

Efecto de la modificación del almidón de arracacha y la concentración del plastificante sobre las propiedades mecánicas de películas biodegradables

Effect of arracacha starch modification and plasticizer concentration on the mechanical properties of biodegradable films

Oscar H. Pardo Cuervo¹, William Aperador Chaparro², William M. Sanabria³

¹MsC en Metalurgia y Ciencia de los Materiales. Docente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de investigación en Química y Tecnológica de Alimentos (GQTA). E-mail: oscarhernando.pardo@uptc.edu.co

²PhD en Ingeniería. Docente. Universidad Militar Nueva Granada. Grupo de investigación en Ingeniería de Materiales.

³MsC en Metalurgia y Ciencia de los Materiales. Docente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de investigación en Integridad y Evaluación de Materiales (GIEM).

Recibido 11/11/11, Aceptado 30/05/2012

RESUMEN

El Almidón nativo (AN) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) fue oxidado (AO) o acetilado (AA) para elaborar películas biodegradables, modificando la concentración de glicerol con el fin de determinar el efecto del tipo de modificación del almidón y la concentración del plastificante sobre las propiedades mecánicas de las películas. Se observó que el tipo de modificación del almidón y la cantidad de plastificante utilizado en la formulación para la obtención de las películas tienen efecto significativo ($p < 0.01$), en la resistencia a la tensión (RT), porcentaje de elongación (%E), módulo de elasticidad (ME) y módulo de resiliencia (MR). Al usar AA para la obtención de películas se presenta mayor valor en la RT y en promedio esta es mayor cuando se utiliza la formulación con menor cantidad de plastificante. Al usar AN en la obtención de películas se presenta en promedio mayor %E y este es mayor cuando se usa la formulación con mayor cantidad de plastificante. No existe interacción entre los dos factores estudiados que afecten significativamente las propiedades mecánicas de las películas obtenidas.

Palabras clave: Películas, Plastificante, Acetilación, Oxidación

ABSTRACT

Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) native starch (NS) was oxidized (OS) or acetylated (AS) to produce biodegradable films, changing the concentration of glycerol in order to determine the effect of modifying the starch type and concentration of the plasticizer on the mechanical properties of the films. It was observed that the type of modification of starch and the amount of plasticizer used in the formulae to obtain the films have significant effect ($p < 0.01$) in tensile strength (TS), percent elongation at break (%E) and elasticity modulus (EM). When using AS for the production of films, a greater value in the average TS was reached and this is greater when using lowest amount of plasticizer. While using NS, higher average %E was achieved and this is greater when using higher amount of plasticizer. Among the two factors that affect the mechanical properties of the films obtained, there was not interaction.

Keywords: Films, Plasticizer, Acetylated, Oxidized

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de plásticos ha aumentado en los últimos años [1]. Estos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales. Sin embargo, la contaminación causada por estos materiales es muy elevada. Por esta razón, algunas investigaciones se han enfocado al alivio de este problema ambiental, principalmente por medio del desarrollo y uso de polímeros biodegradables [2]. En el sector de empaques, los materiales deben ser renovables, no tóxicos y los productos finales deben ser reciclables, innovadores y económicamente competitivos [3].

Entre los polímeros naturales, el almidón cumple la mayoría de estos rigurosos requisitos. No obstante, el uso de almidones nativos se ve limitado debido a que las condiciones de procesamiento reducen su uso en aplicaciones industriales [4]. Además, el uso del almidón sin modificar también se limita por su fragilidad en el área de empaques, el deterioro de las propiedades mecánicas bajo condiciones ambientales por la exposición a la humedad [5].

Para mejorar las deficientes propiedades fisicoquímicas y mecánicas, al almidón se le realizan modificaciones que se llevan a cabo por tres métodos: Físicos, químicos y microbianos o por una combinación entre estas. Los almidones modificados, aún con bajos niveles de modificación química, pueden significativamente mejorar la hidrofobicidad así como cambiar propiedades mecánicas y físicas [6].

