

Producción de plástico parcialmente degradable con polietileno de alta densidad (PEAD) y la dextrina del desecho de *Solanum tuberosum*

Dorelys Barrera 1, María A. Márquez 1,* , José F. Yegres 2, Patricia C. Navas 2

1Universidad Nacional Experimental Politécnica de las Fuerzas Armadas (UNEFA-Falcón- sede Coro. Venezuela); 2 Laboratorio de Investigación y Apoyo Docente Santa Ana (LIADSA- UNEFM-Falcón, Coro. Venezuela)

1,*email: ma.marquezh04@gmail.com, teléf.: 00584246433641

Recibido 10 de enero Aceptado 18 de marzo

Resumen

El uso frecuente de plásticos convencionales ha traído como consecuencia su acumulación en el ambiente. En la búsqueda de una solución, los científicos han desarrollado plásticos biodegradables, amigables al ambiente. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo fue generar un plástico parcialmente degradable a partir de Polietileno de alta densidad (PEAD) y dextrina, obtenida a partir del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*). Se realizaron ensayos mecánicos para evidenciar el cumplimiento de las propiedades características de los plásticos convencionales, su capacidad degradativa, así como evidenciar la biotransformación de la mezcla a través del FT-IR. Los resultados obtenidos mostraron la Dureza Brinell en A: 2.2601 Kgf/mm²; B: 3.0134 Kgf/mm²; C: 3.7667 Kgf/mm², al ser expuestas a una fuerza de 6000 - 7500 Kgf presentaron una deformación de 132 mm, 217 mm y 320 mm respectivamente, pudiendo igualar a plásticos convencionales. En cuanto a los ensayos de biodegradación se utilizaron a los hongos *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus*. Obteniendo un porcentaje de degradación para *A. niger* de 10,25%, 13,83% y 19,56% y para *A. flavus* 31.26%, 43.08% y 50.86% respectivamente en las mezclas A (10% dextrina), B (30% dextrina), C (40% dextrina). Se demostró mediante la técnica de FT-IR los cambios asociados a la biodegradación observando variación en las longitudes de onda en las mezclas después de la biodegradación. Se concluye que producir el polímero PEAD-Dextrina es una alternativa conveniente para materializar plásticos más amigables al ambiente.

Palabras claves: Desechos, plásticos, Biodegradación, Dextrina, PEAD.

Production partially degradable plastic with high density polyethylene (HDPE) and the waste dextrin *Solanum tuberosum*

Abstract

Frequent use of conventional plastics has resulted in its accumulation in the environment. In the search for a solution, scientists have developed environmentally friendly biodegradable plastics. Therefore, the aim of this study was to generate a partially degradable plastic from High Density Polyethylene (HDPE) and dextrin, obtained from the potato waste (*Solanum tuberosum*). Mechanical tests were performed to demonstrate the performance in the typical properties of conventional plastics, degradation and to demonstrate the biotransformation mixture through the FT-IR. The results showed Brinell Hardness A: 2.2601 kgf/mm², B: 3.0134 kgf/mm², C: 3.7667 kgf/mm², when exposed to a force of 6000 to 7500 Kgf showed a deformation of 132 mm, 217 mm and 320 mm respectively, and can match conventional plastics. As biodegradation tests were used to fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus*. The degradation with *A. niger* was 10.25 %, 13.83 % and 19.56 % and for *A. flavus* 31.26 %, 43.08 % and 50.86 % respectively in the mixtures A (10% dextrin), B (30% dextrin), C (40% dextrin). Changes associated with the biodegradation were studied by FT-IR technique, observing the variation in the wavelengths of the mixtures after biodegradation. We conclude that the polymer produced using HDPE-Dextrin is a convenient alternative to materialize plastics environmentally friendly.

Keywords: Waste, plastics, Biodegradation, dextrin, HDPE.

