

# OXIDACIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO DE PLÁTANO PARA SU USO POTENCIAL EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES DE EMPAQUE BIODEGRADABLES: CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, TÉRMICA Y MORFOLÓGICA

Yunia Verónica García-Tejeda<sup>1</sup>, Paul Baruk Zamudio-Flores<sup>2\*</sup>, Luis Arturo Bello-Pérez<sup>1</sup>,  
Claudia Andrea Romero-Bastida<sup>1</sup>, Javier Solorza-Feria<sup>1</sup>

1) Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional. Km. 8.5 carretera Yautepec-Jojutla, Col. San Isidro, C.P. 62731 Yautepec, Morelos, México.

2) Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Cuauhtémoc, Fisiología y Tecnología de alimentos de la Zona Templada. Avenida Río Conchos s/n, Parque Industrial, Apartado postal 781, C.P. 31570, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Teléfono: 625 5812920, 21 y 70, Ext. 111. Correo electrónico: [pzamudio@ciad.mx](mailto:pzamudio@ciad.mx)

*Enviado: Diciembre de 2010; Aceptado:*

## RESUMEN

El almidón nativo de plátano es una materia prima importante para la elaboración de plásticos biodegradables, sin embargo, presenta ciertos inconvenientes como son el color y las bajas propiedades mecánicas que se obtienen de sus películas. Para superar estos inconvenientes se recurrió a la modificación química por oxidación, la cual produjo un blanqueamiento y una disminución de la viscosidad debido a la despolimerización. Se realizó un análisis térmico a los almidones blanqueados y mediante microscopía electrónica de barrido se observó que no se presentó una modificación estructural dentro del gránulo. Esto se comprobó mediante un análisis de espectroscopia de infrarrojo con transformada de *Fourier*. La oxidación con hipoclorito de sodio es un excelente recurso para eliminar las impurezas y para obtener un almidón blanqueado que puede ser utilizado en la elaboración de materiales plásticos de empaque biodegradables los cuales mediante el proceso de extrusión se podrían producir a nivel comercial.

**Palabras claves:** Modificación química, almidón de plátano, propiedades térmicas, viscosidad, materiales de empaque.

## ABSTRACT

Native banana starch is a raw material very important for the elaboration of biodegradable plastics, however, native starch has inconveniences as are the color and low mechanical properties that present their films. For overcome these disadvantages the oxidation by chemical modification was employed, it produced a bleaching and a decrease in the viscosity due a depolymerization. Thermal analysis was applied to bleached starches and scanning electronic microscopy was used to observed that these starches have not structural modification inside the granule and *Fourier* transformed infrared verified this situation. Process of oxidation with sodium hypochlorite is a excellent way for elimination of sludge and to obtain a blanched starch that it was use for the elaboration of biodegradable packaging plastics materials that through the extrusion process these will have manufacturing to commercial scale.

**Key words:** Chemical modification, banana starch, thermal properties, viscosity, packaging materials.

## 1. INTRODUCCIÓN

El fruto del plátano (género *Musa*, grupo AAA) es la más grande de las planta herbáceas en el mundo, crece abundantemente en muchos países en vías de desarrollo y como alimento es considerada una de las más importantes fuentes de energía para la gente que habita en las regiones humildes de muchos países, incluyendo a *México* [1]. Se considera una fruta climatérica y en *México* se consume cuando alcanza su estado de maduración. Debido a los malos manejos

postcosecha y a factores naturales como las inundaciones, sequías y el ataque de plagas se pierden grandes cantidades de esta fruta [2].

El almidón es el carbohidrato predominante en el fruto cuando este se encuentra en estado inmaduro y es el principal carbohidrato de la dieta humana [3]. Los almidones en su estado nativo tienen limitaciones en cuanto a su aplicación ya que son sensibles al pH, a la temperatura y a los esfuerzos cortantes extremos. Para mejorar sus características y diversificar sus aplicaciones, los almidones pueden modificarse por varios tratamientos [4,5]. El método de oxidación con hipoclorito de sodio es uno de los más antiguos para llevar a cabo el blanqueamiento de diversos materiales naturales como el almidón y la celulosa [6].

El almidón nativo del fruto de plátano presenta ciertas características físicas indeseables como el color, el cual se debe a las reacciones de oscurecimiento enzimático desencadenadas por las enzimas del tipo oxidasas como son la polifenol oxidasa [7]. El almidón nativo de plátano macho (*Musa paradisiaca* L.) presenta adecuadas propiedades de formación de película debido principalmente a su contenido de amilosa considerado como alto (35%) lo que repercute en la obtención de películas con mayores propiedades mecánicas [8].

