado para la muestra 3 (M3), según las características de humectación, plasticidad, lubricación, de poca extensión y resistencia, el orden de adición ascendente de la muestra obtenida: fue alcohol polivinílico (PVA) (15,0±0,1) g, agua (100±1) mL, Carboxi Metil Celulosa (CMC) (7,0±0,1) g, ácido bórico (H₃BO₃) (3,0±0,1) g, cloruro de sodio (NaCl) comercial (5,0±0,1) g, Glicerina (9,0±0,1) mL, Estearato de magnesio (1,0±0,1)g, Aceite de soya (3,0±0,1) mL y almidón de la yuca dulce (50,0±0,1) g. Este polímero muestra el resultado de una búsqueda piloto de nuevas alternativas de producción tecnológica para la disminución de costos en materias primas, reducción de contaminación y aprovechamiento de los almidones naturales.

Palabras clave: Polímero biodegradable, almidón de yuca dulce, Plásticos.

SUMMARY

The great environmental problem caused by the consumption and production of plastics worldwide, generates the need to propose new alternatives that provide key solutions in real time. Polymers due to their durability, have a negative aspect to the ecosystem, despite representing one of the main materials in the elaboration of many products, causes that it is one of the polluting materials more difficult to degrade of natural form, due to the raw materials Used for their synthesis, which are not biodegradable. For this reason, the main objective of this research was to produce a biodegradable polymer from the sweet cassava starch, to be used as an ecological alternative in the possible production of plastic bags less polluting than those made with synthetic polymers. Based on the above, a traditional experimental design focused on the

methodology of the Japanese Genichi Taguchi was applied, which had as purpose the variation in the order and the quantity of addition of the main components and additives necessary in the obtaining of the Biodegradable Plastic. It was possible to synthesize four samples (4), once the design matrix was executed, giving a better result for sample 3 (M3), according to the characteristics of wetting, plasticity, lubrication, The sample obtained was polyvinyl alcohol (PVA) (15.0 ± 0.1) g, water (100 ± 1) mL, Carboxy Methyl Cellulose (CMC) (7.0 ± 0.1) g, boric acid (H_3BO_3) (3.0 ± 0.1) g, sodium chloride (NaCl) commercial (5.0 ± 0.1) g, Glycerin (9.0 ± 0.1) mL, Magnesium stearate 0.1) g, Soybean oil (3.0 ± 0.1) mL and sweet cassava starch (50.0 ± 0.1) g. This polymer shows the result of a pilot search for new technological production alternatives for the reduction of costs in raw materials, reduction of pollution and use of natural starches.

Keywords: Polymer biodegradable, sweet cassava starch, Plastics.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros sintéticos, se obtienen a partir de compuestos petroquímicos, sus desperdicios permanecen en el ambiente, por largos periodos de tiempo, lo cual pueden causar daños a los seres vivos. (Stevens, 2002; Gottret *et al.*, 2002). Basado en lo antes expuesto, se realiza que la durabilidad, de los polímeros sintéticos, constituye una desventaja debido a su persistencia en el medio, ocupando espacios durante muchos años y causando daño al medio ambiente por la liberación de gases contaminantes producto del proceso de incineración como alternativa de disminución irreversible de estos polímeros. El reciclaje de estos tipos de polímeros no siempre es fácil de realizar, debido a que hay polímeros que tienen cierto grado de dificultad al reciclarlos o están contaminados con tintas y desperdicios de comida y tienen que ser limpiados antes del proceso del reciclaje, el cual hace que sea más tedioso y costoso su recuperación. (Ruiz *et al.*, 2009). Los desperdicios plásticos representan el 20% y el 40% de los desperdicios municipales en los países industrializados. El uso de los polímeros biodegradables tales como el almidón, pueden ser una solución, debido a su bajo costo, abundancia y

