

DOI:10.18684/BSAA(13)76-85

APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca spp*) PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA

LEVERAGING OF PULP AND PEEL OF BANANA (*Musa paradisiaca spp*) FOR THE OBTENTION OF MALTODEXTRIN

APROVEITAMENTO DE POLPA E DA CASCA DE BANANA (*Musa paradisiaca spp*) PARA OBTER MALTODEXTRINA

DIANA VICTORIA MELO-SABOGAL¹, YENNIFER TORRES-GRISALES²,
JOHANNA ANDREA SERNA-JIMÉNEZ³, LAURA SOFÍA TORRES-VALENZUELA⁴

RESUMEN

*Los subproductos de las cadenas agroindustriales constituyen alrededor del 90% de la parte del cultivo, por lo cual, establecer alternativas de aprovechamiento puede ser importantes para los productores. En este trabajo se evaluó el efecto del tratamiento enzimático sobre almidón obtenido de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca spp.*) y se estableció el efecto de la temperatura de secado en almidón hidrolizado sobre propiedades químicas, físicas y reológicas. Se cuantificó la actividad de agua, el contenido de humedad y el contenido de dextrosa equivalente, azúcares reductores presentes en la maltodextrina por cromatografía líquida de alta eficacia; además se determinaron parámetros de color y reológicos. La hidrólisis enzimática presentó efecto significativo sobre la cantidad de dextrosa*

Recibido para evaluación: 30 de abril de 2015. **Aprobado para publicación:** 1 de Julio de 2015

- 1 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Ingeniera Agroindustrial. Armenia, Colombia.
- 2 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Ingeniera Agroindustrial. Armenia, Colombia.
- 3 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Magister en Diseño y Gestión de Procesos. Armenia, Colombia.
- 4 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Magister en Ingeniería de Alimentos. Armenia, Colombia.

Correspondencia: laurasofiatv@gmail.com

equivalente, permitió la obtención de maltotriosa, maltosa y glucosa, compuestos propios de maltodextrina, además, tuvo efecto sobre los parámetros reológicos, evidenciándose el cambio de la estructura del almidón. La temperatura de 130°C fue la que tuvo mayor efecto sobre las variables de actividad de agua, contenido de humedad y cambio de color. Lo anterior demuestra que es posible la obtención de maltodextrinas a partir de pulpa y cáscara de plátano por vía enzimática y secado por atomización a temperatura de 130°C.

ABSTRACT

*The subproducts of agribusiness chains constitute about 90% of the portion of the crop, therefore, establish alternative uses may represent alternatives for producers. The aim of this study was evaluated the effect of enzymatic treatment on starch obtained from pulp and banana peel (*Musa paradisiaca* spp.) and establish the effect of drying temperature on starch hydrolyzate on chemical, physical and rheological properties. Water activity, moisture content and the dextrose equivalent content was quantified, reducing sugars present in the maltodextrin were determined by High-performance liquid chromatography; besides color and rheological parameters were determined. Enzymatic hydrolysis showed a significant effect on the amount of dextrose equivalent, allowed obtaining maltotriose, maltose and glucose, typical compounds maltodextrin also had an effect on the rheological parameters, showing the change of the starch structure. The temperature of 130°C was the one that had the greatest impact on the variables of water activity, moisture content and color. This shows that it is possible to obtain maltodextrins from pulp and banana peel enzymatically and spray drying temperature of 130°C.*

RESUMO

*Os derivados de cadeias agroindustriais constituem cerca de 90% da parte da colheita, portanto, estabelecer usos alternativos podem representar alternativas para os produtores. O objetivo deste trabalho, foi avaliar o efeito do tratamento enzimático de amido obtido a partir de casca e de polpa de banana (*Musa paradisiaca* spp.), estabelecer o efeito da temperatura de secagem no amido hidrolisado sobre as propriedades reológicas, químicas e físicas. foi quantificadas a atividade da água, o teor de umidade e o teor de equivalente de dextrose; açúcares redutores presentes nas maltodextrinas foram determinados por cromatografia líquida de alto desempenho; parâmetros de cor foi determinados e os parâmetros reológicos. A hidrólise enzimática mostrou um efeito significativo sobre a quantidade de equivalente em dextrose, permitiu a obtenção de maltotriose, maltose e glicose, compostos típicos maltodextrina também teve um efeito sobre os parâmetros reológicos, que mostra a mudança da estrutura de amido. A temperatura de 130°C foi a que teve o maior impacto sobre as variáveis da atividade de água, teor de umidade e cor. Isto mostra que é possível obter a partir de casca de maltodextrinas polpa de banana e enzimaticamente e spray temperatura de secagem de 130°C.*

PALABRAS CLAVE:

Almidón, Almidones modificados, Dextrosa equivalente, Enzimas, Reología.

