

CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES DE YUCA NATIVOS Y MODIFICADOS PARA LA ELABORACIÓN DE EMPAQUES BIODEGRADABLES

NATIVE AND MODIFIED CASSAVA STARCH CHARACTERIZATION FOR BIODEGRADABLE PACKAGING MAKING

CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO NATIVO E MODIFICADO DE MANDIOCA PARA A ELABORAÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

MARIO ENRÍQUEZ C.¹, REINALDO VELASCO M.², ALEJANDRO FERNANDEZ Q.³

RESUMEN

Se estudiaron las propiedades fisicoquímicas de tres variedades de almidón de yuca (Manihot sculenta Crantz) nativas y modificadas por hidroxipropilación. Las variedades estudiadas estaban nombradas con los códigos CM 7138-7, CUMBRE 3 y SM 707-17. Se determinó el grado de modificación de los almidones, se desarrollaron curvas de empastamiento de almidones, se obtuvieron propiedades térmicas mediante calorimetría de barrido diferencial (DSC) y termogravimetría (TGA) y se generaron espectros de absorción de los almidones por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR). Respecto a los almidones nativos, se identificaron diferencias entre éstos en las curvas de empastamiento, en la temperatura de transición vítrea (Tg) y en la temperatura de fusión (Tm); en cuanto a los almidones modificados, se identificaron diferencias entre éstos en el grado de sustitución molar, en las curvas de empastamiento, en la Tg, la Tm y en los espectros obtenidos mediante FT-IR; en ambos casos estas diferencias fueron atribuidas al contenido de amilosa y amilopectina de los almidones. Respecto a las diferencias entre almidones nativos y modificados, el proceso de hidroxipropilación generó cambios en las propiedades estudiadas. Debido a su contenido de amilosa, menor viscosidad y Tg de su almidón modificado, la variedad CM 7138-7

- 1 Magíster en ingeniería de alimentos. Facultad de Ingenierías. Universidad Cooperativa de Colombia sede Popayán.
- 2 Magíster en administración. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Agroindustria. Universidad del Cauca.
- 3 Doctor en Ciencia de los Alimentos. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle.

fue aquella que posiblemente presentó mejor potencial para ser empleada en la elaboración de empaques biodegradables.

ABSTRACT

Physicochemical properties of native and hydroxypropylation cassava (Manihot sculenta Crantz) starch varieties were studied. Starches from three cassava varieties were analyzed, codified as CM 7138-7, CUMBRE 3 and SM 707-17. The objective was to identify the changes in the physicochemical properties due to hydroxypropylation process. It was also obtained the pasting curves, thermal properties by differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry (TGA) and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The native starches exhibited differences in the pasting curves, glass transition temperatures (Tg) and fusion temperatures (Tm). The modified starches showed differences in the molar substitution degree, pasting curves, Tg, Tm and the FT-IR spectrum. The hidroxypropylation process did generate significant changes in the properties of native starches. In both cases, this differences could be attributed to starch amylose and amylopectin content. Respect to native and modified starches differences, hidroxypropylation process generated changes over studied properties. Due to amylose content and modified starch less viscosity and Tg values, was concluded that variety CM 7138-7 was selected as the one with probably major package making potential.

RESUMO

Propriedades físico-químicas de três variedades de amido de mandioca (Manihot sculenta Crantz) nativas e modificadas por hidroxipropilação foram estudadas. As variedades estudadas foram nomeados com os códigos CM 7138-7, CUMBRE 3 e SM 707-17. Foi determinado o grau de modificação dos amidos, foram desenvolvidas curvas de empastamento, obtidas propriedades térmicas por calorimetria de varrimento diferencial (DSC), termogravimetria (TGA) e foram gerados espectros de absorção pela espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR). Em relação a amidos nativos, estes foram identificadas diferenças nas curvas de empastamento, nas temperaturas de transição do vidro (Tg) e nas temperaturas de fusão (Tm). Em relação a amidos modificados, diferenças foram encontradas entre o grau de substituição molar, curvas de empastamento, na Tg, na Tm e nos espectros obtidos por FT-IR. Em ambos os casos, estas diferenças foram atribuídas ao conteúdo de amilose e amilopectina do amido. Em relação a amidos nativos e modificados, o processo de modificação pela hidroxipropilação causou alterações das propriedades estudadas. Devido ao seu teor de amilose, inferior a viscosidade e a Tg do amido modificado, a variedade CM 7138-7 foi que possivelmente teve melhor potencial para serem utilizados na produção de embalagens biodegradáveis.

PALABRAS CLAVE:

Propiedades Físicoquímicas, Curvas de Empastamiento, Propiedades Térmicas, Espectroscopia Infrarroja.

KEYWORDS:

Physicochemical Properties, Pasting Curves, Thermal Properties, Infrared Spectroscopy.