Sin embargo, para aplicaciones prácticas no se considera adecuado el color que presentan estas películas, por lo que se ha recurrido a modificaciones químicas como la oxidación [9, 10], la cual, si se realiza en su forma más severa conduce a la oxidación de los grupos hidroxilo secundarios del C2, C3 y del grupo hidroxilo primario del C6 presente en la unidad de anhidroglucosa, oxidando estos grupos a grupos carbonilo (C=O) y posteriormente a grupos carboxilo (COOH) [11]. La oxidación de los grupos hidroxilo secundarios está acompañada por la hidrólisis del enlace glucosídico así como también por la abertura y el rompimiento de los anillos de anhidroglucosa [12].

En su forma ligera, la reacción de oxidación con hipoclorito de sodio realizada en medio alcalino solamente conduce a un blanqueamiento al reaccionar el cloro residual libre con los compuestos fenólicos que participan en el oscurecimiento enzimático, lo cual reduce las insaturaciones de los dobles enlaces y produce una decoloración [13, 14]. Comercialmente, las películas elaboradas de los materiales plásticos comunes se realizan mediante el proceso conocido como extrusión.

El objetivo del presente trabajo consistió en realizar una oxidación alcalina en su forma ligera (blanqueamiento) con el fin de eliminar las impurezas presentes en el almidón nativo de plátano macho y evaluar sus propiedades físicas, químicas, térmicas y morfológicas para poder sugerir su aplicación en películas degradables utilizando el proceso de extrusión.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales

**2.1.1. Materia prima.** Se emplearon plátanos machos (*Musa paradisiaca* L.) en estado fisiológico inmaduro con aspecto de color verde los cuales se adquirieron en la *Central de Abasto de Cuautla, Morelos (México)*.

### 2.2. Métodos

**2.2.1. Aislamiento del almidón.** El almidón de plátano se obtuvo mediante el método modificado de *Flores-Gorosquera et al.* [15].

**2.2.2. Oxidación del almidón.** Se realizó la oxidación del almidón con hipoclorito de sodio (NaOCl) utilizando una concentración del 3% de cloro activo, empleando el método propuesto por *Wang y Wang* [16].

**2.2.3. Análisis químico proximal de almidón.** La determinación del contenido de humedad, proteínas, cenizas y grasas del almidón nativo y oxidado, se basaron en las técnicas propuestas por la AOAC [17] y AACC [18].

**2.2.4. Determinación de almidón total.** El almidón total se determinó por el método de *Goñi et al.* [19].

**2.2.5. Determinación de amilosa aparente.** La determinación se realizó mediante el método descrito por *Hoover y Ratnayake* [20].

**2.2.6. Determinación del color.** Se utilizó un colorímetro universal *Milton Roy* (modelo color mate), con un iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°. El equipo se calibró con un estándar de color blanco. Se utilizó un portamuestras, en el cual se colocaron los almidones. Las lecturas se tomaron de puntos aleatorios sobre la superficie de la celda. Se registró un promedio de 5 lecturas por muestra. Las lecturas se reportaron en el sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Los parámetros de cromaticidad (C) y ángulo hue ( $^{\circ}h$ ) se calcularon aplicando las siguientes ecuaciones:

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$^{\circ}h = \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* > 0 \text{ y } b^* \geq 0 \quad (2)$$

$$^{\circ}h = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*) \text{ cuando } a^* < 0 \quad (3)$$

**2.2.7. Microviscoamilografía.** Para determinar los perfiles de consistencia y viscosidad (Unidades *Brabender*, UB) de las pastas de los almidones nativo y blanqueado de plátano, se utilizó la técnica propuesta por la AACC [18].

**2.2.8. Calorimetría diferencial de barrido (CDB).** Se utilizó un calorímetro diferencial de barrido (CDB) marca TA modelo 2010 (TA Instruments, *New Castle*, DE), conectado a una

computadora para el control y análisis de datos. El equipo se calibró con indio, el cual tiene un punto de fusión de 156,4°C y una entalpía de 6,8 cal.g<sup>-1</sup>. Se evaluó la temperatura de gelatinización de los almidones mediante el método propuesto por *Paredes-López et al.* [21].