KEY WORDS:

Starch, Modified starch, Dextrose equivalent, Enzymes, Reology.

PALAVRAS-CHAVE:

Amido, Amidos modificados, Equivalente dextrose, Enzimas, Reologia.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa spp.*) es una de las frutas más importantes en países desarrollados de Asia, Latinoamérica y África [1, 2]. En Colombia, este cultivo representa uno de los principales renglones agropecuarios con un área sembrada de 378.884 ha y una producción de 3.072.974 ton, adicionalmente, el plátano es el cultivo de mayor importancia económica para el Quindío, con una producción de 221.929 ton y una participación departamental (plátano y tubérculos) del 97,04% representando el 7,22% de la producción nacional [3]. La cáscara representa del 35% al 40% del fruto, generando residuos que se podrían aprovechar para la fabricación de diferentes productos de valor agregado entre los que se encuentra la extracción de almidón [4] para su aplicabilidad en la industria alimentaria [5, 6,7].

El almidón es un biopolímero de gran importancia compuesto por amilosa y amilopectina [8,9,10,11], es la mayor fuente de nutrición para animales y humanos y es una importante materia prima para la industria [12], es un material abundante, renovable, biodegradable y de bajo costo, extraído de diversas fuentes naturales [13] como tubérculos, cereales, legumbres y frutos inmaduros [14,15] que al hidrolizarse puede generar productos de mayor valor comercial.

Aparicio-Saguilán *et al.* (2014) reportan el creciente interés por la obtención de almidón a partir de fuentes no convencionales debido a que pueden presentar propiedades fisicoquímicas y funcionales diferentes a las que presentan los almidones convencionales, como los aislados de maíz, arroz, trigo y papa [16]. El plátano se ha estudiado como una fuente alterna para la obtención de almidón y se ha resaltado su potencial debido a sus propiedades físicas, químicas y funcionales, a su digestibilidad, modificación química y usos industriales [16].

Utrilla-Coello *et al* (2014) reportan la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, estructurales y funcionales de almidones aislados de diversas variedades de plátano y sus características de digestibilidad [17]. Por su parte, Bello-Pérez *et al* (2002) y Aparicio-Saguilán *et al* (2014) obtuvieron almidones modificados mediante la hidrólisis de almidones de plátano, por métodos enzimáticos y ácidos [16, 18]. Por sus características y propiedades, este tipo de almidón puede ser utilizado para el desarrollo de nuevos productos, especialmente como nuevos ingredientes con características nutracéuticas [14].

Una alternativa de desarrollo de nuevos productos puede darse con la obtención de maltodextrina, que es un polisacárido no dulce, que consiste de unidades D-glucosa enlazadas principalmente por enlaces alfa(1-4) con valor de dextrosa equivalente inferior a 20 y puede ser obtenida por hidrólisis enzimática [19, 20]. Entre las enzimas empleadas para la hidrólisis de almidones se encuentra la enzima alfa-amilasa (Alfa 1,4-D- Glucan Glucano-hidrolasa) la cual permite la transformación de almidón a maltosa, glucosa y dextrinas.

La maltodextrina se utiliza en la industria alimentaria y farmacéutica porque permite la unión de sabor y grasa, la reducción de la permeabilidad del oxígeno a la pared de la matriz y la viscosidad aparente de un fluido [21, 22].

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento enzimático sobre almidón obtenido a partir de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp.) variedad Dominico Hartón y determinar el efecto de la temperatura de secado en almidón hidrolizado sobre propiedades físicas, químicas y reológicas.

MÉTODO

Se utilizó plátano variedad Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) de segunda calidad y en estado de madurez verde, según NTC 1190 [23], del cultivo ubicado en el Km 7 vía Armenia - La Tebaida (Quindío), con coordenadas 4°29'0,00"N, 75°44'45,91"O y 1209 m.s.n.m.

Extracción de almidones

Se extrajo almidón de pulpa y cáscara de plátano a nivel de laboratorio siguiendo metodología reportada por Torres *et al.* [24]. El secado del almidón se realizó en una estufa de circulación forzada (Binder, USA) a 40°C por 24 horas y la pulverizaron se hizo en un molino de cuchillas (Samurai, Colombia). Los productos fueron almacenados en bolsas de poliestireno de alta densidad a 24°C \pm 3 y un 60% de humedad relativa.

Hidrólisis enzimática de almidones

Se obtuvo maltodextrina de almidones de pulpa y cáscara de plátano a través de hidrólisis enzimática siguiendo la metodología reportada por Bello Pérez *et al* (2002) con algunas modificaciones [25]. La hidrólisis

se realizó con la enzima α -amilasa de origen fúngico (*Fungamyl 800 L, Dinamarca*). Se prepararon soluciones de ambos almidones en agua (20% p/v) y se ajustó su pH a 6,5. En un baño térmico (Mettmert, Alemania) se calentaron las soluciones hasta 72°C, temperatura a la que se adicionó la enzima en concentración de 0,02% v/v. El proceso se realizó con agitación manual durante 15 minutos. La enzima fue inactivada con choque térmico a 4°C \pm 2 por 5 minutos.