Desde hace años se ha estudiado la capacidad que tiene el almidón para formar películas [7]. Se ha estudiado el efecto sobre las propiedades mecánicas de películas de almidón de papa adicionadas con fracciones de monoglicéridos acetilados, observándose que una mayor cantidad disminuyó el módulo de Young, la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación a la ruptura [8]. Con el fin de mejorar las propiedades tanto mecánicas como fisicoquímicas, se han elaborado películas con almidones modificados de maíz, papa y otras fuentes por varios métodos, las cuales se han caracterizado y determinado la influencia de las modificaciones y plastificantes utilizados. Los plastificantes se utilizan porque ayudan a modificar las propiedades del producto final. En el caso de las películas de almidón el plastificante disminuye la fragilidad y mejora la flexibilidad de estas. Existen varios plastificantes utilizados en la obtención de películas de almidón pero el más utilizado es el glicerol [9].

Se han obtenido películas de almidón de fuentes no convencionales como la quinua, estudiando el efecto del pH y concentración de glicerol, concluyendo que las condiciones óptimas son 21.2 g de glicerol/100 g de fécula de quinua y un valor de pH de 10.7. Las películas producidas en estas condiciones poseen propiedades mecánicas superiores [10].

Teniendo en cuenta que Colombia es el primer productor mundial de arracacha [11] y debido a que esta raíz presenta contenidos de almidón considerablemente altos [12], el objetivo del presente trabajo fue obtener tres tipos de películas biodegradables utilizando almidón nativo, oxidado y acetilado de arracacha con el fin de comparar las propiedades mecánicas de estas, variando la proporción de plastificante.

2. PARTE EXPERIMENTAL

El almidón nativo (AN) se extrajo según la metodología propuesta por Aristizábal y Sánchez [13], con algunas modificaciones. Para la obtención de las películas se utilizaron almidón oxidado (AO) con un porcentaje de grupos carbonilo de 0.019 y un porcentaje de grupos carboxilo de 0.025 y almidón acetilado (AA) con un grado de sustitución de 0.259 previamente caracterizados y almidón nativo de arracacha [14].

2.1 Obtención de películas

Las películas de AN, AO y AA se prepararon suspendiendo 2 g de almidón en una mezcla de 50 mL de agua destilada y glicerol en diferentes proporciones, (0.6; 0.8; 1.0 mL), se agitó a 500 r.p.m a temperatura ambiente durante 20 minutos. La suspensión se sometió a proceso de gelatinización durante 15 minutos a una temperatura de 70 °C. La mezcla se vertió en moldes de acero de 30x15 cm y se dejó secar a temperatura ambiente durante 5 días.

Propiedades mecánicas de las películas

Las propiedades mecánicas se determinaron en una máquina universal de ensayos Shimadzu EZ-L, según la norma ASTM D882-10 [15]. Las muestras analizadas correspondieron a conjuntos de películas plásticas cortadas en forma de probetas rectangulares (12x2.5 cm aproximadamente). Previo a la realización del ensayo, las muestras fueron acondicionadas a una temperatura de 23 ± 2 °C, humedad relativa de 50 ± 10 % durante 7 días en una cámara climática BINDER KBF115. Para cada probeta, se midió y registró el valor promedio de ancho y espesor (promedio de cinco mediciones), con un calibrador digital pie de rey Mitutoyo y medidor de espesores TMI respectivamente. Cada muestra se ubicó en las mordazas de la máquina universal y se sometió a las condiciones del método de ensayo, registrándose simultáneamente los cambios de esfuerzo y deformación durante el ensayo.

Las condiciones generales del método de medición empleado fueron las siguientes, las cuales se ajustaron de acuerdo a ensayos preliminares:

Distancia inicial entre mordazas: 80 mm

Velocidad de desplazamiento del cabezal: 40 mm/min

Velocidad inicial de deformación: 0,5 mm/mm.min

Capacidad máxima de la celda de carga empleada: 500 N

2.3 Análisis estadístico y diseño experimental

Se realizó un análisis de varianza con el programa estadístico SPSS versión 17 y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.01$). El diseño experimental que se siguió fue un diseño factorial AxB con dos factores de estudio: i) concentración del glicerol con tres niveles (A: 0.6 mL; B: 0.8 mL; C: 1.0 mL) y ii) tipo de almidón con 3 niveles (Almidón nativo, almidón oxidado y almidón acetilado).