**2.2.9. Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier.** Se analizaron los espectros de infrarrojo de las muestras de almidón nativo y blanqueado, utilizando un espectrofotómetro de infrarrojo (*Midac*, Series M, CA) equipado con un sistema de pastilla de KBr y sistema de reflectancia total atenuada a una temperatura de 25±2°C. Para cada muestra se colectaron 32 barridos con una resolución de 4 cm<sup>-1</sup> y de estos se obtuvo un valor promedio. Se trabajó en la región de 400 a 4.000 cm<sup>-1</sup>. De cada muestra se realizó un cuadruplicado.

**2.2.10. Microscopia electrónica de barrido de los almidones.** Para observar la morfología de los almidones se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB) (*JEOL JSMP 100, Tokio, Japón*). Los almidones se recubrieron con oro (40-50 nm) y se colocaron en el equipo para su observación. El equipo trabajó con un voltaje de 5 kV.

**2.2.11. Análisis estadístico.** Para observar el efecto del blanqueamiento se aplicó una prueba de *t-Student* a un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) utilizando el programa estadístico *Sigma-Stat*, versión 2,03 [22]. En todas las determinaciones se utilizó el almidón nativo como control.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**3.1. Composición química, almidón total y amilosa aparente.** La composición química del almidón nativo (AN) y oxidado (AO) se presenta en la Tabla 1. El contenido de humedad del AO fue de 7,2% y el AN presentó un valor de 9,0%, esta diferencia se debió a los distintos métodos de secado empleados en ambos almidones, en donde pudo ser más eficiente el secado por aspersión realizado al almidón nativo que el secado del almidón oxidado en la estufa a 40°C por 24 horas. En la muestra AN se cuantificaron valores de proteínas, lípidos y cenizas menores que los reportados por *Bello-Pérez et al.* [23].

En cuanto al contenido de almidón total se puede observar que no hubo diferencia significativa entre las muestras analizadas y este valor fue menor que el reportado por *Bello-Pérez et al.* [23] (1998) (98,1%). Esta diferencia se debe a que el almidón en la harina depende también del cribado y centrifugación de la suspensión antes del aislamiento del almidón. La composición química de la harina se alteró por las reacciones de degradación debidas a la oxidación, el contenido de almidón total después del blanqueamiento fue de 87,2%, aunque este aumento no fue significativo ( $p > 0,05$ ). Cuando el gránulo de almidón estuvo en contacto con el agente oxidante

(hipoclorito de sodio), sus componentes superficiales como son proteínas, enzimas y pigmentos, pudieron degradarse primero. Posteriormente la oxidación tomó lugar en la amilosa y en los lípidos presentes y después en las cadenas largas de la amilopectina presentes en la región amorfa [24].

Tabla 1. Composición química de los almidones nativo (AN) y oxidado de plátano (AO)<sup>1</sup>.

Análisis (%)	AN	AO
Humedad	7,17 ± 0,17 <sup>a</sup>	9,04 ± 0,34 <sup>b</sup>
Ceniza	0,27 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,02 <sup>a</sup>
Grasa	0,35 ± 0,01 <sup>a</sup>	ND
Proteína	1,06 ± 0,00 <sup>a</sup>	ND
Almidón total	85,04 ± 0,01 <sup>a</sup>	87,17 ± 1,48 <sup>a</sup>
Amilosa aparente	32,74 ± 0,31 <sup>a</sup>	14,44 ± 0,39 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar. Letras iguales en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). ND = No se detectaron en el análisis.

La reacción de oxidación, propició la disminución del contenido de amilosa aparente de 33 a 14%, lo cual se debió a que las cadenas cortas producidas durante la despolimerización no formaron complejos con el yodo algo que es fundamental para la cuantificación de amilosa aparente [25]. El contenido de cenizas no aumentó significativamente ( $p > 0,05$ ) con la modificación mientras que la ausencia de lípidos y proteínas se debió a que durante el proceso de blanqueamiento se llevó a cabo una oxidación parcial, lo cual redujo el peso molecular de estas sustancias las cuales se perdieron durante los lavados [26].

**3.2. Medición de color en los almidones.** La evaluación de color en el almidón nativo (AN) y oxidado (AO) se muestra en la Tabla 2. La variable L\* (valor de luminosidad) caracterizó la blancura en los almidones, y este valor fue de 81.3 en AN, siendo ligeramente menor al reportado por Zamudio-Flores et al. [10], el blanqueamiento aumentó el valor L\* a 94,7 en la muestra AO, el cual es similar al reportado por Sánchez-Rivera et al. [2] a la concentración de 1,75% de cloro activo.