El secado se realizó en un secador por atomización (Instrument YC-015 Pilotech, Beijing China) a temperaturas de 110, 120 y 130°C.

Análisis químicos

Se determinó la actividad de agua (a_w), el contenido de humedad (CH) y los azúcares reductores expresados como dextrosa equivalente (DE). Se midió la a_w por el método del punto de rocío en un medidor de actividad de agua Aqualab Lite (Decagon, USA), y el CH fue determinado a través del método gravimétrico siguiendo la norma AOAC 934.06 usando una estufa de circulación forzada (Binder, USA) y balanza analítica (Mettler Toledo, Suiza). Los azúcares reductores se determinaron por el método de DNS (*ácido 3-amino-5-dinitrosalicílico*), según metodología modificada de Amid *et al.* [26].

Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC)

Para los análisis cromatográficos se utilizó un cromatógrafo líquido de alta eficacia (Hitachi Elite Lachrom, Japón) con una fase móvil de ácido sulfúrico 5mM y un flujo de inyección 0,4 μ L/min, una columna Hi-Plex H Ligand Exchange (30 cm x 6,5 mm) (Agilent, Estados Unidos), tamaño de partícula de 8 μ m, acondicionada en un equipo con detector IR (L-2490), temperatura de la columna de 65°C alcanzada en un horno (L-2300).

Análisis de color

El color fue determinado mediante un colorímetro (CM-600d, Konica Minolta Optics Inc., Japón). Se obtuvieron coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$ empleando como referencia el iluminante D65 con observador de 10°. El rango de los parámetros de color fue $L^* = 0$ (negro) hasta 100 (blanco), $a^* = -60$ (verde) hasta +60 (rojo), y $b^* = -60$ (azul) hasta +60 (amarillo).

Análisis reológico

Se determinó a partir de suspensiones de 25 mL de maltodextrina al 8% (p/v) en base seca, sometidas a barridos de temperatura y agitación, siguiendo metodología reportada por Torres *et al.* [24]. El análisis reológico se realizó en un reómetro rotacional (TA Instrument, AR1500ex, USA), con el software *Reology Advantage Data Analysis*®, con el cual se obtuvieron los viscoamilogramas que representan las curvas de empastamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un diseño factorial completamente aleatorizado, donde los factores evaluados fueron tratamiento enzimático y temperatura de secado ($T_1 = 110^\circ\text{C}$; $T_2 = 120^\circ\text{C}$; $T_3 = 130^\circ\text{C}$). Se tuvieron como controles los almidones sin hidrolizar. Los ensayos se corrieron por triplicado.

Los resultados se analizaron a través de análisis de varianza con un nivel de significancia del 95%, empleando el software estadístico Statgraphics centurion xv versión 15.1.02 ®.

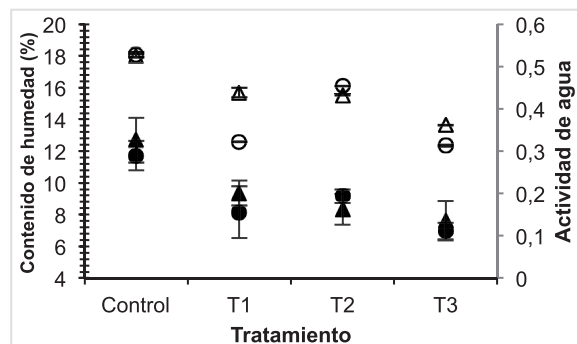
RESULTADOS

Análisis químico

En cuanto al análisis químico de las maltodextrinas, en la Figura 1, se presentan los resultados de la a_w y CH en función del tratamiento. El incremento en la temperatura generó mayor disminución de la a_w ($p < 0,05$). En maltodextrina de pulpa, la a_w osciló entre $0,313 \pm 0,002$ y $0,454 \pm 0,002$, mientras que el almidón tiene una a_w de $0,529 \pm 0,002$; siendo los tratamientos 1 y 3 los que presentaron una menor a_w . La maltodextrina de cáscara de plátano presentó a_w entre $0,361 \pm 0,003$ y $0,438 \pm 0,003$, el almidón de cáscara tuvo una a_w de $0,525 \pm 0,003$.