Introducción

Las resinas plásticas están constituidas por moléculas de gran tamaño compuestas por gran número de átomos denominadas macromoléculas de alto peso molecular que se caracterizan por tener una inercia química, es decir, no sufren procesos de oxidación por la humedad y oxígeno del medio ambiente y ataques de muchos productos químicos. A éstas se le agregan cantidades mínimas de aditivos que permiten el normal procesamiento del material (estabilizantes, antioxidantes, lubricantes, entre otras). Estas mezclas de resinas y aditivos es lo que se conoce con el nombre de Materiales plásticos que se formulan de acuerdo a la aplicación final del producto(1).

El uso frecuente de plásticos convencionales ha traído como consecuencia su acumulación en el ambiente. En la búsqueda de una solución, se han desarrollado plásticos biodegradables, amigables al ambiente. Debido a su carácter inerte los plásticos convencionales no son atacados por los microorganismos presentes en el ecosistema razón por la cual los plásticos de uso masivo derivados del gas ó petróleo no son biodegradables, siendo uno de los residuos más problemáticos por su larga duración, trayendo como consecuencia su acumulación en las calles, parques, carreteras, desiertos, bosques, ríos, playas, desagües, ente otros. Sin embargo, dada la capacidad desintegradora de los organismos vivos sobre la materia, es importante su papel en los ciclos biogeoquímicos, éstos se pueden aprovechar para la eliminación de residuos producidos en distintas actividades humanas, muchas de ellas con enorme poder contaminante; contribuyendo a la conservación del medio natural(2).

En lo esencial, la Biotecnología ha abarcado gran importancia mediante la aplicación de procedimientos científicos para la transformación de materias por agentes biológicos para producir bienes y servicios(3). De acuerdo con CICEANA, consiste en la manipulación de organismos vivos o de productos de organismos vivos con el fin de obtener productos deseables para el uso humano. Ésta tecnología permite la explotación de microorganismos, plantas y animales para algún fin económico. De hecho, ésta representa una oportunidad enorme para impulsar a los países en vías de desarrollo(4).

Para tal efecto, este tipo de tecnología es aplicada a los procedimientos que producen compuestos biodegradables, los denominados BIOPLÁSTICOS, que forman parte de una amplia familia de plásticos, éstos pueden ser producidos a partir de recursos renovables ó de origen fósil. Siendo una clase relativamente joven de polímeros, nuevos productos, procesos y aplicaciones, son actualmente explorados en la reciente industria verde(2,1). La presente investigación se presenta como una de las alternativas para disminuir el impacto negativo de los residuos plásticos, ya que estos materiales son la base de la mayoría de los productos de consumo habituales, mediante la producción de un plástico parcialmente degradable a partir de la mezcla del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y Dextrina obtenida del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*).

Metodología

Obtención de fécula a partir del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*): Para la obtención de la fécula se ejecutó la siguiente metodología: Se lavaron los desechos de papa (*Solanum tuberosum*) y se trituraron. Se agregó una solución de Bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) en una relación 1:1. Se dejó reposar por 24 horas a 4 °C. Luego se sifoneó y filtró la muestra (Fécula + $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Hasta separar la fécula del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*) se procede a secar en la estufa a 60 °C (+ 2 °C). Se pulverizo la Fécula obtenida del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*) (5).

Producción de Dextrina a partir de la fécula del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*): Se siguió la metodología de Villanueva(6), la cual consistió en adicionar solución de ácido clorhídrico (HCl) en relación 1:2 y llevar a pH 3 la mezcla fécula – ácido. Luego se utilizaron temperaturas de pre-secado entre 55 y 60 °C y tostado de 150 °C y una humedad relativa de 5 % (7).(Ver figura 1).



Figura 1. Síntesis de la Dextrina del desecho de papa.