Cuando se realizó el tratamiento de blanqueamiento a la muestra AN, se observó una disminución en la coordenada *a* (valor de tonalidad roja, de 4,3 a 0,3), y en la coordenada *b* (valor de tonalidad amarilla, de 10 a 5,7) indicando que el tratamiento eliminó los pigmentos presentes en el almidón nativo. Lo anterior se evidenció de manera notable cuando se determinó el valor del ángulo hue (°h) y del croma (C), los cuales indican la tonalidad del color y la intensidad o

saturación del mismo. El valor de  $^{\circ}h$  aumentó de 66,9 para AN hasta 87,2 para la muestra AO, mientras que el valor de croma disminuyó de 10,9 a 5,8. Un  $^{\circ}h$  de 90 es indicativo del color amarillo puro y un valor de (C) cercano a 0 representa una tendencia al color blanco [27-30]. En el caso particular del almidón de plátano, se cree que las formas de cloro residual libre, ya sea como ácido hipocloroso (HOCl), ión hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) ó cloro molecular (Cl<sub>2</sub>) reaccionan con los compuestos fenólicos que participan en el oscurecimiento enzimático en frutas, al introducirse en las moléculas, reduciendo las instauraciones de los dobles enlaces, produciendo una decoloración y eliminando estos compuestos en la mezcla de reacción [13, 14]. Se concluye entonces, que el tratamiento de blanqueamiento con NaOCl, produjo disponibilidad de cloro residual el cual reaccionó con los pigmentos del almidón (carotenos, xantofilas y compuestos relacionados) [31].

Tabla 2. Parámetros de color de los almidones nativo (AN) y oxidado (AO)<sup>1</sup>.

Muestra	L*	a*	b*	$^{\circ}h$	C
AN	81,33 ± 0,11 <sup>a</sup>	4,29 ± 0,05 <sup>a</sup>	10,07 ± 0,09 <sup>a</sup>	66,93 ± 0,20 <sup>a</sup>	10,95 ± 0,1 <sup>a</sup>
AO	94,73 ± 0,29 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,02 <sup>b</sup>	5,74 ± 0,25 <sup>b</sup>	87,21 ± 0,10 <sup>b</sup>	5,75 ± 0,26 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Media aritmética de tres determinaciones ± error estándar. Letras diferentes dentro de la misma columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

**3.3. Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (EITF).** En la Figura 1 se muestra el espectro de absorción de EITF del almidón nativo (AN) y oxidado al 3% de cloro activo (AO), en el intervalo de número de onda de 4.000-400 cm<sup>-1</sup>. Para la muestra AN, se observó una banda amplia de 3.733-3.000 cm<sup>-1</sup>, en donde el máximo de absorción se encontró a 3.377cm<sup>-1</sup>, lo cual se atribuyó a los esfuerzos de tensión vibracionales asociados con los enlaces libres, inter- e intramoleculares de los grupos hidroxilos del almidón [32].

Las bandas de absorción a 2.923, 1.411, 1.350 cm<sup>-1</sup>, se debieron a vibraciones de tensión entre C-H y flexión de metileno, respectivamente. La banda a 1.635 cm<sup>-1</sup> se debió a una vibración de flexión de H-O-H del H<sub>2</sub>O, lo cual indicó que el polímero es higroscópico [33]. Las bandas pequeñas de los tres picos a 1.149, 1.080 y 1.010 cm<sup>-1</sup>, fueron características de los polisacáridos [34] y se atribuyeron a las deformaciones de tensión de los enlaces C-O-C de los anillos glucosídicos.

En términos generales el espectro de AO fue similar al de AN ya que no se observaron cambios visibles en 3.377 cm<sup>-1</sup> ni tampoco en la banda de absorción a 1.720 cm<sup>-1</sup> (característica de grupos C=O) y no se observó la formación de grupos COO<sup>-</sup> (carboxilo) a los números de ondas de

1.600 y 1.400  $\text{cm}^{-1}$  [35]. Estos resultados demuestran que solamente se logró un blanqueamiento del almidón nativo y no se llevó a cabo una completa oxidación.