Con respecto al contenido de humedad se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). La maltodextrina obtenida de pulpa y cáscara de plátano presentaron valores de CH que oscilan entre $6,954 \pm 0,576$ y $9,171 \pm 0,576$ para pulpa y $7,610 \pm 0,648$ y $9,353 \pm 0,648$ para cáscara, mientras que los almidones de pulpa y cáscara presentaron un CH de $11,713 \pm 0,576$ y $12,681 \pm 0,648$, respectiva-

Figura 1. Actividad de agua y contenido de humedad en maltodextrina de pulpa (▲) y cáscara (●).



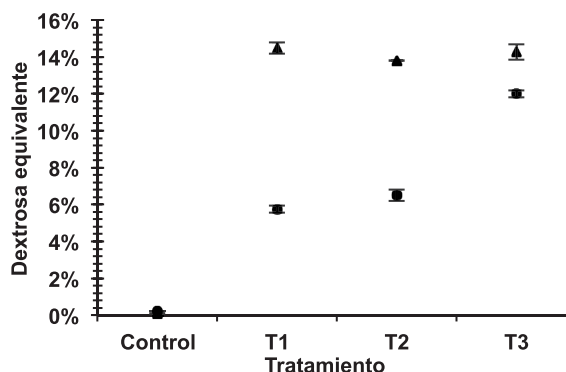
Formas sin relleno corresponden a actividad de agua.

mente. El menor contenido de humedad fue generado a temperatura de secado de 130°C. La a_w y el CH de materiales alimenticios son parámetros importantes que permiten predecir los cambios en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas que pueden ocurrir durante su almacenamiento y transformación [27, 28]. Para productos secados por aspersión, la a_w es un índice importante, ya que puede afectar en gran medida la vida útil del polvo producido [29, 30]. Productos con valores de a_w menores a 0,6 pueden ser considerados estables desde el punto de vista microbiológico y con valores entre 0,2 y 0,4 permiten asegurar que son estables frente a pardeamiento y reacciones hidrolíticas, oxidación lipídica, auto-oxidación, y actividad enzimática y enzimáticas [30, 31]. Lo anterior sugiere que la maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano son productos estables desde el punto de vista bioquímico, enzimático y microbiológico.

Formas sin relleno corresponden a actividad de agua

En la Figura 2 se presentan los resultados de DE, se obtuvieron valores para maltodextrina de cáscara de 14% \pm 0,004 para todos los tratamientos, mientras que el almidón no presentó niveles de dextrosa equivalente. Para maltodextrina de pulpa, se obtuvieron valores de DE entre 5,75% \pm 0,001 y 12,0% \pm 0,001, siendo la maltodextrina secada a 130°C la que tuvo el mayor porcentaje, por su parte, el almidón no presentó DE. Los resultados obtenidos presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) Los valores obtenidos fueron similares a los reportados por Bello-Pérez (2002), que oscilaron entre de 7-11 para maltodextrina producidas a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de plátano.

Figura 2. Dextrosa equivalente en almidón hidrolizado en Pulpa (▲) y cáscara (●) de plátano.



Los resultados obtenidos sugieren que hubo modificación del almidón por efecto de la hidrólisis enzimática, obteniéndose maltodextrina, dado que éstas últimas se caracterizan por tener un DE menor al 20% [32]. La dextrosa equivalente es el principal parámetro para definir el uso de la maltodextrina [32]; los valores de DE obtenidos en este trabajo a temperatura de 130°C podrían sugerir su posible potencial como coadyudante de secado por aspersión de frutas y verduras, según lo planteado por Matsuura *et al.* (2015), quienes reportan el uso de maltodextrina que contienen de 10 a 15 DE para dicho fin [32].

Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC)

En el Cuadro 1 se presentan los azúcares encontrados en los almidones modificados enzimáticamente. En los cromatogramas se encontró principalmente maltotriosa, maltosa y glucosa.

Se encontraron grandes áreas de maltotriosa en todos los tratamientos y diferencias significativas ($p < 0,05$). Para maltodextrina de pulpa se presentó un aumento del área de maltotriosa desde 162,9 hasta el 222,1%, siendo la maltodextrina secada a 120°C (T2) la que presentó una mayor área de maltotriosa. Comportamiento contrario se presentó para maltodextrina de cáscara, debido a que para los tratamientos T2 y T3 (muestras secadas a 120 y 130°C) se observó un descenso del 6,3 y 8,7% del área de este compuesto, respectivamente, mientras que para la muestra secada a menor temperatura (T1) se presentó un aumento del 0,5%. Para la maltosa, también se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre almidón y maltodextrina (p -valor=0). Se obtuvo una reducción del área de maltosa para maltodextrina de pulpa en un

Cuadro 1. Azúcares componentes de las maltodextrinas.