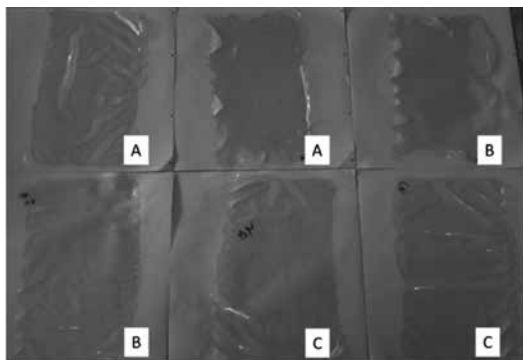
Se analizó la influencia del glicerol como plastificante sobre las propiedades mecánicas de las películas obtenidas.

3. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

En la figura 1 se muestran las películas de almidón obtenidas. Se observó mediante inspección visual que las películas de AO eran más opacas que las de AN y AA, debido a que durante la reacción de oxidación el almidón sufre un blanqueamiento que persiste durante la elaboración de las películas.

Figura 1. Fotografía digital de las películas de almidón obtenidas. A. acetilado; B. oxidado; C. nativo. Contenido de Glicerol: 0.8 mL

Figure 1. Digital Photography starch films obtained. A. acetylated; B. oxidized; C. native. Glycerol content: 0.8 mL.



3.1 Espesor promedio de las películas obtenidas

Se ha establecido que el espesor de las películas afecta directamente las propiedades mecánicas [16]. Por esta razón antes de realizar los ensayos, a cada muestra, se le midió y registró el valor promedio del espesor (tabla 1), resultado de promediar cinco mediciones en puntos diferentes para cada muestra (figura 2). El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas ($p < 0.01$), lo cual indica que el espesor no influyó en los resultados de las pruebas mecánicas que se llevaron a cabo, limitando los resultados de estas, a la influencia de la formulación y al tipo de almidón utilizado para la obtención de las películas.

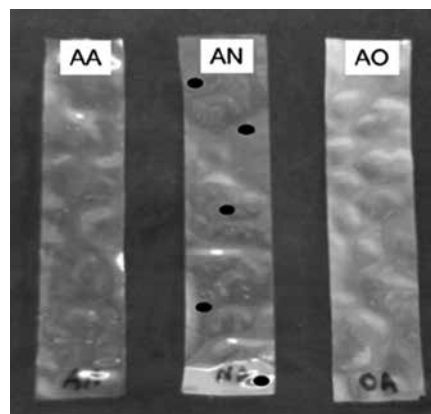
Tabla 3. Espesor de películas (mm)
Table 3. Film thickness (mm)

Muestra	Formulación			
	A	B	C	
PAN	1	0.1163	0.1184	0.126
	2	0.1178	0.1219	0.128
	3	0.1148	0.1163	0.1214
	\bar{X}	0.1163	0.1189	0.1251
S	0.0015	0.0028	0.0034	
PAO	1	0.1143	0.1148	0.1204
	2	0.1199	0.1387	0.1138
	3	0.1209	0.1077	0.1158
	\bar{X}	0.1184	0.1204	0.1167
S	0.0036	0.0162	0.0034	
PAA	1	0.1143	0.124	0.1372
	2	0.1402	0.1367	0.1417
	3	0.1273	0.1285	0.1168
	\bar{X}	0.1272	0.1297	0.1319
S	0.0183	0.0064	0.0133	

PAN: Películas con almidón nativo; PAO: Películas con almidón oxidado; PAA: Películas con almidón acetilado; A: 0.6 mL glicerol; B: 0.8mL glicerol; C: 1.0 mL glicerol; S: Desviación estándar

Figura 2. Fotografía digital de las muestras utilizadas para las pruebas mecánicas.

Figure 2. Digital photography of the samples used for mechanical testing.



AA: Película con almidón Acetilado. AN: Película con almidón Nativo. AO: Película con almidón Oxidado.