Producción del plástico a partir de la mezcla del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) con la Dextrina del desecho de la papa (*Solanum tuberosum*): Se partió de la técnica de polimerización por disolución según Marvel(8), se obtuvo un polímero parcialmente degradable, al añadir la Dextrina (polímero natural) a los desechos de PEAD, utilizando como disolvente la trementina. La temperatura de disolución utilizada fue de 145 °C. Se preparó tres concentraciones las cuales se prepararon en las siguientes proporciones A: 70 % desechos de PEAD, 10 % dextrina del desecho de papa y 20 % de disolvente. B: 50 % desechos de PEAD, 30 % dextrina del desecho de papa y 20 % disolvente. C: 40 % desechos de PEAD, 40 % dextrina del desecho de papa y 20 % disolvente. (Ver figura 2).

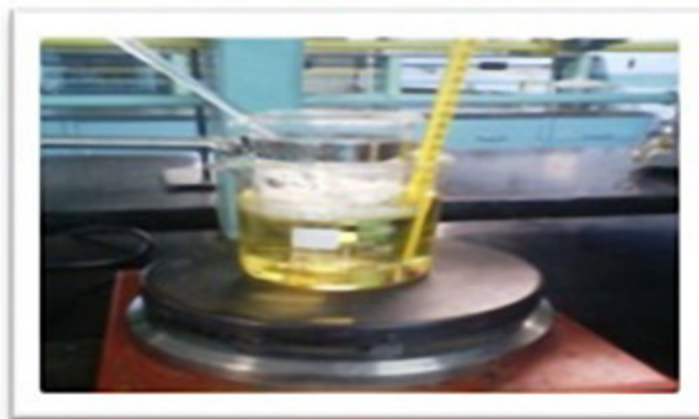


Figura 2.- Producción del polímero PEAD - Dextrina (Laboratorio Química Orgánica IUTAG, 2012)

Análisis de Infrarrojo (FT-IR): Todos los espectros de absorción fueron adquiridos con un espectrómetro Shimadzu Prestige21 equipado con un detector DLATGS de alta sensibilidad, una fuente de luz de cerámica y un divisor de KBr / germanio haz que se emplea para mediciones espectrales. Las muestras fueron analizadas por medio de un prisma de cristal de diamante fabricado por un rebote en la superficie superior. La geometría de cristal era un triángulo con los espejos se enfrenta a un ángulo de 45°. El aire se tomó como referencia antes de la recolección de cada espectro de la muestra. Adquisición de datos, hechos con una escala de % Transmitancia, se llevó a cabo desde 4000 hasta 400 cm^{-1} con 4 cm^{-1} y la resolución nominal 100 lecturas. Los espectros se registraron para cada muestra depositada en la celda ATR sin ninguna preparación o dilución. Se analizaron las muestras (mezcla A, B, C) sin tratamiento y después de la degradación, sirvieron de controles la dextrina y PEAD.

Prueba mecánica de los plásticos: Consistió en colocar a las muestras plásticas obtenidas en una Máquina de prueba Universal (Shimodzu Autograph AG-X) donde se realizaron ensayos de dureza BRINELL, este método consistió en comprimir una bola de acero templado, de diámetro determinado, sobre un material a ensayar, por medio de una carga y el otro ensayo fue el de compresión, en el cual los plásticos fueron sometidos a una presión donde se volvieron más flexibles o resistieron a la mayor fuerza o deformación.

Biodegradación del plástico: Se utilizó al hongo del género *Aspergillus* en el medio Czapek-Dox, (ver tabla 1). Se utilizó el Método de la cámara húmeda, de Rivalier y Seydel(9). El ensayo consistió en depositar sobre el centro del portaobjetos, perfectamente limpio y desengrasado, el medio Czapek- Dox sólido luego se agregó el plástico. Posteriormente, se agregó una suspensión del hongo directamente en el portaobjetos. Se dejó la muestra en incubación por el lapso de un (1) mes(9). Consecutivamente, el peso inicial del plástico comparado con el peso seco del mismo finalizado el mes de incubación. Se prepararon cinco (5) placas de vidrios en las cuales se encontraban las tres (3) concentraciones del plástico, una (1) que contenía el

PEAD que fue el patrón de comparación en conjunto con otra placa con el medio Czapek – Dox con sacarosa.