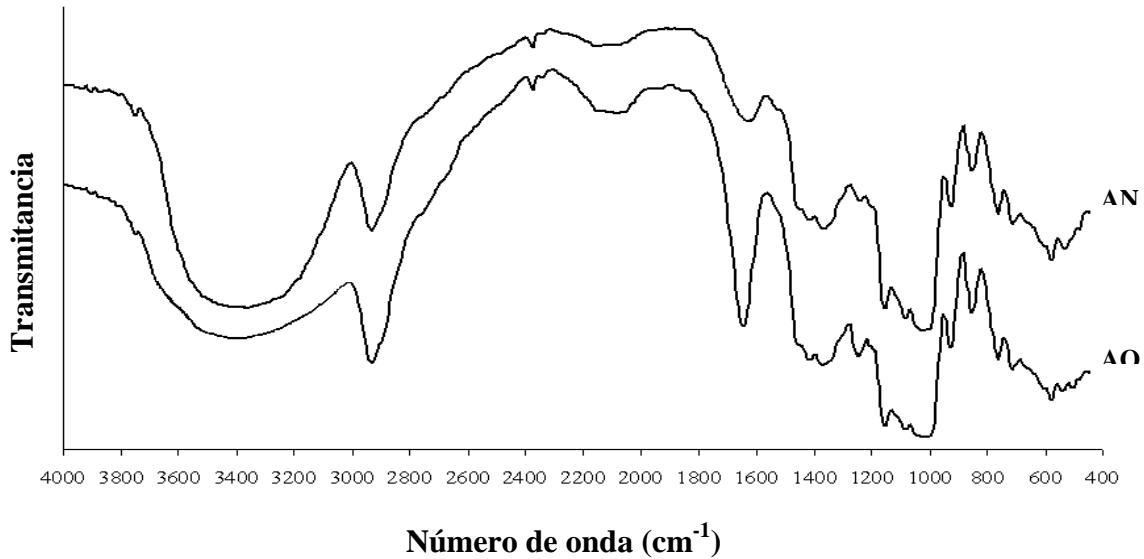


Figura 1. Espectroscopia de infrarrojo con transformada de *Fourier* del almidón nativo (AN) y oxidado (AO).

**3.4. Perfil amilográfico de los almidones.** Las propiedades de formación de pasta del almidón nativo (AN) y oxidado (AO) de plátano, se muestran en la Figura 2, en donde se obtuvo una viscosidad de pico de 3.113 y 703.5 UB, para el AN y AO, respectivamente.

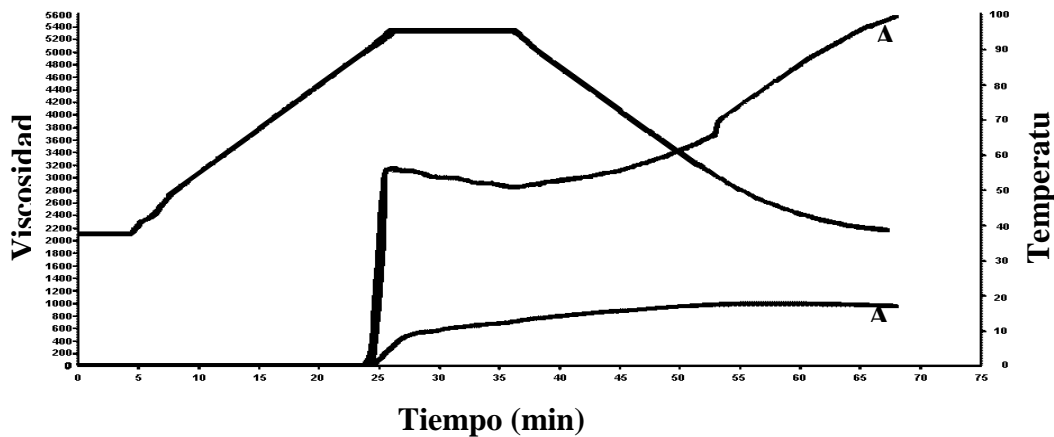


Figura 2. Perfil amilográfico del almidón nativo (AN) y del almidón oxidado (AO).

Como puede observarse, en la muestra AO se presentó una disminución en la viscosidad debido a la ruptura de enlaces glucosídicos (despolimerización) del almidón y por consiguiente se redujo el peso molecular de los componentes estructurales lo que provocó la disminución de la capacidad de hinchamiento de los gránulos de AO [36]. El almidón despolimerizado no fue



resistente al esfuerzo cortante (cizalla) y debido a ello no pudo mantener la integridad del gránulo de almidón, por lo tanto se obtuvo una menor viscosidad.

Sánchez-Rivera et al. [11] reportaron un comportamiento similar en muestras de almidón de plátano oxidado a diferentes condiciones de reacción. La viscosidad en la etapa de disociación del AN fue en promedio de 341,5 UB mientras que en AO no se observó. Cuando la pasta caliente se enfrió, se presentó un aumento en la viscosidad del AN (933,5 UB) la cual se debió a la tendencia a reorganizarse de los fragmentos lineales de amilosa disueltos, sin embargo en la muestra AO esto no ocurrió debido a la despolimerización de estos fragmentos.