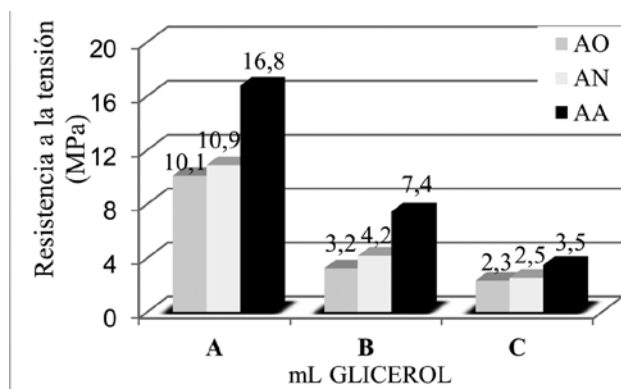
3.2 Resistencia a la tensión (RT)

Al realizar el análisis de varianza con el fin de evaluar el efecto del tipo de almidón (AN, AO y AA) y la formulación (A, B, C) se observa que, el tipo de almidón tiene efecto significativo en la RT ($p < 0.01$), lo que implica que esta varía de acuerdo al tipo de almidón que se utiliza para obtener las películas.

La prueba de comparaciones múltiples Tukey, indicó que la RT al usar el AN presenta mayor diferencia que cuando se usa AA. También se presenta diferencias al usar AO que con el AA para la obtención de las películas, ($p < 0.01$). Mientras que si se compara la RT de las películas, usando AN y AO, no hay diferencias significativas. Adicionalmente esta prueba refleja que al usar AA para la obtención de películas, se presenta mayor RT. Este comportamiento se puede observar en la figura 3.

Figura 3. Comparación de la resistencia a la tensión de las películas.

Figure 3. Tensile strength comparison of the films.



AO: Almidón nativo. AN: Almidón oxidado. AA: almidón acetilado. A: 0.6 mL; B: 0.8 mL; C: 1.0 mL

El análisis de varianza, también indicó que la formulación empleada para obtener las películas, evaluando la RT, genera en promedio valores diferentes de RT ($p < 0.01$). La prueba de Tukey, indicó que la formulación, influye directamente en la RT ($p < 0.01$). En promedio de los resultados, se registró mayor RT usando la formulación A para la obtención de las películas, seguido de la formulación B y de la formulación C, con valores de 12.5753 MPa, 4.9393 MPa y 2.7705 MPa respectivamente.

El valor más alto en la RT que presentan las películas de AA, se debe posiblemente a que en este tipo de modificación se sustituyen los grupos hidroxilo por grupos acetilo, que tienen menor interacción con las moléculas de glicerol que los grupos hidroxilo del AN y los grupos carboxilo y carbonilo del AO.

En promedio el valor más alto para la RT de las películas obtenidas fue 12.5753 MPa correspondiente a las películas con AA. Este valor comparado con el valor mínimo (10 MPa) del polietileno de baja densidad indica que existe una gran posibilidad de utilizar este tipo de películas como material de empaque.

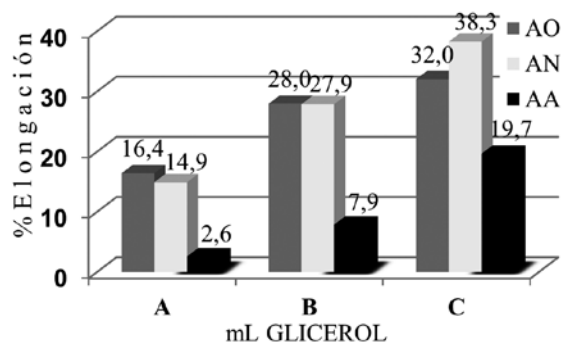
3.3 Porcentaje de elongación (%E)

Los resultados del análisis de varianza para el porcentaje de elongación (%E) indicaron que, el tipo de almidón tiene efecto significativo en el %E, lo que significa que el promedio de %E de las películas varía según el tipo de almidón usado ($p < 0.01$). La prueba de comparaciones múltiples Tukey indicó que el %E de las películas obtenidas con AN varía significativamente en comparación a las obtenidas con AA. De igual manera se presenta diferencias en el %E al usar el AO en la obtención de películas que AA ($p < 0.01$). Por el contrario el %E de las películas usando AN y AO, no presentan diferencias significativas. La prueba Tukey también permite establecer que al usar AN en la obtención de películas, se presenta en promedio mayor %E (figura 4).