PALAVRAS-CHAVE:

Propriedades Físico-químicas, Curvas de Empastamento, Propriedades Térmicas, Espectroscopia De Infravermelhos

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe mucho interés por el desarrollo de empaques biodegradables a partir de fuentes renovables, con características que sean capaces de reemplazar a los empaques derivados del petróleo [1]. El almidón es una de las materias primas que ha recibido mucha atención para el desarrollo de estos materiales, debido a que su capacidad de gelificar permite moldearlo y formar películas [2], además de ser un recurso económico, de alta disponibilidad en diversas partes del mundo [3]. La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una especie de raíces amiláceas que se cultiva en los trópicos y subtrópicos [4]. Existen gran cantidad de variedades de yuca en el mundo las cuales producen almidón con propiedades fisicoquímicas variables atribuibles a diferencias en su relación de amilosa a amilopectina y variaciones en su estructura molecular. Estas diferencias generan diversos comportamientos del almidón frente a los procesos a los que sean sometidos. La modificación de los almidones se realiza con el fin de mejorarlo a éstos algunas características como la resistencia térmica, resistencias al esfuerzo de corte, la descomposición térmica, disminuir su retrogradación, entre otros [5]. Una forma de modificación química es la hidroxipropilación. Por las razones anteriores, el objetivo de esta investigación fue estudiar características fisicoquímicas de tres variedades de almidón de yuca tanto en estado nativo como hidroxipropilados, para identificar aquella variedad con propiedades potenciales para la elaboración de un empaque biodegradable. Para ello se trabajó con almidón obtenido a partir de las variedades de yuca codificadas como CM 7138-7, CUMBRE 3 y SM 707-17.

MÉTODO

Se obtuvo almidón de yuca procedente del municipio de Morales, departamento del Cauca. Las muestras de almidón se trituraron con un molino analítico y posteriormente se pasaron por una malla 60 de Tamizadora MAXTECH con timer modelo TH3D.

Modificación del almidón nativo de yuca mediante hidroxipropilación – oxidación

Los almidones nativos se modificaron con óxido de propileno (> 99% de pureza, Merck) en presencia de NaOH (> 99% de pureza, Merck) y Na₂SO₄ (> 99% de pureza, Merck) a pH 11,3, procedimiento seguido por Kaur, Singh y Singh [5].

Determinación del grado de sustitución molar por espectrofotometría de absorción UV–VIS

Se determinó a través del contenido de grupos hidroxipropil en el almidón; este contenido se calculó mediante el principio empleado por Jones y Riddick para determinar propilenglicol y/o polioxipropileno [6], el cual fue adaptado para la determinación del grupo hidroxipropil en almidón esterificado [7]. La concentración de propilenglicol en el almidón se calculó de la curva estándar convirtiendo a grupos hidroxipropil equivalente usando la ecuación 1:

$$\text{Grupos hidroxipropil (\%)} = \frac{(C \times 0.7763 \times 10 \times f)}{w} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde *C* es la cantidad de propilenglicol en la solución de muestra (μg/mL), *f* es el factor de dilución (si es necesaria una dilución adicional) y *w* es el peso de la muestra. La sustitución molar se calculó mediante la ecuación 2:

$$MS = \frac{162W}{(100 - (W - 1))M} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde *MS* es la sustitución molar, *W* es la cantidad de grupos hidroxipropil equivalentes en 100 g de almidón y *M* es el peso molecular del óxido de propileno (C₃H₆O).

Curvas de empastamiento

Se utilizó un reómetro marca TA Instruments modelo 1500 EX. Se pesaron 25 g de almidón en base seca los cuales se dispersaron en 25 mL de agua destilada; se agitó la mezcla y se introdujo en la celda de empastamiento de almidón del equipo. Posteriormente se inició una rampa de calentamiento a una velocidad de 12,2 °C/min hasta que la muestra alcanzó 90 °C de temperatura y se mantuvo constante durante un tiempo de 2 minutos y 30 segundos. Luego se ejecutó una rampa de enfriamiento a una velocidad de 12,2 °C/min hasta que la temperatura de la muestra fue 50°C; se mantuvo constante ésta temperatura durante 2 minutos y finalmente la muestra fue enfriada hasta 30 °C.

Calorimetría de barrido diferencial (DSC)

Se utilizó un equipo TA Instrument, Q20 series bajo la norma ASTM D 3418-08, previamente calibrado bajo

la norma ASTM D 968. Se realizó un barrido desde -150°C hasta una de 250°C.

Análisis Termogravimétrico (TGA).

Se utilizó un analizador termogravimétrico MODULE TGA Q50 W/MFC. Se trabajó de acuerdo con el procedimiento establecido por la norma ASTM E 1131 – 08.

Infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR).