fácil biodegradabilidad. Por esta causa, esta investigación se centró en la elaboración de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca, teniendo un tiempo de degradación mucho menor que el de los polímeros sintéticos y es un plástico desarrollado a partir de recursos naturales renovables, el desecho que se genera de su utilización se puede descartar sin ocasionar impacto sobre el medio ambiente. Es importante señalar que el polímero proveniente del almidón de la yuca, al descomponerse puede utilizarse como un abono orgánico, el cual puede aportar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas como la yuca. Según Meneses *et al.*, (2007), realizaron estudios sobre la síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca. En dicha investigación fue aplicada la metodología de Taguchi (Fritz *et al.*, 1994), variando las condiciones, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes. Los resultados obtenidos arrojaron muestras poliméricas con características adecuadas. Esta investigación sirvió de base para establecer el proceso de elaboración del polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca, con el propósito de ser empleado

como alternativa ecológica en la fabricación de bolsas. Por su parte, Ruiz *et al.*, (2009), estudiaron la degradabilidad de un polímero de almidón de yuca dulce, encontrando resultados favorables referidos al de grado del polímero al ser sometido a distintas pruebas tales como: caracterización del material, exposición en diferentes medios como agua dulce y salada, luz solar y la simulación de un relleno sanitario por varios períodos. Dentro de las propiedades del almidón se tiene la gelatinización, retrogradación, transición vítrea, desestructuración, lo que hace atractivo emplear este polisacárido como materia prima para la elaboración de bolsas ecológicas. (Fritz *et al.*, 1994; OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP670863, 2008).

METODOLOGÍA

La investigación se realizó empleando un diseño experimental completamente al azar basado en la metodología del japonés Genichi Taguchi, (Fritz *et al.*, 1994; Ruiz *et al.*, 2009; Ruiz, 2006). El diseño experimental permitió conocer y modificar las características, secuencias y métodos de elaboración del polímero biodegradable aplicables al mercado actual. (Méndez, 1995). Con esta investigación se buscó la factibilidad desarrollar una propuesta ecológica para dar soluciones prácticas a problemas, requerimientos o necesidades sociales que hoy día se presentan, a nivel de la contaminación ambiental y la destrucción de los recursos naturales renovables y no renovables.

Extracción del almidón de la Yuca dulce

El almidón utilizado en esta investigación fue obtenido de manera artesanal. Se pesaron 2 Kg de

yuca en un peso comercial, posteriormente se aplicó la técnica del pelado, lavado, rallado y secado de la misma. El proceso de obtención del almidón fue a través de la vía húmeda, la cual consiste fundamentalmente en romper las paredes celulares para liberar los gránulos del almidón, mediante un rallado, lo que permite la separación de las partículas del almidón suspendidas en el medio líquido. Una vez rallada la yuca, se extrajo toda la mayor cantidad de agua, exprimiendo la muestra con ayuda de un paño, luego de obtener el sumo de la yuca, (almidón húmedo), se colocó a secar a temperatura ambiente por cinco (5) días en un recipiente de plástico, logrando evaporar los restos de agua contenidos en el sistema. (Cobana *et al.*, 2007; OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP1526156, 2007).

Síntesis del Biopolímero

Se prepararon cuatro (4) muestras variando el contenido de los reactivos involucrados, esta variación se fijó y ajustó de acuerdo a lo reportado en la metodología del japonés Genichi Taguchi. (Fritz *et al.*, 1994; Gutiérrez *et al.*, 2004). El protocolo seguido para la síntesis de las muestras de polímeros fue la siguiente: Inicialmente se diluyó en agua caliente cerca al punto de ebullición (T: 90-95°C) el alcohol polivinílico (PVA), agitando vigorosamente para obtener una mezcla más homogénea. Luego de diluir el PVA, se añadió a la mezcla el Carboxi Metil Celulosa (CMC), para empezar a dar consistencia y viscosidad a la mezcla, agitándolo constantemente con una varilla de vidrio hasta formar una mezcla pastosa, seguidamente se agregó el ácido bórico (H_3BO_3) y el cloruro de sodio