Tabla 1. Medio Czapek - Dox de Composición Química Definida.

Componentes	Cantidad
Nitrato de Sodio	2 g
Fosfato Bipotasico	1 g
Sulfato de Magnesio	0,5 g
Cloruro de Potasio	0,5 g
Sulfato Ferroso	0,01 g
Agar	20 g
Agua Destilada	1000 mL
pH	5,5

Estimación del tiempo de biodegradación del plástico: Se analizó el comportamiento de los hongos en el medio Czapek – Dox, luego se realizó el cultivo de este medio con PEAD, se determinó el crecimiento o no de los hongos con esta fuente de carbono y mediante el microscopio se observó la medida del diámetro de crecimiento en relación a los días de su cultivo, y por último el medio Czapek – Dox con el plástico para identificar si estos hongos son buenos agentes para biodegradar los plásticos producidos. La estimación del tiempo se verifico en cuanto los hongos crezcan en el medio del PEAD y se compara en la degradación que estos le hagan al plástico.

Resultados y discusión

Como se muestra en la figura 4, se evidenció que el rango de deformación plástica de los materiales producidos está entre los 6000 – 7500 Kgf, puesto que allí se forma el intervalo de fatiga para que éstos sufran la deformación plástica, es decir, cuando alcanza la máxima capacidad de soportar carga. Se registró una linealidad entre la fuerza aplicada sobre la deformación del material plástico, hecho que los cataloga como materiales dúctiles. La carga máxima de deformación para las mezclas de plástico A y C fue de 7500 Kgf a una longitud de 132 mm y 320 mm respectivamente, mientras que para B fue de 6000 Kgf y 217 mm, lo que indica que el plástico C fue capaz de resistir la mayor fuerza aplicada. La técnica de radiación infrarroja llevada a cabo fue la descrita por Atkins y Jones(10), la cual se realiza para identificar las moléculas en una muestra. En cuanto a los infrarrojos realizados a la dextrina como a los plásticos antes de ser sometidos a la biodegradación se evidenció que las bandas de los 3200 a 3600 cm^{-1} (color amarillo) son mucho más amplias debido a la gran cantidad de grupos OH de los alcoholes presentes en la dextrina así como también en los

plásticos y la banda características de los grupos etilos y metilos se encontró en los 900 a 1200 cm^{-1} (color azul) comprobando la composición de la mezcla PEAD – Dextrina. (Ver figura 5.1).

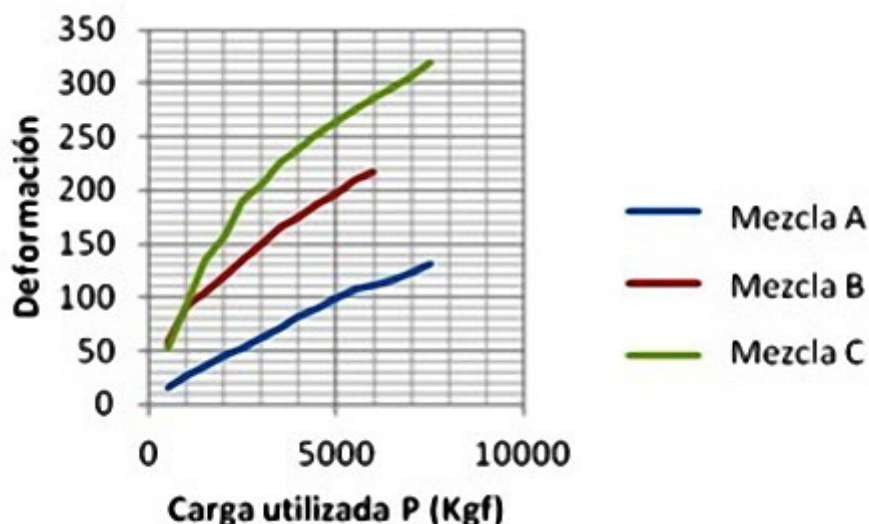


Figura 4. Deformación de los plásticos parcialmente degradables. (Lab. Mecánica de los Materiales, UDO, 2012)