Se prepararon pastillas de almidones (2 mg) con bromuro de potasio (KBr) (Uvasol®, Merck, < 50 micras) y se introdujeron directamente en la celda del infrarrojo. Los espectros se trabajaron con 120 barridos cada uno.

RESULTADOS

Cuantificación del grado de sustitución molar

El valor de la sustitución molar (SM) de los almidones modificados se presenta en el Cuadro 1.

Esta reacción ocurre principalmente en las regiones amorfas del gránulo del almidón y la eficiencia de la hidroxipropilación está fuertemente influenciada por los reactivos usados, ya que una alta difusión del catalizador alcalino (NaOH) permite la penetración del óxido de propileno fácilmente dentro del gránulo; esta difusión está influenciada por la temperatura de reacción [7]. En los almidones de maíz y amaranto hidroxipropilado se reportan resultados de sustitución molar de 0,133 y 0,142 [7]. Como puede observarse el nivel de modificación del almidón de yuca es inferior a lo reportado anteriormente, indicando reducida cantidad de grupos hidroxipropil en su estructura; estas diferencias en el grado de modificación están sujetas a variaciones en la susceptibilidad al óxido de propileno de cada almidón. Dicha susceptibilidad está influenciada por diversos factores asociados no solo con el origen botánico del almidón sino también con la variedad, en

cuanto a tamaño, arquitectura del gránulo y distribución de tamaño, entre otros [8].

Curvas de empastamiento

Todos los almidones nativos presentaron dos picos de viscosidad en el proceso de formación de una pasta acuosa. Dicho fenómeno podría atribuirse a una distribución amplia de tamaños de gránulos de almidón, es decir, la variabilidad en el tamaño de éstos es probablemente el causante de tal comportamiento de la viscosidad [9]. Solo un pico de viscosidad se desarrolló en las curvas de empastamiento cuando los almidones estaban hidroxipropilados. El almidón nativo de la variedad yuca CM 7138-7 presentó el mayor desarrollo viscosidad (viscosidad pico de 1,1 Pa*s) entre los almidones de las tres variedades (ver Figuras 1, 2 y 3). Esto podría atribuirse a la relación amilosa/amilopectina, pues se ha demostrado que la viscosidad disminuye al incrementar dicha relación. Almidones con mayor contenido de amilosa presentan mayor estabilidad estructural debido a que existe mayor atracción de las cadenas poliméricas dada la alta estabilidad de los enlaces α -1,4 [10]. El Cuadro 2 presenta el contenido de amilosa y amilopectina de las tres variedades de almidón de yuca estudiadas.

Al analizar las curvas de empastamiento de las tres variedades modificadas, se encontró que dos de las variedades disminuyeron su pico máximo de viscosidad respecto a sus variedades nativas y la temperatura a la cual se logró éste, mientras que una de éstas tuvo incrementos en ambos parámetros respecto al almidón nativo.

La variedad CM 7138-7 fue la que logró menor pico de viscosidad y temperatura (0,527 Pa*s y 67,25 °C respectivamente) de las tres variedades modificadas, seguida de la variedad modificada CUMBRE 3 (0,642 Pa*s y 76 °C respectivamente) y la variedad SM 707-17 (1,07 Pa*s y 83,5 °C) siendo ésta última la única variedad que luego de la modificación incrementó

Cuadro 1. Sustitución molar de almidones de yuca

Variedad	Sustitución Molar (SM)	Desviación
CM 7138-7	0,008	$\pm 3,294 \times 10^{-4}$
CUMBRE 3	0,007	$\pm 2,9927 \times 10^{-5}$
SM 707-17	0,010	$\pm 2,0698 \times 10^{-3}$

Cuadro 2. Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones estudiados

Variedad	Amilosa (g/100 g de almidón)	Amilopectina (g/100 g de almidón)
CM 7138-7	24,09	75,27
SM 707-17	22,58	76,85
CUMBRE 3	21,58	77,83

Fuente: [11]

Figura 1. Curvas de empastamiento de almidón de la variedad CM 7138-7 nativo (○) y modificado (●)

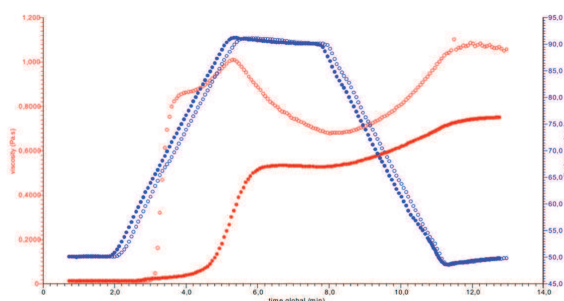


Figura 2. Curvas de empastamiento de almidón de la variedad SM 707-17 nativo (○) y modificado (●)