(NaCl) comercial previamente diluidos en una pequeña cantidad de agua. Cuando se obtuvo una mezcla más o menos homogénea se agregó el estearato de magnesio cuidadosamente, se mezcló poco a poco, se añadió la glicerina, agitando toda la muestra hasta obtener una mezcla homogénea, luego de esto, se agregó el aceite de soya, que en este caso sirvió para facilitar la homogenización. Para culminar la mezcla del polímero se añadió el almidón de yuca dulce previamente extraído y diluido en una pequeña cantidad de agua a temperatura ambiente. Al ir añadiendo el almidón a la mezcla se debe ir calentando la misma con cuidado de no exceder la temperatura por encima de los cien grados Celsius ($T: 100^{\circ}\text{C}$), ya que si esto ocurre el almidón comienza a gelatinizar produciendo grumos no deseados en la mezcla. (Meneses *et al.*, 2007). La cantidad de agua empleada por muestra fue de 150mL, adicional a las pequeñas cantidades de agua utilizadas para disolver los reactivos por separados. Cabe destacar que lo antes descrito corresponde a la metodología seguida para la muestra 1 (Tabla 1), para las muestras restantes el orden de adición es reflejado en dicha tabla. Una vez obtenido la síntesis de cada muestra, se prosiguió al laminado sobre una superficie de vidrio lubricada con una pequeña cantidad de aceite de soya para producir una lámina de la mezcla del polímero obtenido, se dejó secar a temperatura ambiente hasta que la película pudo ser retirada de la lámina. La caracterización fue realizada a escala piloto y tradicional del producto obtenido se basó en

pruebas cualitativas de humectación, plasticidad, lubricación, elongación, resistencia y maleabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la elaboración del polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca dulce se obtuvo como resultado en los diferentes ensayos realizados, variando cantidades y orden de adición (Tabla 1), un polímero amarillento de textura suave y moldeable, flexible, con muy poca capacidad de elongación y con características de un polímero termoestable. Tal y como fue citado en la tabla 1, las muestras fueron obtenidas de diferentes combinaciones de todos los aditivos utilizados arrojando siempre como resultado un polímero soluble en agua. Varias de las mezclas que se realizaron, después de someterlas a un secado, dieron como resultado películas con pequeños grumos, esto debido a la dificultad que se tuvo al momento de diluir el PVA y en otros casos, el almidón a temperaturas altas se gelatiniza formando los grumos previamente descritos afectando la forma estética del polímero.

En el caso del PVA fue uno de los aditivos que más dificultad presentó a la hora de disolverse, evento que al final de la síntesis ocasiona la producción de películas de lámina débil y quebradiza. Por lo que, controlar la temperatura, la homogenización de la muestra, la agitación constante, el tiempo de agregación de cada reactivo, así como, la forma de adición son pieza fundamental para obtener un polímero estable y perdurable en el tiempo. Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón de yuca dulce, es

necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su

Tabla 1: Cantidades empleadas de cada reactivo para sintetizar las diferentes muestras de polímero biodegradable.

Nº Muestra	Almidón de yuca dulce (m±0,1) g	Agua (V±1)m L	PVA (m±0,1) g	CMC (m±0,1) g	H ₃ BO ₃ (m±0,1) g	NaCl (m±0,1) g	Estearato de Magnesio (m±0,1)g	Glicerina (V±0,1)m L	Aceite de Soya (V±0,1)m L
1	50,0 ⁹	150 ²	25,0 ¹	5,0 ³	2,0 ⁴	4,0 ⁵	1,0 ⁶	6,0 ⁷	8,0 ⁸
2	50,0	150 ²	25,0 ²	5,0 ³	2,0 ⁴	4,0 ⁵	1,0 ⁷	6,0 ⁶	8,0 ⁸

Nota: Los superíndices corresponden al orden de adición de cada reactivo. Los reactivos empleados en la elaboración del polímero biodegradable a base del almidón de la yuca fueron: Almidón de yuca dulce, Estearato de magnesio, Ácido bórico, PVA (alcohol polivinílico), CMC (Carboxi metil celulosa), Glicerina, Cloruro de sodio, Aceite de soya, Agua. Fuente Propia.

obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que contribuyan a características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros. En general, el agua se recomienda como el mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones muy altas con relación al almidón, debido a que para extraerla de la mezcla, una vez ésta se encuentre lista, es necesario elevar la temperatura a ebullición del agua, lo que puede degradar la estructura del almidón. Al igual que el agua, la glicerina es un plastificante y además brinda humectación al polímero. El alcohol polivinílico (PVA) es recomendado también como plastificante, teniendo en cuenta que se asegure que la cantidad de plastificantes dentro de la mezcla no debe exceder el 20 % del peso total. (Meneses *et al.*, 2007; Ruiz G. 2006; Per Just *et al.*, 1997). En cuanto a los lubricantes, se recomiendan los aceites naturales como el de linaza o el de soya, los cuales otorgan manejabilidad a la mezcla y evitan que se

adhiera a los moldes de los equipos donde se trabaje. Estas grasas vegetales pueden estar en una proporción entre 0,5 % a 15 %, aunque otras fuentes recomiendan el uso de estos aceites en una

proporción entre 0,5 % y 2%. (Meneses *et al.*, 2007; Ruiz G. 2006; Per Just *et al.*, 1997). Por su parte, el estearato de magnesio se recomienda como desmoldantes a la hora de procesar el material en los equipos para que no se adhiera a las paredes. Ciertas sales inorgánicas como el cloruro de sodio (NaCl) mejoran propiedades al polímero como la transparencia, el módulo de Young y la resistencia al esfuerzo cortante. Ácidos inorgánicos como el bórico o el metabórico otorgan también estas propiedades descritas. Algunos compuestos cumplen la función de extensores dentro de la mezcla. Se recomiendan agentes espesantes como los polisacáridos carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxietilcelulosa. (Meneses *et al.*, 2007; Ruiz G. 2006; OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP304401A2, 2007). En base a lo antes expuesto, se describe los resultados obtenidos por cada muestra, en función del aspecto y las pruebas tradicionales realizadas Mn: 1,2, 3,4: **M1:** Se obtuvo un polímero frágil y sin elasticidad de color amarillento con gran cantidad de grumos tanto por la gelatinización del almidón al superar el rango de temperatura de 75 a 85 °C, y a la incompleta disolución del alcohol

polivinílico (PVA) que se mantuvo en la muestra en su estado original. En conclusión esta muestra resultó un biopolímero de muy bajas posibilidades de usos comerciales. **M2:** Se obtuvo un polímero más delgado, maleable, transparente y un poco más elástico que el primero, no obstante, de igual manera que la primera muestra tiene muy baja resistencia a la ruptura por este motivo se considera que no tiene oportunidades de adquirir una buena aplicación. **M3:** Para esta muestra se consiguieron los mejores resultados, debido a que fue optimizada la forma de mezclar los reactivos, evitando presenciar los inconvenientes citados en las muestras anteriores. Por lo tanto, se obtuvo un biopolímero de características semejantes a la muestra M2, pero con la diferencia de que este sí logró una mayor resistencia a la ruptura y mejoramiento a la capacidad de elongación. Por esta razón se considera que esta muestra tiene una mayor oportunidad de ser aplicada según las características ya descritas para la elaboración de bolsas biodegradables. **M4:** Al igual que la M3 se obtuvo un biopolímero que también podría tener buenas aplicaciones comerciales pero con la diferencia de que tiene una mayor dureza, debido a que los reactivos se añadieron en un orden diferente y se redujo la cantidad de agua aplicada en la muestra. Cabe destacar que la tercera muestra realizada tiene aproximadamente seis meses desde su elaboración y todavía sigue teniendo utilidad en la actualidad. (Figura 1). Por su parte, y no menos importante, es necesario mencionar que las cantidades involucradas en el medio de reacción, se lograron ajustar para sintetizar un polímero

biodegradable, casi haciendo uso de la mínima proporción de materia prima, lo que justifica aún más, la obtención de un polímero a partir de ese tubérculo. Este biopolímero puede ser una alternativa para elaborar bolsas plásticas ecológicas. La muestra que mejor presentó resultados fue sometida a un proceso tradicional de fabricación de bolsas tipo manualidades, sin hacer uso de la maquinaria que se emplea, ya que no se cuenta con los equipos necesarios para tal fin, a pesar de ello, se obtuvo resultados favorables en la durabilidad y resistencia del mismo. La caracterización de las muestras obtenidas fue de forma tradicional, basada en la observación.