En lo que respecta a la formulación empleada para obtener las películas y su efecto en el %E, se observó que, la formulación genera en promedio valores de %E diferentes ($p < 0.01$). Con la prueba de Tukey se estableció que existen diferencias significativas en el %E de las películas ($p < 0.01$) cuando se varía la formulación. En la figura 4 también se puede ver dicho comportamiento. En promedio se registró mayor %E usando la formulación C, seguida de la formulación B y de la formulación A, con valores de 30.001%, 21.2670 % y 11.3121 % respectivamente. Dicho de otra manera, la formulación C permitió obtener una película con mayor capacidad a deformarse elásticamente, aunque, dentro de la formulación C, el almidón acetilado tiene una diferencia significativa con respecto al almidón nativo y el almidón oxidado. Igualmente, a menor cantidad de plastificante en las películas tiende a ser un material frágil y fácilmente quebradizo.

Figura 4. Comparación del porcentaje de elongación a la ruptura de las películas.

Figure 4. Percentage of elongation at break comparison of the films.



AO: Almidón nativo. AN: Almidón oxidado. AA: almidón acetilado. A: 0.6 mL; B: 0.8 mL; C: 1.0 mL

Como el %E de los materiales poliméricos depende de la flexibilidad de la cadena molecular y teniendo en cuenta que durante el procedimiento para la obtención de las

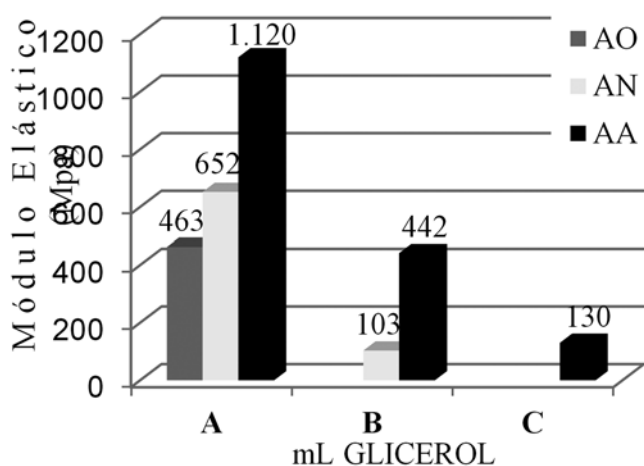
películas, el almidón se sometió a tratamiento térmico y agitación mecánica durante la etapa de gelificación; esto ocasionó que la estructura cristalina del almidón se destruyera y se formara una estructura nueva de carácter amorfo. Este cambio de estructura favoreció la impregnación del glicerol en la matriz lo que disminuyó las interacciones, tanto intra como intermoleculares entre las moléculas de almidón, debido a la formación de puentes de hidrogeno entre grupos hidroxilo de las macromoléculas de almidón y el glicerol. Este fenómeno contribuye a un reordenamiento de las cadenas del almidón que causa el incremento de la flexibilidad de las películas de almidón. Por lo tanto, el valor de %E de las películas aumentó mientras que la RT disminuyó con el aumento de glicerol. Resultados similares han sido reportados por Rodríguez et al. [17] y Hu et al. [1].

3.4 Módulo de elasticidad y Módulo de Resiliencia (ME y MR)

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza para el módulo de elasticidad (ME) y el módulo de resiliencia (MR) se pudo establecer que el tipo de almidón tiene efecto significativo sobre estas dos propiedades mecánicas de las películas, lo que implica que el promedio de ME y MR de las películas varían según el tipo de almidón usado ($p < 0.01$). Presentando mayores ME y MR las películas obtenidas con AA, seguido del AN y del AO. Dicho comportamiento se puede ver en la Figura 5.

Figura 5. Comparación del módulo de elasticidad de las películas.