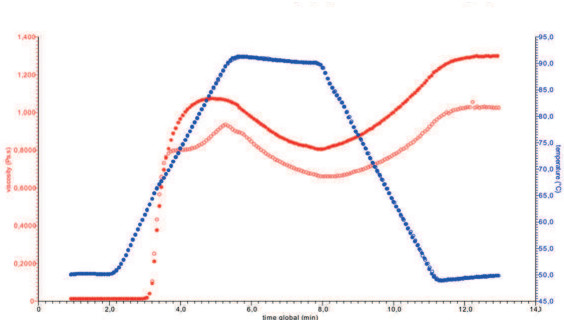
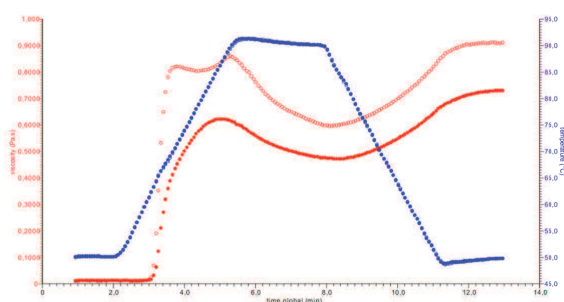


Figura 3. Curvas de empastamiento de almidón de la variedad CUMBRE 3 nativo (○) y modificado (●)



el pico de viscosidad respecto a la variedad nativa. Cuando se modifica un almidón por hidroxipropilación disminuye la temperatura de empastamiento de éste e incrementa el pico de viscosidad de los almidones [12]. En cuanto a las variedades CM 7138-7 y CUMBRE 3, la disminución del pico máximo de viscosidad del almidón luego de la modificación es el resultado de un efecto en los gránulos de almidón durante el proceso de modificación. Éste se refiere a un debilitamien-

to de los enlaces inter e intramoleculares tales como los puentes de hidrógeno, reorganización estructural de la mayoría del componente amorfo y parte de la región cristalina, lo que sucede particularmente bajo un medio alcalino como el usado para la modificación del almidón por hidroxipropilación [13]. Con respecto a la variedad SM 707-17, es posible que la adición de Na_2SO_4 en el proceso de modificación incrementara el pico de viscosidad máxima y disminuyera la lixiviación de cadenas poliméricas [14]. Las diferencias en los comportamientos de la temperatura y la viscosidad luego del proceso de modificación podrían atribuirse a posiblemente a las diferencias en el grado de modificación de los almidones o a la diversidad en los tamaños de los gránulos presentes en los almidones. Morita y Vang Hung (2005), modificaron por hidroxipropilación almidón de trigo con dos tipos de tamaños de gránulo, encontrando en las curvas de empastamiento de éstos que las propiedades del almidón con mayor contenido en amilosa como pico máximo de viscosidad y temperatura de empastamiento fueron superiores que su respectivo almidón nativo [12]. La disminución de las temperaturas de empastamiento en almidones con bajo grado de sustitución molar también ha sido reportada para almidón de papa [15, 16], almidón de maíz y de amaranto [7]. La viscosidad y temperaturas de setback fueron menores en dos de las tres variedades estudiadas. Esto indica que la retrogradación de cadenas de amilosa fue sustancialmente reducida por la hidroxipropilación [17].

Calorimetría de barrido diferencial (DSC) de almidones nativos y modificados de yuca

A continuación se presenta el análisis hecho para los resultados obtenidos de temperatura de transición vítrea (T_g) y temperatura de fusión (T_m).

Temperatura de transición vítrea (T_g)

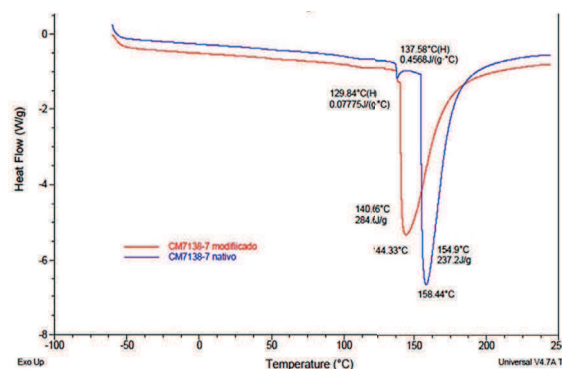
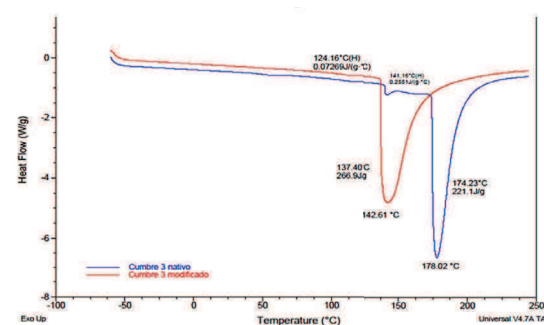
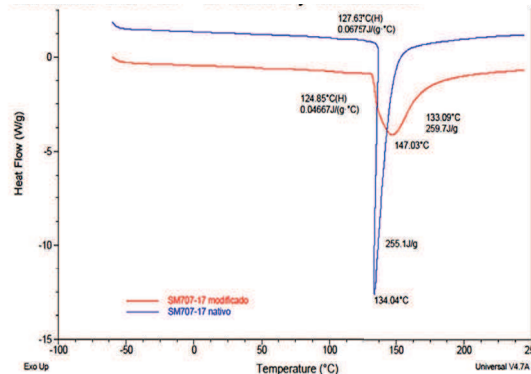
En el Cuadro 3 se reportan los datos del comportamiento de la T_g que presentaron las variedades de almidón nativo y modificado. De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente los valores de la T_g para todas las variedades tanto nativas como modificadas se encuentran por encima de la temperatura ambiente, indicando que los almidones se comportan como materiales vítreos a estas condiciones de almacenamiento [18].