En relación a los plásticos se observó que en las bandas entre 500 y 800 cm^{-1} (color azul) existe la presencia de grupos metílicos polimerizados, lo que induce a la representación del Polietileno de Alta Densidad (PEAD), en otro pico cuya importancia se encontró en la banda de absorción entre 1100 y 1400 cm^{-1} que indicó la presencia de grupos metilos y etilos no enlazados. Por otra parte, en la banda de 1400 a 1700 cm^{-1} , se mostró la aparición de grupos carbonilos y en la banda de 3000 a 3600 cm^{-1} (color amarillo) se evidenció el pico correspondiente a los alcoholes primarios con formación de interacciones intermoleculares. (Figuras 5.1.a y 5.1.c)(11).

En relación a los polímeros parcialmente degradados los espectros reflejaron que en la banda 400 cm^{-1} se representó la huella dactilar del compuesto, mientras que en los 600 cm^{-1} se evidenció representación de grupos vinílicos, por otro lado en el rango de los 700 a 800 cm^{-1} (color azul) se observó la presencia de grupos metilos no poliméricos lo que indica la ruptura de los enlaces covalentes carbono-carbono. A su vez, entre los 1100 y 1400 cm^{-1} se notó la aparición de alcanos de menor peso molecular, un pico mejor estructurado donde aparecen grupos metílicos y carbonílicos en 1600 cm^{-1} y en el rango de 2000 y 2400 cm^{-1} , la representación de grupos ciano e isociano que pueden estar presentes estructuras de los microorganismos y en el límite de 3200 - 3600 cm^{-1} (color amarillo) alcoholes enlazados con puentes de hidrogeno y un pico pequeño de alcoholes primarios libres en los 3650 cm^{-1} . (Figuras 5.1.b y 5.1.d).(11)