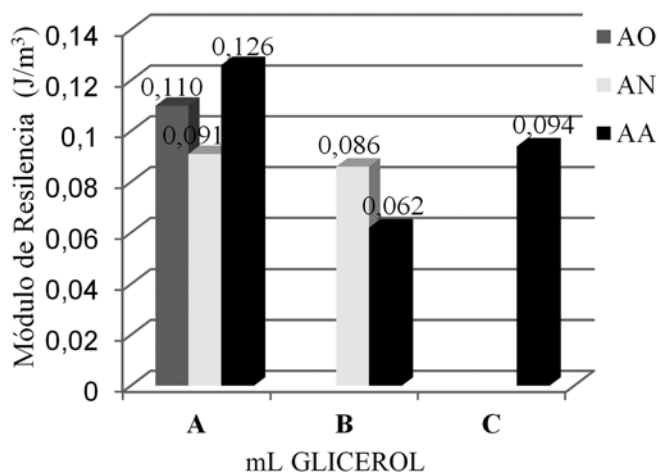
Figure 5. Elastic modulus comparison of the films.



AO: Almidón nativo. AN: Almidón oxidado. AA: almidón acetilado. A: 0.6 mL; B: 0.8 mL; C: 1.0 mL

Figura 6. Comparación del módulo de resiliencia de las películas.

Figure 6. Modulus of resilience comparison of the films.



AO: Almidón nativo. AN: Almidón oxidado. AA: almidón acetilado. A: 0.6 mL; B: 0.8 mL; C: 1.0 mL

En las figuras 5 y 6 también se muestra, que a las películas obtenidas con AO formulación B y C, y las películas de AN formulación C, no fue posible calcularles el ME y el MR por no existir región lineal definida en la curva esfuerzo-deformación, por esta razón para estas variables respuesta no se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey.

El análisis de varianza también permitió establecer, cómo el tipo de formulación genera diferencias significativas en el ME ($p < 0.01$). Presentándose mayor ME en la formulación A seguido de la B y C con valores de 733.74 MPa, 272.47 MPa y 130.17 MPa respectivamente.

Igualmente, también mediante análisis de varianza se observó, cómo el tipo de formulación genera diferencias significativas en el Módulo de Resiliencia ($p < 0.01$). Encontrándose mayor módulo de resiliencia en la formulación A seguido de la B y C con valores de 0.109, 0.074 MPa y 0.094 MPa respectivamente.

En cuanto al ME, el mayor valor lo presentan las películas de AA para todas las concentraciones de glicerol, lo que indica que este tipo de película tienen mayor rigidez y no se deforman tan fácilmente, además, se corrobora su rigidez observando en la figura 3 que las películas de AA presentan mayor RT para cualquiera de las tres formulaciones. Por otro lado, las formulaciones B y C (mayor cantidad de plastificante) para el AO y C de AN no presentan ME y tienden a deformarse plásticamente desde el inicio de la aplicación de la fuerza; resultado similares fueron reportados por Talja et al. [18].

En la formulación A, el módulo de resiliencia es significativamente mayor a las formulaciones B y C, lo que claramente se traduce en una mayor capacidad de ésta formulación para absorber energía antes de llegar a entrar en régimen de deformación plástica.

Este comportamiento permite evidenciar que la modificación del almidón también contribuye favorablemente a mejorar estas propiedades mecánicas, principalmente si se acetila y de alguna manera si se oxida, estas modificaciones causan una disminución en la formación de los puentes de hidrógeno entre el glicerol y los grupos hidroxilo del almidón.

Por otra parte, resultados de aplicar el modelo estadístico para evaluar la posible interacción entre el tipo de almidón usado en la obtención de las películas y la formulaciones, arroja que no hay interacción del almidón sobre la formulación que incide de manera significativa en la RT, %E, ME y MR de las películas obtenidas.