**3.5. Análisis morfológico.** En la Figura 3, se presentan las microfotografías de los gránulos de almidón nativo (AN) y oxidado (AO), los cuales presentaron un tamaño promedio aproximado de entre 60 y 13  $\mu\text{m}$ .

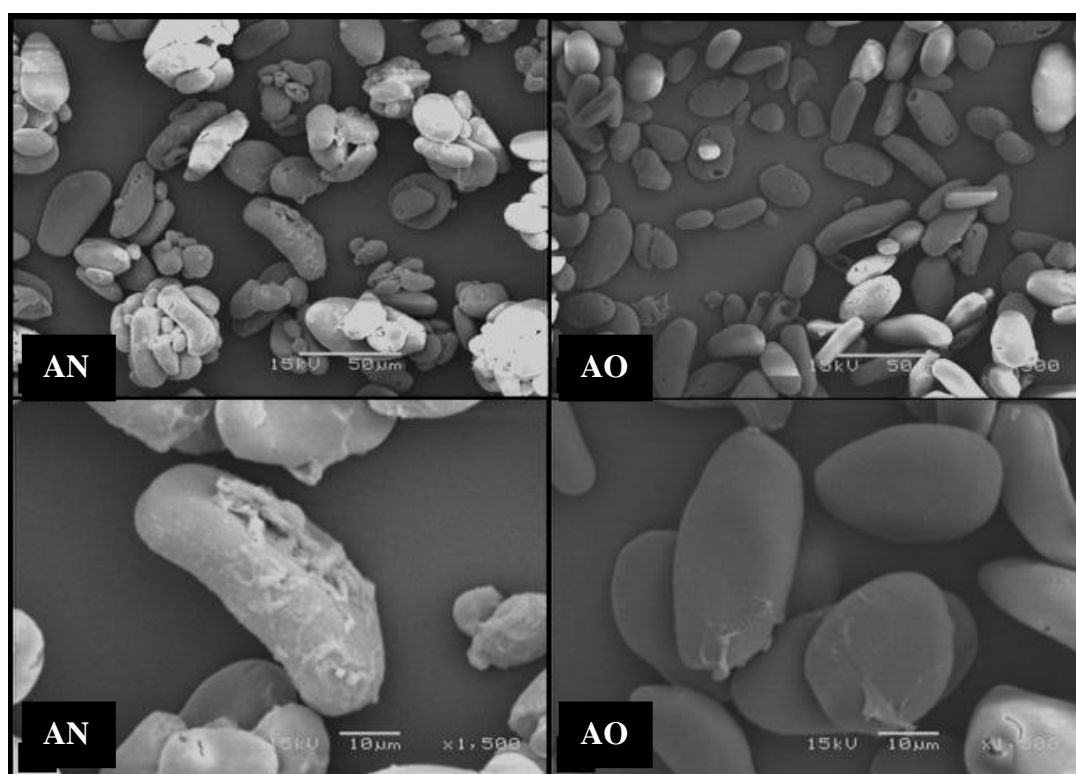


Figura 3. Microfotografías de almidón nativo (AN) y oxidado de plátano (AO).

Se observó que los gránulos de AN presentaron impurezas que pueden ser debidas a constituyentes que se encuentran en la superficie del gránulo como proteínas, lípidos y pigmentos [37]. Estas sustancias se eliminaron casi totalmente en la muestra AO (Tabla 1), esto concuerda con la ausencia de estos componentes (proteínas y lípidos) en la cuantificación química proximal del AO. En estas micrografías se observa que el tratamiento de oxidación con hipoclorito de sodio en medio alcalino mostró ser una modificación efectiva para eliminar las impurezas presentes en el



almidón nativo de plátano, lo que condujo a obtener un material blanco (Tabla 2).

**3.6. Análisis térmico.** Para observar el efecto del blanqueamiento en el almidón se determinaron las propiedades térmicas en el almidón nativo (AN) y oxidado (AO). Como se observa en la Tabla 3, se presentó una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ) en la temperatura de inicio ( $T_i$ ) y en la temperatura de pico de gelatinización ( $T_p$ ), mientras que no se observó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la temperatura final de gelatinización ( $T_f$ ) y en la entalpía de fusión ( $\Delta H$ ) de ambos almidones. La misma tendencia se observó por *Kuakpetoon* y *Wang* [24] en almidón de maíz ceroso oxidado al 0,8 y 2% de NaOCl, pero al 5% observaron una disminución en  $\Delta H$ . Solamente se determinó la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) en AO (63,6°C), la cual no se observó en la muestra AN. *Maurice et al.* [38] mencionan que la entalpía de transición puede solaparse con la endoterma de gelatinización lo que sucedió con el almidón nativo de plátano.