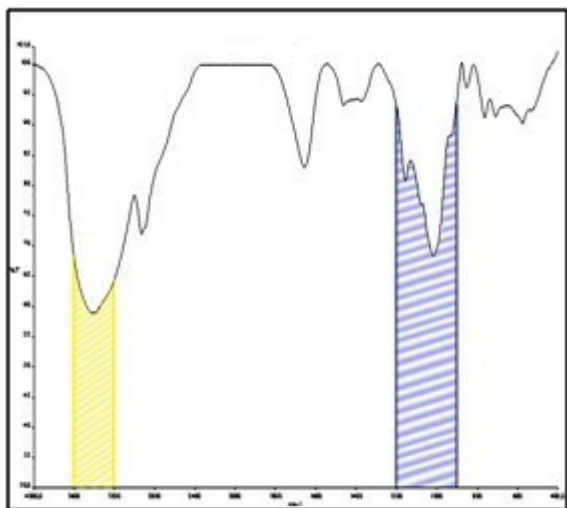


Figura 5.1. FT-IR de la Dextrina

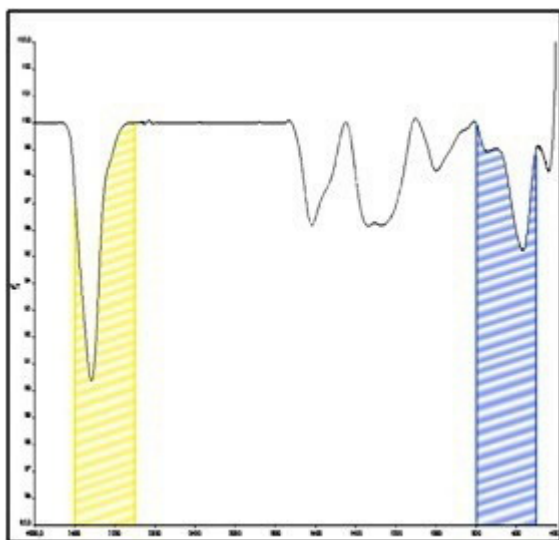


Figura 5.1.a. FTIR Mezcla A sin tratamiento

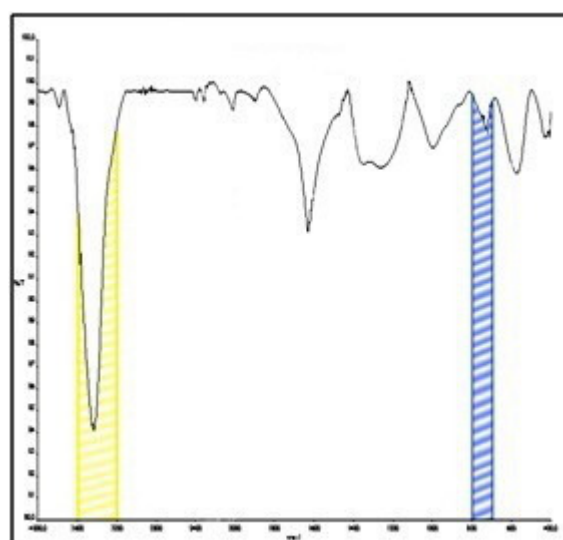


Figura 5.1.b. FTIR Mezcla A Biotratado

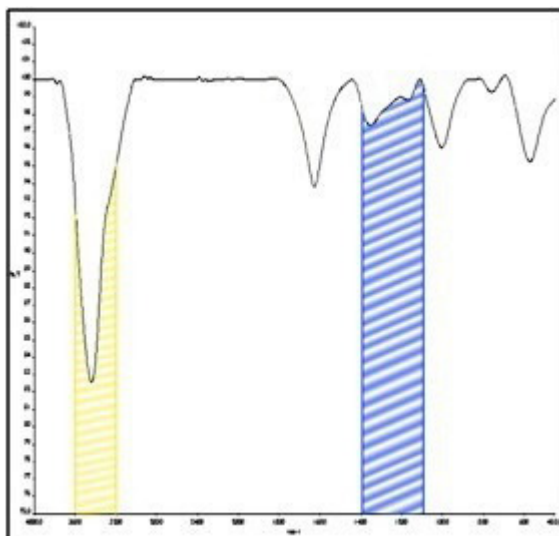


Figura 5.1.c. FTIR Mezcla C sin tratamiento

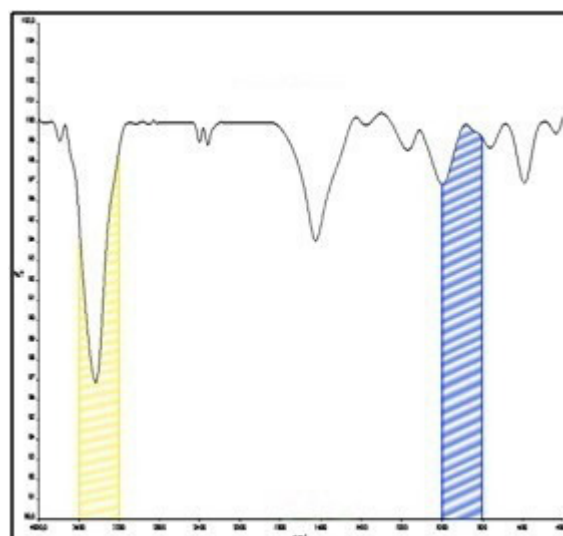


Figura 5.1.d. FTIR Mezcla C biotratada

(Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (INZIT, 2012))

Los plásticos sometidos a biodegradación con *A. niger* a un mes de exposición se obtuvo que para la mezcla A de 10.25 %, mientras que para mezcla B fue 13.83 % y para mezcla C de 19.56 %. La diferencia en los porcentajes presentes en los plástico producidos indicó la cantidad que el hongo fue capaz de utilizar como fuente de carbono, pues se debe tener en cuenta que el plástico A es el que posee mayor cantidad de PEAD, siendo el PEAD el patrón que resultó negativo debido a sus propiedades inertes y por no estar biodisponible. Ahora el mismo ensayo pero con *A. flavus*, demostró que para la mezcla A la biodegradación es de 31.26 %, por su parte el de la concentración B es 43.08 % y para C de 50.86 %.(Ver figura 6).