Muestra	Áreas de azúcares presentes en las muestras						
	% A	ΔA (%)	% B	ΔB (%)	% C	ΔC (%)	
1	C1	86,8	0,0	3,8	0,0	0,8	0,0
	T1	87,3	0,5	4,3	14,6	0,5	-41,0
	T2	81,3	-6,3	6,9	83,8	0,3	-65,4
	T3	79,2	-8,7	5,6	48,4	0,2	-76,9
2	C2	29,3	0,0	9,8	0,0	5,3	0,0
	T1	77,0	162,9	6,9	-29,9	0,3	-95,0
	T2	94,3	222,1	1,3	-86,7	0,1	-98,6
	T3	92,6	216,3	1,3	-86,5	0,4	-93,1

Cáscara (1) y pulpa de plátano (2) para los tratamientos evaluados, expresados en % de área (A: Maltotriosa; B: Maltosa; C: Glucosa).

rango entre 29,9% y 86,7%. De otra parte, para maltodextrina de pulpa, las áreas de la maltosa aumentaron tras el proceso de hidrólisis, variando con respecto al control entre 14,6 y 83,8%. Para ambos tipos de maltodextrina, el mayor cambio de área se evidenció para las muestras secadas a 120°C. Con respecto a las áreas de glucosa, los resultados obtenidos muestran diferencias altamente significativas entre las muestras con y sin tratamiento enzimático (Valor p=0). Se observa la reducción del área de glucosa para todas las muestras. Los tratamientos que permitieron la mayor variación del compuesto fueron T3 para la maltodextrina de cáscara y T2 para la de pulpa, con una disminución de 76,9 y 98,6%, respectivamente. Los altos valores de maltotriosa, seguido de la maltosa se deben a que durante la hidrólisis, la enzima α -amilasa corta la cadena de los polímeros amilosa y amilopectina en cadenas de tamaño regular, que dan como resultado maltotriosa, maltosa y dextrinas. La poca presencia de glucosa es debida a que para su producción es necesaria una fase de sacarificación donde interviene la enzima amiloglicosidasa [33].

Análisis de color

Los valores de luminosidad, croma, ángulo de tono y cambio de color se presentan en el Cuadro 2. En la Figura 3, se muestran los cambios encontrados para estos parámetros.

Se observa que la luminosidad de la maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano aumentaron con respecto a los controles, lo que muestra que el secado por as-

Cuadro 2. Valores medios de Luminosidad. W

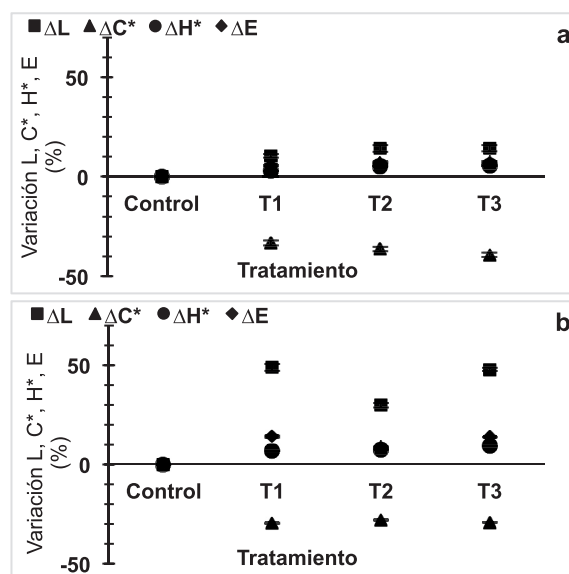
Muestra	Tratamiento	Lo*	L*	Co*	C*	Ho*	H*
1	C1	28,1	28,1	9,3	9,3	70,9	70,9
	T1	28,1	41,8	9,3	6,5	70,9	75,7
	T2	28,1	36,4	9,3	6,7	70,9	76,2
	T3	28,1	41,5	9,3	6,5	70,9	77,4
2	C2	40,2	40,2	11,0	11,0	74,5	74,5
	T1	40,2	44,4	11,0	7,3	74,5	76,7
	T2	40,2	45,9	11,0	7,0	74,5	78,4
	T3	40,2	46,0	11,0	6,7	74,5	78,7

(L*), Croma (C*), Ángulo de tono (H*) y Cambio de color (ΔE^*) para las maltodextrinas de cáscara (1) y pulpa (2) a diferentes tratamientos y sus respectivos controles C1 y C2 (almidón de cáscara y de pulpa).

persión bajo las temperaturas evaluadas favorece la obtención de productos más claros que los almidones. Aunque no hay diferencias estadísticamente significativas entre los cambios de luminosidad, se muestra un mayor cambio para el tratamiento 3 ($\Delta L^* = 14,3\%$). En maltodextrina de cáscara, se muestra un mayor cambio de luminosidad para el tratamiento 1 ($\Delta L^* = 48,7\%$).

Los valores de croma indican que el color en las muestras de almidón hidrolizado es menos intenso que en el no hidrolizado (control) y por tanto más puro. No se

Figura 3. Cambios en parámetros de color por efecto del tratamiento enzimático de almidón.