Factibilidad social y económica del polímero sintetizado

El modelo propuesto se considera factible de ser aplicado ya que económica, social y técnicamente los recursos son accesibles de obtener. La materia prima utilizada se encuentra dentro del intervalo de costo-beneficio, esto si se compara con el proceso de obtención de los polímeros sintéticos, su contaminación ambiental y la durabilidad en los ecosistemas.

A nivel técnico, es sencillo de preparar, los equipos y material empleados son de tecnología básica, lo cual sigue reduciendo los costos de síntesis de este polímero a base de almidón de yuca dulce. A nivel social, la obtención del biopolímero a partir del almidón de la yuca produce un efecto positivo en la conciencia colectiva ya que permite al ciudadano el



Figura 1: Aspecto de las cuatro muestras obtenidas del polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca dulce.

cuidado del ambiente y su preservación. También genera una relación de producción y elaboración, por que incrementaría las fuentes de empleo en el cultivo de la yuca. Por último, la aplicación de esta propuesta eventualmente puede dar mejores ingresos a los cultivadores, desarrollando una tecnología propia que forme a investigadores jóvenes y posibilite el establecimiento y creación de nuevas industrias.

Conclusiones

El biopolímero que se obtuvo es una muestra de las posibles soluciones que se pueden dar a la contaminación del planeta, siendo una idea factible, económica y fácil de realizar que conlleva a incentivar a la sociedad y a la industria en general a buscar nuevas soluciones a la creciente contaminación, de la cual los polímeros sintéticos toman un papel muy grande.

A nivel de costo-beneficio la realización del polímero biodegradable, es atractivo y aceptable puesto que los beneficios técnicos, sociales, ambientales y económicos superan el gasto en la obtención de la materia prima empleada. Este polímero muestra 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cobana M., Antezana R. 2007. Proceso de extracción de almidón de yuca dulce por vía seca. Centro de Alimentos y Productos aturales, Fac. Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón Revista Boliviana de Química. Volumen 24, No.1. 77-83.
- Fritz, H. G.; Seidenstucker, T.; Bolz, U. and Juza, M. 1994. Study on production oh thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Stuttgart. European Commission, p 392.
- Gottret, M.V.; Escobar, Z. y Pérez, S. 2002. El sector yuquero en Colombia: desarrollo y competitividad. En: OSPINA, Bernardo y Ceballos, Hernán. La yuca en el tercer milenio, p. 340-377. Cali: CIAT, p. 570.
- Gutiérrez Pulido, Humberto y De la Vara Salazar, Ramón. 2004. Análisis y diseño de experimentos. México D. F.: McGraw-Hill, p. 571.
- Méndez, C. (1995). Metodología. Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas. Bogotá. Mc GrawHill.
- Meneses, J.; Corrales, C.; Valencia, M. 2007. "Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca". Escuela de Ingeniería de Antioquia. Revista EIA. 8(1): 57-67.
- OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP1526156 2007. Biodegradable polymeric compositions comprising starch and a thermoplastic polymer. www.europeanpatent-office.org

- OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP670863. 2008. Biodegradable compositions comprising starch. [www. European-patent-office.org](http://www.European-patent-office.org).
- OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP304401A2. 2007. Shapes articles made from pre- processed starch. www. European-patent-office.org.
- Per Just A., Hodson S. K. 1997. Patente US5679145 Starch-based compositions having uniformly dispersed fibers to manufacture high strength articles having a fiber-reinforced starch bound cellular matrix. www.uspto.gov
- Ruiz, G. 2006 “Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca dulce”. *Ingeniería y Ciencia*, 2 (4): 5-28
- Ruiz, G.; Montoya, C.; Paniagua, M. 2009. “Degradabilidad de un polímero de almidón de yuca dulce”. *Escuela de Ingeniería de Antioquia. Revista EIA*. 12(1): 67-78.
- Stevens, E. S. 2002. *Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics*. New Jersey: Princeton University Press, p. 238.