La ruta enzimática de estos microorganismos se infiere que fue la alfa-amilasa que según Corté A.(12), “Estas son algunas veces de origen fúngico por la cultivación de *Aspergillus*, son capaces de degradar el almidón en azúcares solubles. La alfa-amilasa cataliza la hidrólisis de la cadena lineal (amilosa) y la ramificada (amilopectina) del almidón, rompiendo enlaces 1,4 interiores (endoamilasa) para formar una mezcla de dextrinas; por ello se conoce como enzima dextrinogénica (mezcla de amilodextrina, eritrodextrina, acrodextrina y maltodextrina) con poca producción de maltosa.”

Esta es la explicación teórica de por qué los hongos pueden biodegradar parcialmente a los plásticos producidos, pues ellos puedan romper las cadenas presentes en la estructura de la Dextrina que es un polímero natural, a diferencia del PEAD que es un polímero sintético inerte.

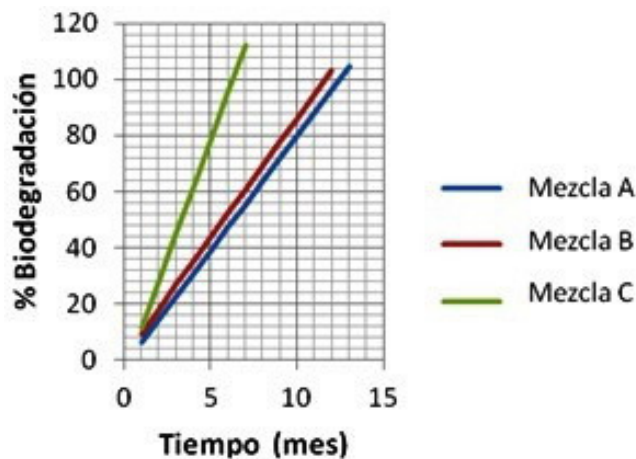


Figura 6. Porcentaje de Biodegradación en el tiempo y exposición al *Aspergillus niger*

Conclusiones

La técnica de polimerización por disolución es sencilla de realizar y la formación del plástico fue rápida. Los ensayos de identificación del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y los posteriores realizados a los plásticos producidos evidenciaron que estos poseen propiedades típicas de un plástico convencional. Mientras que el infrarrojo demuestra la presencia de los grupos metílicos polimerizados que representan al PEAD, grupos de alcoholes entrelazados con puentes de hidrógeno que evidencian que existe la Dextrina y un grupo ciano donde podrían estar presentes estructuras de los microorganismos.

Las pruebas mecánicas indican que en estos materiales plásticos producidos la variación en la dureza obedece a la magnitud de la fuerza aplicada sobre el plástico, lo que pone en evidencia su proporcionalidad en función a la resistencia de abrasión. No obstante, se catalogan como materiales dúctiles pues cuando se someten a carga creciente su longitud aumenta linealmente con la fuerza aplicada llegando al punto de la deformación del material plástico. Por consiguiente de la comparación del comportamiento de los tres (3) plásticos, el que posee mayor dureza y a la vez se deformó en más extensión fue el de la concentración C.

El estudio de Biodegradación con los hongos del género *Aspergillus* de especie níger y flavus presentan las enzimas (alfa-amilasa) necesarias para biodegradar los plástico producidos, ya que estos fueron una buena fuente de carbono para ellos. Por otra parte, de las tres (3) proporciones puestas en estudio la que generó mayor cantidad de consumo en los hongos fue la que contenía más cantidad de Dextrina (plástico C) a partir de los desechos de la papa (*Solanum tuberosum*) que es un almidón modificado que sirvió como alimento necesario, puesto que su estructura se puede romper con más facilidad que la del PEAD.