Pulpa (a), y cáscara de plátano (b).

evidencian diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Los cambios de esta variable en maltodextrina de pulpa oscilaron entre -33,25 y -39,32% mientras que para maltodextrina de cáscara los cambios presentados estuvieron entre -28,04 y -29,65%. Los mayores cambios de cromatismo se encontraron en el tratamiento 3, lo que indica que a una mayor temperatura de secado (130°C) se obtiene un color menos intenso que los almidones.

Con respecto al ángulo de tono, se muestra un incremento por efecto del tratamiento enzimático y está ubicado en el primer cuadrante según CIELAB, indicando coloraciones entre rojo y amarillo, inclinándose más hacia este último. Los cambios en este parámetro variaron entre 2,94 y 5,58% y 6,81 y 9,13%, en pulpa y cáscara respectivamente.

En referencia al cambio de color, se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (valor $p=0$), encontrándose un menor cambio en maltodextrina de pulpa (5,6 y 7,2%), comparado con cáscara (8,8 y 14,0%). Se reporta un cambio de color de maltodextrina de plátano promedio de 5,8 [25], variación similar a la obtenida para las maltodextrinas de pulpa. El tratamiento que reflejó un mayor cambio de color en maltodextrina de cáscara fue el de 110°C, mientras que en maltodextrina de pulpa fue el de 130°C. La alteración del color se debe a la modificación de las características de la superficie del producto por efecto del secado [34].

Los tratamientos 1 y 3 permitieron obtener los mejores resultados para los parámetros de color determinados. Aunque algunas investigaciones reportan un cambio negativo en el color de productos secados con aire caliente debido a las altas temperaturas a las que se someten durante el proceso de secado [35], la maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano presentaron un cambio de color favorable en comparación al color de los almidones, obteniéndose muestras más claras, de menor intensidad y agradables a la vista, ello posiblemente a que el secado por aspersión aunque maneja altas temperaturas, son cortos los tiempos de contacto de los productos con el aire caliente. Estos parámetros de color son muy importantes para evaluar la posible aplicación de estos tipos de maltodextrina en alimentos [25].

Análisis reológico

Los parámetros obtenidos para la prueba reológica en los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros determinados a través de las pruebas reológicas de las maltodextrinas.

Muestra		Tg (°C)	μ_i (Pa.s)	μ_m (Pa.s)	μ_f (Pa.s)
1	C1	65,000	0,011	0,800	1,180
	T1	86,500	0,014	0,013	0,017
	T2	84,000	0,012	0,011	0,013
	T3	81,500	0,011	0,011	0,013
2	C2	74,000	0,011	1,740	2,520
	T1	76,900	0,013	0,011	0,015
	T2	79,500	0,014	0,015	0,018
	T3	65,500	0,029	0,017	0,020

Cáscara (1) y pulpa de plátano (2). Tg: Temperatura de gelatinización; μ_i : viscosidad inicial; μ_m : viscosidad máxima; μ_f : viscosidad final.

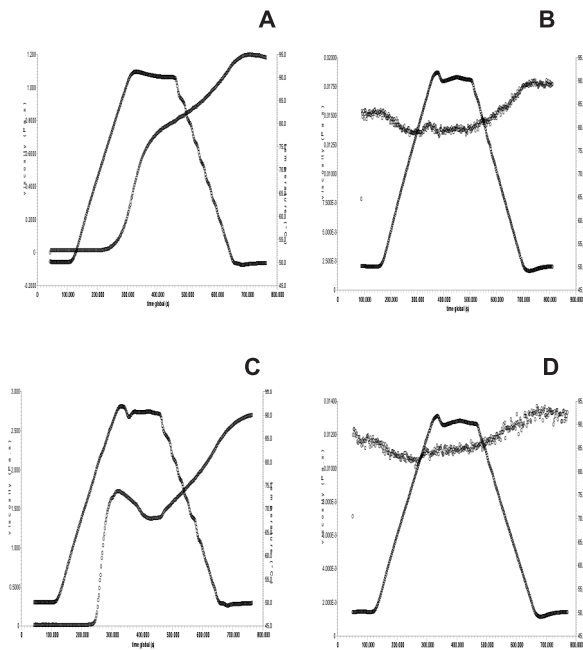
Se observa que para los almidones de cáscara y pulpa de plátano la temperatura de gelatinización es de 65 y 74°C, respectivamente.

Temperaturas de gelatinización similares a la de almidón de cáscara se han reportado para los almidón de maíz con valores entre 66 y 73 °C en función de la concentración de sacarosa [13]. Los valores de temperatura de gelatinización más altos representan una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, generalmente asociada a un mayor contenido de amilosa. La viscosidad final muestra un incremento relacionado con el enfriamiento de los almidones y se asocia con el fenómeno de retrogradación y con el contenido de amilosa [36].