El almidón modificado presentó un cambio en las propiedades térmicas como puede observarse en el

Cuadro 3. Temperaturas de transición vítrea (Tg) en almidón nativo y modificado de yuca

Variedad	Temperatura de Transición Vítrea Tg (°C)	
	Almidón Nativo	Almidón Modificado
CM 7138 – 7	137,58	129,54
CUMBRE 3	141,16	124,16
SM 707 - 17	127,63	124,85

Cuadro 3 y en las Figuras 4, 5 y 6, en las cuales se ve que la Tg disminuyó para los almidones modificados. Durante el proceso de modificación los grupos hidroxipropil que se introducen en las cadenas debilitan y desorganizan la estructura interna de las cadenas [19, 20], de esta manera al incorporar grupos hidroxipropil en los posibles sitios de sustitución de las unidades de anhidroglucosa, se amplían los espacios entre las cadenas aumentando el volumen libre entre estas, influyendo en la reducción de la temperatura de transición vítrea [21].

Figura 4. Termograma de DSC para almidón de yuca variedad CM 7138 -7 nativo y modificado**Figura 5.** Termograma de DSC para almidón de yuca variedad SM 707 - 17 nativo y modificado**Figura 6.** Termograma de DSC para almidón de yuca variedad SM 707 - 17 nativo y modificado

Temperatura de fusión (Tm)

Se reportan sus temperaturas de fusión en el Cuadro 4 para almidones nativos y modificados. Los valores de Tm disminuyeron presentando igual comportamiento que la Tg para las variedades CM 7138 – 7 y CUMBRE 3. Esto podría deberse a que durante la modificación se presentó una reducción de las interacciones entre las cadenas de almidón [20], la presencia de grupos sustituyentes de origen hidrofílico logran un aumento en el volumen libre de la molécula haciendo que las cadenas se muevan fácilmente causando una disminución en la temperatura necesaria para fundir los cristales y alterar la estructura del almidón [20]. Estos almidones modificados a pesar de disminuir su temperatura de fusión presentaron un aumento en su entalpía, como se puede ver en las Figuras 4 y 5; este aumento pudo deberse a que al incorporar los nuevos grupos funcionales en la cadena, posiblemente se formó algún tipo de enlaces secundarios requiriendo mayor energía para su desorganización [22]. La variedad SM 707 – 17 presentó aumento en su temperatura de fusión y la entalpía en el almidón modificado, esto posiblemente se deba a que la estructura cristalina es más estable y

Cuadro 4. Temperatura de fusión (Tm) de almidones nativos y modificados de yuca

Variedad	Almidón Nativo		Almidón Modificado	
	Tm (°C)	ΔHf (J/g)	Tm (°C)	ΔHf (J/g)
CM 7138 – 7	158,44	243,1	144,33	284,6
CUMBRE 3	178,02	221,1	142,61	266,9
SM 707 – 17	134,04	255,1	147,03	259,7

sus cadenas pueden ser más fuertes, lo cual demanda mayor energía para fundir [23], restándole cualidades para ser utilizado en la elaboración de empaques.

Análisis termogravimétrico (TGA) de almidones nativos y modificados de yuca

En los termogramas correspondientes al almidón nativo y modificado puede observarse un cambio en el inicio de la temperatura para alcanzar la máxima tasa de degradación de los almidones. Para la variedad CM 7138 - 7 y la variedad CUMBRE 3 (ver Figuras 6 a 9) se presentó una disminución en la temperatura, pasando de 260,27°C a 252,27°C para la variedad CM 7138 -7 y de 254,97°C a 249,67 para la variedad CUMBRE 3 (no se presenta su gráfica). La variedad SM 707 -1 7 presentó un aumento en esta temperatura pasando de 246,70°C a 260,64°C, indicando mayor estabilidad con respecto a las otras variedades. En los almidones