Agradecimientos

Los autores agradecen al IUTAG por el uso de los laboratorios de química, al personal de LIADSA - UNEFM por la colaboración prestada, al INZIT por la realización de los FT-IR y a la UDO por los ensayos mecánicos.

Referencias bibliográficas

1. de Almeida, A., Ruiz, J., López, N. y Pettinari, J. (2004). "BIOPLÁSTICOS: UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA." Revista Química Viva, Universidad de Buenos Aires, Argentina. [Revista On-line]. Consultada el: 14 de enero de 2010. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/863/86330305.pdf>.
2. ALECO. (2009). "PLÁSTICOS ORGÁNICOS." Aleco consult Internacional S.A. [Publicación On-line]. Consultada el: 16 de abril de 2010. Disponible en: <http://www.alecoconsult.com/index.php?id=plasticos-organicos>
3. Meritxell, E. (2007). "TECNOLOGÍAS II." [Libro On-line]. Consultado el: 28 de marzo de 2010. Disponible en: http://books.google.co.ve/books?id=O0UPuyeXyNUC&pg=PA108&dq=polimeros+biodegradables&hl=es&ei=jMavS6ygDcOblgeEy_WQAQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CEoQ6AEwBjgK#v=onepage&q=&f=false
4. CICEANA. (2000). "SABER MÁS BIOTECNOLOGÍA." Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América C.A. Ciudad de México, México. [Publicación On-line]. Consultada el: 16 de abril de 2010. Disponible en: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Biotecnologia.pdf>
5. Hernández-Medina M., Torruco-Uco J., Chel-Guerrero L., Betancur-Ancona D. (2008). "CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ALMIDONES DE TUBÉRCULOS CULTIVADOS EN YUCATÁN, MÉXICO." [Publicación On-line]. Consultada el: 8 de abril de 2010. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a31v28n3.pdf>
6. Villanueva, E. (2009). "OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO CON PROPIEDADES ADHESIVAS A PARTIR DE DEXTRINA NATURAL." Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela. [Tesis en CD-RUM]. Consultada el: 31 de mayo de 2010. (Sin publicar).
7. COVENIN 1553-80. (1980). "PRODUCTOS DE CEREALES Y LEGUMINOSAS. DETERMINACION DE HUMEDAD." Norma Venezolana. [On-line]. Consultada el: 29 de marzo de 2010. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1553-80.pdf>
8. Marvel, C. (1982). "INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA ORGÁNICA DE LAS MACROMOLÉCULAS DE SÍNTESIS." Editorial Reverté. [Libro On-line]. Consultado el: 19 de mayo de 2010. Disponible en: http://books.google.co.ve/books?id=Xaa4JrDjL4EC&pg=PA36&dq=polimerizaci%C3%B3n+en+soluci%C3%B3n+es+igual+a+la+de+suspension&hl=es&ei=ZXwiTM3PE8L48Abf5sy9BQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CDQQ6AEwAg#v=onepage&q=&f=false
9. Casas, G. (1989). "MICOLOGÍA GENERAL." Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela: Ediciones De la Biblioteca. 433-437.
10. Atkins, P. y Jones, L. (2006). "PRINCIPIOS DE QUÍMICA." Los caminos del descubrimiento. (3era edición). Caracas, Venezuela: Panamericana.

11. Skoog D., Holler F., Nieman T., (2001), Principios de Análisis Instrumental. 5° Edición en español Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U. Madrid, España.

12. Corte A. (2004). "APLICACIÓN DE ENZIMAS EN LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL." Mundo Alimentario. [Publicación On-line]. Consultada el: 14 de agosto de 2010. Disponible en: http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MA002_enzimas4WSF.pdf



ISSN 1666-7948

www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar

Revista QuímicaViva

Número 1, año 12, Abril 2013

quimicaviva@qb.fcen.uba.ar