En la Figura 4, se muestran los viscoamilogramas típicos obtenidos para almidones de cáscara y pulpa de plátano (A y C, respectivamente) y para maltodextrinas de cáscara y pulpa de plátano (B y D, respectivamente). Se observa un aumento de la viscosidad de los almidones en la etapa de calentamiento, este incremento es debido al hinchamiento que sufren los gránulos de almidón al estar sometidos a una temperatura de calentamiento, según se reporta en la literatura, los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata [36].

Por su parte, no se evidencia en los viscoamilogramas para ninguna de las maltodextrinas un comportamiento similar a los almidones; debido a que no hay incremento de la viscosidad durante la etapa de calentamiento, por efecto del cambio de estructura en los almidones generado por la hidrólisis enzimática.

Figura 4. Viscoamilogramas característicos para almidón y maltodextrina.



Cáscara de plátano (A y B, respectivamente) y de almidón y maltodextrinas obtenidas de pulpa de plátano (C y D, respectivamente).

CONCLUSIONES

El tratamiento enzimático con alfa amilasa generó efecto significativo sobre las propiedades químicas y reológicas de almidón obtenido a partir de pulpa y cáscara de plátano. La aplicación de este tratamiento podría generar una alternativa de uso para subproductos de pulpa y cáscara de plátano.

El proceso de secado convectivo no es adecuado para la obtención de maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano. El incremento en la temperatura de secado por atomización generó disminución del contenido de humedad y actividad de agua, generando productos estables en almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al programa de semilleros de investigación de Colciencias por la financiación de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] SONG, M.B., TANG, L.P., ZHANG, X.L., BAI, M., PANG, X.Q. and ZHANG, Z.Q. Effects of high CO₂ treatment on green-ripening and peel senescence in banana and plantain fruits. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(5), 2015, p. 875-887.
- [2] OLOYEDE, O.O., OCHEME, O.B. and NURUDEEN, L.M. Physical, Sensory and Microbiological Properties of Wheat-Fermented Unripe Plantain Flour. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 2013, p. 123-129.
- [3] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2012. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Bogotá (Colombia): 2013, 294 p.
- [4] YUSUFU, P.A., MOSIKO, T.B. and OJUKO, O.O. Effect of Firm Ripe Plantain Fruit Flour Addition on the Chemical, Sensory and Microbial Quality of Fura Powder. *Nigerian Food Journal*, 32(1), 2014, p. 38-44.
- [5] WATERSCHOOT, J., GOMAND, S.V., DELCOUR, J.A. and GODERIS, B. Direct evidence for the non-additive gelatinization in binary starch blends: A case study on potato starch mixed with rice or maize starches. *Food Hydrocolloids*, 50, 2015, p. 137-144.
- [6] ZAIDUL, I.S.M., NODA, T., SHARIF, K.M., KARIM, A.A. and SMITH, R.L. Reduction of gelatinization temperatures of starch blend suspensions with supercritical CO₂ treatment. *The Journal of Supercritical Fluids*, 95, 2014, p. 499-505.
- [7] CHEN, W., ZHOU, H., YANG, H. and CUI, M. Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry*, 167, 2015, p. 180-4.
- [8] MOORE, S.A., AI, Y., CHANG, F. and JANE, J.L. Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. *Carbohydrate Polymer*, 115, 2015, p. 465-71.
- [9] CARLSTEDT, J., WOJTASZ, J., FYHR, P. and KOCHERBITOV, V. Understanding starch gelatinization: the phase diagram approach. *Carbohydrate Polymers*, 129, 2015, p. 62-69.
- [10] WANG, K., WAMBUGU, P.W., ZHANG, B., WU, A.C., HENRY, R.J. and GILBERT, R.G. The biosynthesis, structure and gelatinization properties of starches from wild and cultivated African rice species (*Oryza barthii* and *Oryza glaberrima*). *Carbohydrate Polymers*, 129, 2015, p. 92-100.