Tabla 3. Variables térmicas de los almidones nativo (AN) y oxidado (AO)<sup>1</sup>.

Muestra	$T_i(^{\circ}C)$	$T_p(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	$T_g(^{\circ}C)$	$\Delta H (J/g)$
AN	73,0 ± 0,06 <sup>a</sup>	78,8 ± 0,03 <sup>a</sup>	86,7 ± 0,25 <sup>a</sup>	ND	11,4 ± 0,19 <sup>a</sup>
AO	72,6 ± 0,06 <sup>b</sup>	77,9 ± 0,04 <sup>b</sup>	86,2 ± 0,49 <sup>a</sup>	63,6 ± 0,46	12,4 ± 0,43 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar. Letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).  $T_i$  = temperatura de inicio de gelatinización;  $T_p$  = temperatura de pico de gelatinización;  $T_f$  = temperatura final de gelatinización;  $\Delta H$  = entalpía de gelatinización; ND = No se detectó en el análisis.

*Kuakpetoon* y *Wang* [24] reportaron que además del blanqueamiento, se lleva a cabo la oxidación, la cual se realiza en la lamela amorfa del gránulo de almidón y que la disminución en la  $T_i$ , esta relacionada con la disminución de la  $T_g$ . En la presente aportación, puede ser que el agente oxidante sólo haya penetrado en las regiones amorfas del almidón y disminuido la  $T_g$  del mismo, lo cual se relacionó con la disminución de la  $T_i$  y  $T_p$ . Al no haber diferencia en la variable térmica  $\Delta H$  de los almidones significó que la oxidación no dañó la lamela cristalina del almidón.

## CONCLUSIONES

La modificación por oxidación realizada en medio alcalino resultó ser un método efectivo de blanqueamiento para el almidón nativo de plátano macho ya que eliminó las impurezas presentes. Esto se corroboró con el análisis químico proximal, la evaluación física de color y el análisis morfológico. La espectroscopia de infrarrojo con transformada de *Fourier* no indicó la formación de grupos carbonilo ni carboxilo, lo cual sugirió que solamente se realizó un blanqueamiento sin

que se realizara una modificación química de los grupos hidroxilo pero si se provocó una despolimerización de las moléculas lo cual se observó en el perfil amilográfico y en el análisis térmico de las muestras. Mediante el proceso de extrusión se podrían producir materiales de empaque como películas a nivel comercial y con esto se le otorgaría valor agregado a este fruto.