Figura 7. Termograma de TGA de almidón de yuca nativo variedad CM 7138-7

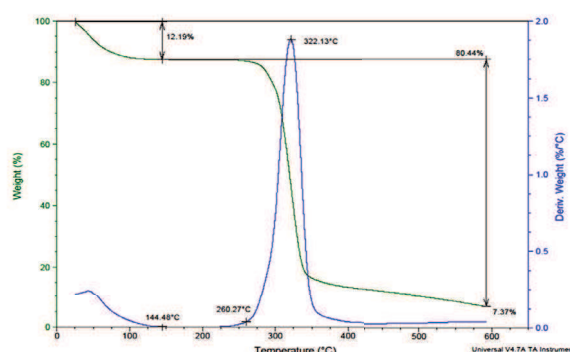


Figura 8. Termograma de TGA de almidón de yuca modificado variedad CM 7138-7

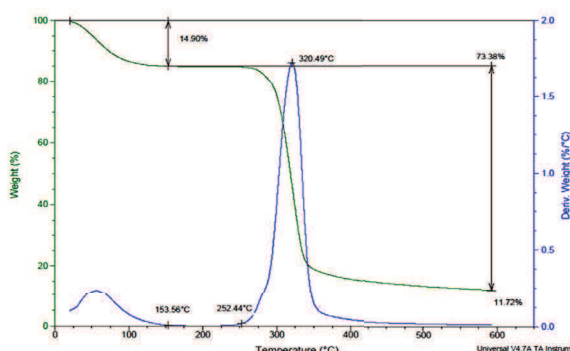


Figura 9. Termograma de TGA de almidón de yuca nativo SM707-17

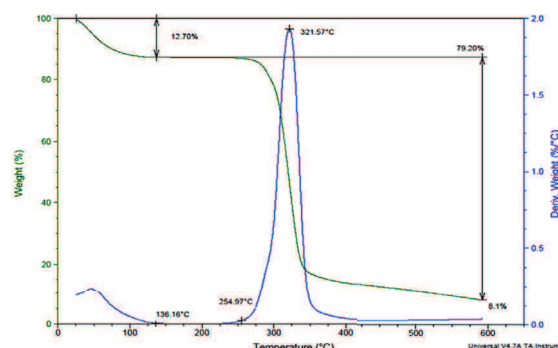
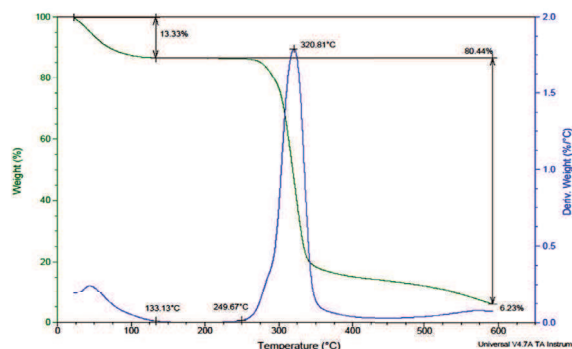


Figura 10. Termograma de TGA de almidón de yuca modificado SM 707-17



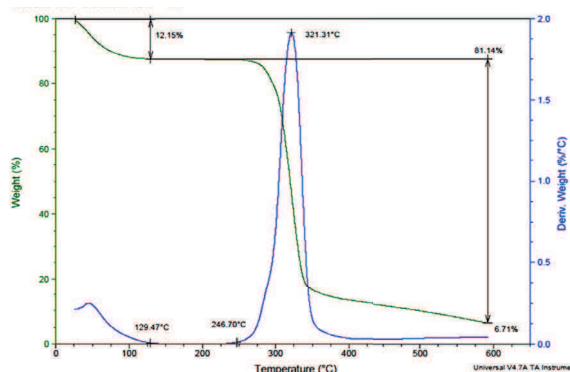
modificados (CM 7138-7, CUMBRE 3, SM 707-17) se observa que las muestras son estables hasta cerca de los 252,44°C, 249,67 °C, 260.64 °C para cada variedad respectivamente. Aproximadamente entre 590 °C y 600 °C ocurre una descomposición de una estructura entrecruzada del almidón o posibles anillos aromáticos formados por la descomposición térmica [24].

Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier de almidones nativos y modificados (FT-IR)

La Figura 11 muestra los espectros de una variedad de almidón nativo y modificado.