- [11] SCHWARTZ, J.M., LE BAIL, K., GARNIER, C., LLAMAS, G., QUEVEAU, D., PONTOIRE, B., SRZEDNICKI, G. and LE BAIL, P. Available water in konjac glucomannan–starch mixtures. Influence on the gelatinization, retrogradation and complexation properties of two starches. *Food Hydrocolloids*, 41, 2014, p. 71-78.
- [12] HUANG, J., ZHAO, L., MAN, J., WANG, J., ZHOU, W., HUAI, H. and WEI, C. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 78, 2015, p. 165-172.
- [13] LI, Q., LI, H. and GAO, Q. The influence of different sugars on corn starch gelatinization process with digital image analysis method. *Food Hydrocolloids*, 43, 2015, p. 803-811.
- [14] BELLO-PÉREZ, L.A. and PAREDES-LÓPEZ, O. Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 2009, p. 50-65.
- [15] HERNANDEZ-JAIMES, C., BELLO-PÉREZ, L.A., VERNON-CARTER, E.J. and ALVAREZ-RAMIREZ, J. Plantain starch granules morphology, crystallinity, structure transition, and size evolution upon acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymer*, 95(1), 2013, p. 207-13.
- [16] APARICIO-SAGUILÁN, A., AGUIRRE-CRUZ, A., MÉNDEZ-MONTEALVO, G., RODRIGUEZ-AMBRIZ, S.L., GARCIA-SUAREZ, F.J., PÁRAMO-CALDERÓN, D.E. and BELLO-PÉREZ, L.A. The effect of the structure of native banana starch from two varieties on its acid hydrolysis. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 2014, p. 381-386.
- [17] UTRILLA-COELLO, R.G., RODRIGUEZ-HUEZO, M.E., CARRILLO-NAVAS, H., HERNANDEZ-JAIMES, C., VERNON-CARTER, E.J., and ALVAREZ-RAMIREZ, J. In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of banana starches. *Carbohydrate Polymer*, 101, 2014, p. 154-62.
- [18] ESPINOSA-SOLIS, V., SANCHEZ-AMBRIZ, S.L., HAMAKER, B.R. and BELLO-PÉREZ, L.A. Fine structural characteristics related to digestion properties of acid-treated fruit starches. *Starch-Stärke*, 63(11), 2011, p. 717-727.
- [19] UDOMRATI, S. and GOHTANI, S. Tapioca maltodextrin fatty acid ester as a potential stabilizer for Tween 80-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 44, 2015, p. 23-31.
- [20] LI, Z., LIU, W., GU, Z., LI, C., HONG, Y. and CHENG, L. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 48, 2015, p. 189-196.
- [21] VIDOVIĆ, S.S., VLADIĆ, J.Z., VAŠTAG, Ž.G., ZEKOVIĆ, Z.P. and POPOVIĆ, L.M. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in Satureja montana dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technology*, 258, 2014, p. 209-215.
- [22] LARGO-ÁVILA, E., CORTÉS-RODRÍGUEZ, M. and CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 68(1), 2014, p. 7509-7520.
- [23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). Clasificación de plátano. Bogotá (Colombia): 1990.
- [24] TORRES-GRISALES, Y., MELO-SABOGAL, D.V. y TORRES-VALENZUELA, L.S. Alternativas de uso de subproductos para la funcionalización de alimentos. *Cap&Cua*, 13, 2014, p. 33-38.
- [25] BELLO-PÉREZ, L.A., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, L., MORENO-DAMIÁN, E. and TORO-VAZQUEZ, J.F. Laboratory scale production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch. *Acta Científica Venezolana*, 53, 2002, p. 44-48.
- [26] AMID, M. and ABD-ANAP, M.Y. Purification and characterisation of a novel amylase enzyme from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Food Chemistry*, 165, 2014, p. 412-8.
- [27] MOREIRA, R., CHENLO, F., TORRES, M.D., and VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 2008, p. 514-521.
- [28] AYALA-APONTE, A. Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isostérico en harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 2011, p. 88-96.
- [29] QUEK, S.Y., CHOK, N.K. and SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 2007, p. 386-392.
- [30] CALISKAN, G. and NUR-DIRIM, S. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 2013, p. 539-548.

- [31] MARQUES, L.G., FERREIRA, M.C. and FREIRE, J.T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 46(5), 2007, p. 451-457.
- [32] MATSUURA, T., OGAWA, A., TOMABECHI, M., MATSUSHITA, R., GOHTANI, S., LOON-NEOH, T. and YOSHII, H. Effect of dextrose equivalent of maltodextrin on the stability of emulsified coconut-oil in spray-dried powder. Journal of Food Engineering, 163, 2015, p. 54-59.
- [33] CHEETHAM, P. Aplicación de los enzimas en la industria. Manual de Biotecnología de las Enzimas. Madrid (España): Acribia, 1985, p. 269-368.
- [34] CHRANIOTI, C., NIKOLOUDAKI, A. and TZIA, C. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. Carbohydrate Polymer, 127, 2015, p. 252-63.
- [35] MORENO, D.C. y DÍAZ, A.C. Influencia de las temperaturas del proceso de secado por aire caliente en las características de calidad de tomate (*Lycopersicum esculentum*). Bogotá (Colombia): Memorias del Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo (ENID), 2012.
- [36] SUELY-MADRUGA, M., MEDEIROS DE ALBUQUERQUENE, F.S., ALVES-SILVA, I.R., SILVA DO AMARAL, D., MAGNANI, M. and QUEIROGA NETO, V. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. Food chemistry, 143, 2014, p. 440-445.