4. CONCLUSIONES

- Las propiedades mecánicas de las películas, se ven afectadas directamente por la concentración del plastificante y el tipo de modificación del almidón de arracacha utilizado para su obtención.
- La acetilación favorece el aumento de la resistencia a la tensión de las películas, mientras que la oxidación la reduce, en comparación a las obtenidas con almidón sin modificar.
- En promedio, las reacciones de acetilación y oxidación disminuyen el porcentaje de elongación de las películas, en comparación con las obtenidas con almidón sin modificar.
- La acetilación aumenta el módulo de elasticidad, mientras que la oxidación lo disminuye. A mayor cantidad de plastificante utilizado para la obtención de todas las películas, la resistencia a la tensión y el módulo de resiliencia disminuyen mientras que el porcentaje de elongación aumenta.
- La propiedad mecánica que se vio más afectada por la cantidad de plastificante fue el módulo de elasticidad.
- No existe efecto significativo en cuanto a la interacción entre el tipo de almidón y la concentración del plastificante usados para la obtención de las películas, que incida en las propiedades mecánicas de las películas de almidón de arracacha.

REFERENCIAS

[1] Hu, G., Chen, J., Gao, J. Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydr. Polym.*, 76 (2), 291-298, 2009.

[2] Uhrich, K.E., Cannizzaro, S.M., Langer, R.S., Shakesheff, K.M. Polymeric systems for controlled drug release. *Chem. Rev.*, 99 (11), 3181-3198, 1999.

[3] Tuominen, J. *Chain linked acid polymers: polymerization degradation studies*. Tesis de doctorado, Universidad Tecnológica de Helsinki, 2003.

[4] Zamudio, F.P., Bello, P.L., Vargas, T.A., Hernández, U.J., Romero, B.C. Partial characterization of films prepared with oxidized banana starch. *Agrociencia.*, 41 (8), 837-844, 2007.

[5] Fang, J.M., Fowler, P.A., Tomkinson, J., Hill, C.A. An investigation of the use of recovered vegetable oil for the preparation of starch thermoplastics. *Carbohydr. Polym.*, 50 (4), 429-434, 2002.

[6] Peñaranda, O.I., Perilla, J.E., Algecira, N.A. A review of using organic acids to chemically modify starch. *Ingeniería e Investigación.*, 28 (3): 47-52, 2008.

[7] Langlois, D. P., Wagoner, J. A. Production and use of amylose. En: *Starch, Chemistry and technology*. New York (EE.UU.): Press Inc., p. 451-496, 1967.

[8] Petersson, Maria y Stading, Mats. Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-mono-glyceride films and effect of film forming conditions. *En: Food Hydrocolloids*. Vol. 19, p. 123-132, 2005.

[9] López, O.V., García, M.A., Zaritzky, N.E., Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydr. Polym.*, 73 (4), 573-581, 2008.

[10] Aristizábal, J., Sánchez, T. Extracción de almidón de yuca. En: *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma (Italia): press Inc., p. 49-57, 2007.

[11] Rodríguez, G. Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp.*). [Internet]. Tibaitatá, Colombia: CORPOICA-PRONATTA; 2003 [citado 18 de octubre de 2010]. 104 p. Disponible en: <http://www.infoandina.org/system/files/recursos/AIRachira.pdf>

[12] Jiménez, F.S. Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. [Internet]. Lima, Perú: Red peruana de alimentación y nutrición; 2005 [citado 15 de diciembre de 2010]. 18 p. Disponible en: <http://www.slideshare.net/kevin1990/caracteristicas-nutricionales-de-la-arrecacha>

- [13] Araujo-Farro, P., G., Podadera, G., Sobral, P., Menegalli, F. Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. *Carbohydr. Polym.*, 81 (4), 839–848, 2010.
- [14] Pardo, O.H. *Propiedades Fisicoquímicas y Mecánicas de Películas Obtenidas a Partir de Almidones de Arracacha*. Tesis de Maestría. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2011.
- [15] Norma ASTM D882-10, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Pennsylvania (EE. UU.): American Society for Testing and Materials, 2010.
- [16] Jansson, A. y Thuvander, F. Influence of thickness on the mechanical properties for starch films. *Carbohydr. Polym.*, 56 (4), 499–503, 2004.
- [17] Rodríguez, M., Osés, J., Ziani, K., Maté, J.I. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Research International.*, 39 (8), 840–846, 2006.
- [18] Talja, R.A., Heléna, H., Roos, Y.H., Jouppila, K. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydr. Polym.*, 67 (3), 288–295, 2007.