La comparación entre los espectros infrarrojos de los almidones nativos y modificados de las variedades de yuca mostró una similitud entre sus bandas. Se presentó un intervalo de absorción de una banda ancha y fuerte entre 3363 cm^{-1} y 3394 cm^{-1} ; estas bandas corresponden a los alargamientos de los grupos OH [24] de los grupos hidroxilo libres enlazados intra e intermolecularmente presentes en las unidades de anhidroglucosa de la amilosa y la amilopectina, estruc-

Figura 11. Espectros FT-IR de almidón nativo y modificado de la variedad CM 7138 – 7



turas propias del almidón [25]. Se considera que la estructura del grupo hidroxipropil se adhiere a una molécula de almidón sustituyendo un grupo hidroxilo de una unidad de anhidroglucosa después del proceso de modificación, por lo anterior el grupo metileno (-CH₂-) es la única característica distintiva (longitudes de onda entre 2850 cm⁻¹ - 3000 cm⁻¹, alargamiento CH), generándose el fenómeno de absorción específico para el grupo metileno. En el almidón modificado, la banda a 2931 cm⁻¹ para SM 707-17, 2923 para CUMBRE 3 y 2915 para CM 7138-7 corresponden a este grupo funcional ya que se observa claramente un elevamiento de la banda en la frecuencia de estiramiento de este grupo, debido a la adición de óxido de propileno [26] (Figura 11). El comportamiento observado en la figura coincide con la identificación cualitativa de modificación de almidones presentada por Forrest y Cove [26], en el cual se analiza cualitativamente la modificación por hidroxipropilación de almidón de maíz Waxy, presentándose los picos más relevantes en una franja comprendida entre 1885 y 2974 cm⁻¹, valores equivalentes a longitudes de onda. Rindlav *et al.*, (1997), plantearon que de acuerdo a la absorbancia de una banda aguda ubicada en la región 1075 – 1020 cm⁻¹, se puede llegar a determinar el grado de cristalización de un almidón [27]; para los almidones nativos y modificados se ubica en 1040 cm⁻¹, 1042 cm⁻¹ y 1041 cm⁻¹ para SM 707 -17, CUMBRE 3 y CM 7138 – 7, respectivamente. Al comparar la banda correspondiente a las zonas cristalinas en los almidones modificados se observa una mayor intensidad de esta, causado por la eterificación del almidón [28] por la introducción de grupos bloqueadores monofuncionales sustituyentes en la molécula del almidón, tales como el hidroxipropil [29].

CONCLUSIONES

El grado de modificación de los almidones hidroxipropilados varió para cada variedad aunque la aplicación del proceso de modificación por hidroxipropilación para los almidones fue similar. Esto podría atribuirse al contenido de amilosa y amilopectina de cada una de las variedades lo cual influye en la reactividad del almidón.

El proceso de modificación por hidroxipropilación generó cambios en las propiedades de los almidones objeto de estudio. La viscosidad de las variedades CM 7138-7 y CUMBRE 3 disminuyó mientras que la viscosidad de la variedad SM 707-7 incrementó. Se observó igual comportamiento respecto a la temperatura de máxima viscosidad de los almidones.

Se identificaron diferencias en las propiedades térmicas entre los almidones nativos y entre los almidones modificados. El proceso de modificación generó disminuciones de la T_g y de la T_m de los almidones estudiados. Sin embargo se presentó un comportamiento contrario con la energía de fusión de los almidones modificados, en los cuales fue mayor que en los almidones nativos. Respecto a la prueba de termogravimetría se identificaron cambios en la temperatura de inicio de degradación de los almidones. Las variedades CM 7138 – 7 y CUMBRE 3 presentaron disminución en dicha temperatura, no así la variedad SM 707-17 que presentó comportamiento contrario en dicha propiedad.

La aplicación de FT-IR generó espectros similares entre los almidones nativos y entre los almidones modificados. Se identificaron cambios en los espectros de los almidones debidos al proceso de modificación, especialmente entre 3363 cm⁻¹ y 3394 cm⁻¹, bandas que corresponden a alargamientos de los grupos OH.

Los resultados obtenidos del estudio de las diversas características fisicoquímicas de los almidones nativos y modificados permiten, de manera preliminar, concluir que la variedad CM 7138-7 es la más recomendable para la elaboración de empaques biodegradables, debido al menor contenido de amilosa de su variedad nativa, a la menor viscosidad y T_g de su almidón modificado, pues esto indica que en su procesamiento térmico es necesario menor uso de energía para fundir y plastificar ésta variedad de almidón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Cauca y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la República de Colombia por el apoyo suministrado a esta investigación mediante el proyecto de investigación número 228-2008Z32308-7121.

REFERENCIAS

- [1] VELASCO, R., ENRÍQUEZ, M., TORRES, A., PALACIOS, L. y RUALES, J. Caracterización morfológica de películas biodegradables a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante. *Revista de biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10 (2), 2012, p. 152-159.
- [2] ENRÍQUEZ, M., VELASCO, R. y ORTIZ, V. Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Revista de biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10 (1), 2012, p. 182-192.
- [3] BEMILLER, J. and WHISTLER, R. *Starch: chemistry and technology*. 3 ed. Amsterdam (Netherlands): Academic Press, 2009, 900 p.
- [4] ARISTIZABAL, J. y SÁNCHEZ, T. Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*. Roma (Italia): FAO, 2007, 153 p.
- [5] KAUR, L. SINGH, N. and SINGH, J. Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 55, 2004, p. 211-223.
- [6] JONES, L. and RIDDICK, J. Colorimetric determination of Propionaldehyde. *Analytic Chemistry*, 26 (6), 1954, p. 1035-1038.
- [7] PAL, J., SINGHAL, P. and KULKARNI, P. R. A comparative account of conditions of synthesis of hydroxypropyl derivative from corn and amaranth starch. *Carbohydrates Polymers*, 43, 2000, p. 155-162.
- [8] TESTER, R. and KARKALAS, J. Starch composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 2004, p. 151-165.
- [9] THITIPRAPHUNKUL, K., UTTAPAP, D., PIYACHOMKWAN, K. and TAKEDA, Y. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I: Chemical composition and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 53 (3), 2003, p. 317-324.
- [10] VILLADA, H. Efecto de las variables de operación de un extrusor de huso sencillo en la producción de almidón termoplástico a partir de almidones agrios de yuca [Ph. D. Tesis Ingeniería de Alimentos]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Alimentos, 2005.
- [11] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Producción y caracterización de películas flexibles biodegradables por extrusión de tornillo simple a partir de almidón de yuca, plastificante y PLA. Proyecto de investigación, Informe final. Bogotá, (Colombia): 2011.
- [12] MORITA, N. and VAN HUNG, P. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starches from A-type and B-type wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 59, 2005, p. 239-246.
- [13] LAWAL, O. Hydroxypropylation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) starch: Preparation, functional characterizations and enzymatic digestibility. *LWT – Food Science & Technology*. 44, 2011, p. 771-778.
- [14] CORKE, H. and GUNARATNE, A. Effect of hydroxypropylation and alkaline treatment in hydroxypropylation on some structural and physicochemical properties of heat-moisture treated wheat, potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 2007, p. 305-313.
- [15] KIM, M. Evaluation of degradability of hydroxypropylated potato starch-polyethylene blend films. *Carbohydrate Polymers*, 54, 2003, p. 173-181.
- [16] PERERA, C., HOOVER, R. and MARTIN, A.M. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Research International*, 30, 235-247. 1997.
- [17] UTTAPAP, D., CHUENKAMOL, B. PUTTANLEK, C. and RUNGSARDTHONG, V. Characterization of low-substituted hydroxypropylated canna starch. *Food Hydrocolloids*, 21, 2007, p. 1123-1132.
- [18] PERDOMO, J., COVA, A., SANDOVAL, A.J., GARCÍA, L., LAREDO, E. and MÜLLER, A.J. Glass transition temperature and water sorption isotherms of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 76, 2009, p. 305-310.
- [19] RICHARDSON, S., NILSSON, G., BERGQUIST, K., GORTON, L. and MISCHNICK, P. Characterization of the substituent in hydroxypropylated potato amylopectin starch. *Carbohydrate research*, 328, 2000, p. 365-373.

- [20] LEE, H.L. and YOO, B. Effect of hydroxypropylation on physical and rheological properties of sweet potato starch. Food science and technology, 44, 2011, p. 765-770.
- [21] TRAN, T., PIYACHOMKWAN, K. and SRIROTH, K. Gelatinization and Thermal Properties of Modified Cassava Starches. Starch – Stärke, 59, 2007, p. 46–55.
- [22] PAREDES, O., AGAMA, E., OTTENHOF, M., FARHAT, I., ORTÍZ, J. y BELLO, L. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. Interiencia, 29 (11), 2004, p. 643-649.
- [23] KAUR, L., SINGH, N. and SINGH, J. Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches. Carbohydrate Polymers, 55 (22), 2004, p. 211-223.
- [24] RUIZ, G. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. Ingeniería y Ciencia, 2 (4). 2006, p. 5-28.
- [25] ATHAWALE, V. and VIDYAGAURI, L. Thermal studies on granular maize starch and its graft copolymers with vinyl monomers. Starch – Stärke, 52 (6), 2000, p. 205-213.
- [26] FORREST, B. and COVE, L. Identification and quantification of hydroxypropylation of starch by FTIR. Die Staerke, 44 (5), 1992, p. 179-183.
- [27] RINDLAV, A., STADING, M., HERMANSSON, A. and GATENHOLM, P. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. Carbohydrate Polymers, 36, 1997, p. 217-224.
- [28] LOPEZ, O., ZARITZKY, N. and GARCIA, M. Physicochemical characterization of chemically modified corn starches related to rheological behavior, retrogradation and film forming capacity. Journal of Food Engineering, 100, 2010, p. 160-168.
- [29] FLORES, E., GARCÍA, F., FLORES, E., NÚÑEZ, M., GONZÁLEZ, R. y BELLO, L. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*musa paradisiaca*). Acta Científica Venezolana, 55 (1), 2004, p. 86-90.