**Agradecimientos.** Yunia Verónica García Tejeda agradece la beca de maestría del CONACYT y la beca PIFI-COFAA del IPN.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Waliszewski KN, Aparicio MA, Bello LA, Monroy JA “Changes of banana starch by chemical and physical modification”, *Carbohydr. Polym.*, **52**, 237 (2003)
- [2] Sánchez-Rivera MM, García-Suárez FJL, Velázquez del Valle M, Gutiérrez-Meraz F, Bello-Pérez LA “Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite”, *Carbohydr. Polym.*, **62**, 50 (2005)
- [3] Skarabanja V, Liljerberg HGM, Hedley CL, Kreft I, Björck IME “Influence of genotype and processing on the *in vitro* rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.)”, *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 2033 (1999)
- [4] Rivas-González M, Méndez-Montealvo MGC, Sánchez-Rivera MM, Núñez-Santiago MC, Bello-Pérez LA “Caracterización morfológica, molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y lintnerizado”, *Agrociencia*, **42**, 487 (2008)
- [5] Thirathumthavorn P, Charoenrein S “Thermal and pasting properties of acid-treated rice starches”, *Starch-Starke*, **57**, 217 (2005)
- [6] Rutenberg MW, Solarek D, “Starch derivatives: Production and uses”, en Wistler RL, BeMiller JN, Paschall EF (editores) “*Starch Chemistry and Technology*”. New York (USA): Academic Press, 1984, p. 311-366
- [7] Prota G “Progress in the chemistry of melanin and related metabolites”, *Med. Res. Rev.* **8**, 525 (1988)
- [8] Romero-Bastida CA, Bello-Pérez LA, García MA, Martino MN, Solorza-Feria J, Zaritzky NE “Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches”, *Carbohydr. Polym.*, **60**, 235 (2005)
- [9] Zamudio-Flores PB, Vargas-Torres A, Pérez-González J, Bosquez-Molina E, Bello-Pérez LA “Films prepared with oxidized banana starch: mechanical and barrier properties”, *Starch-Starke*, **58**, 274 (2006)
- [10] Zamudio-Flores PB, Bello-Pérez LA, Vargas-Torres A, Hernández-Uribe JP, Romero-Bastida CA “Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano”, *Agrociencia*, **41**, 837 (2007)
- [11] Sánchez-Rivera MM, Méndez-Montealvo G, Núñez-Santiago C, de la Rosa-Millán J, Wang Y-J, Bello-Pérez LA “Physicochemical properties of banana starch oxidized under different conditions” *Starch-Starke*, **61**, 206 (2009)
- [12] Chang PS, Robyt JF “Oxidation of primary alcohol groups of naturally occurring polysaccharides with 2,2,6,6-tetra-methyl-1-piperidine oxoammonium ion”, *J. Carbohydr. Chem.*, **15**, 819 (1996)
- [13] Floor A, Kieboom APG, Delft HB “Preparation and calcium complexation of oxidized polysaccharides”, *Starch-Starke*, **41**, 348 (1989)
- [14] Hebeish A, El-Thalouth IA, Refai R, Dokki AR “Synthesis and characterization of hypochlorite oxidized starches”, *Starch-Starke*, **41**, 293 (1989)
- [15] Flores-Gorosquera E, García-Suárez FJ, Flores-Huicochea E, Núñez-Santiago MC, González-Soto RA, Bello-Pérez LA “Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto”, *Acta Cient. Venez.*, **55**, 86 (2004)
- [16] Wang YJ, Wang L “Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite”, *Carbohydr. Polym.*, **53**, 207 (2003)
- [17] AOAC, *Official Methods of Analysis*, 18<sup>th</sup> edition. Gaithersburg, MA (USA): Association of Official Analytical Chemists, 2005, Chapter 4: 33-36 and 40-42; chapter 32:1
- [18] AACC, *Approved Methods of the AACC*, St. Paul, MN (USA): American Association of Cereals Chemists, 2000
- [19] Goñi I, García-Alonso A, Saura-Calixto F “A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index”, *Nutr. Res.*, **17**, 427 (1997)

- [20] Hoover R, Ratnayake WS “Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada”, *Food Chem.*, **78**, 489 (2002)
- [21] Paredes-Lopez O, Bello-Pérez LA, López MG “Amilopectin: structural, gelatinization and retrogradation studies”, *Food Chem.*, **50**, 411 (1994)
- [22] Fox E, Shotton K, Ulrich C. *Sigma-Stat User's Manual (cd)*, San Rafael, CA., (USA): Jandel Scientific Co., 1995
- [23] Bello-Pérez LA, Pano Y, Agama-Acevedo E, Paredes-López O “Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches”, *Starch-Starke*, **50**, 409 (1998)
- [24] Kuakpetoon D, Wang Y-J “Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content”, *Carbohydr. Res.* **341**, 1896 (2006)
- [25] Bertoft E “On the nature of categories of chains in amylopectin and their connection to the super helix model”, *Carbohydr. Polym.*, **57**, 211 (2004)
- [26] Adebowale KO, Olu-Owolabi BI, Olawumi EK, Lawal OS “Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch”, *Ind. Crop. Prod.*, **21**, 343 (2005)
- [27] Arias R, Lee T-Ch, Logendra L, Janes H “Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content”, *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 1697 (2000)
- [28] Maguire GR “Reporting of objective color measurements”, *HortScience* **27**(12), 1254 (1992)
- [29] Sarna-Manchado P, Fulcrand H, Bouquet JM, Cheyrier V, Mountounet M “Stability and color of unreported wine anthocyanin-derived pigments”, *J. Food Sci.*, **61**(5), 938 (1996)
- [30] Shewfelt RL, Thai CN, Davis JW “Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures”, *J. Food Sci.*, **53**(5), 1433 (1988)
- [31] Thomas DJ, Atwell WA “*Starches: Practical Guides for the Food Industry*”. St. Paul, MN (USA), Eagan Press Handbook Series AACC, 1999, p. 31-48
- [32] Ma X, Yu J “The plasticizers containing amide groups for thermoplastic starch”, *Carbohydr. Polym.*, **57**, 197 (2004)
- [33] Zhang J, Wang Q, Wang A “Synthesis and characterization of chitosan-g-poly(acrylic acid)/attapulgit superabsorbent composites”, *Carbohydr. Polym.*, **68**, 367 (2007)
- [34] Ruiz-Avilés G “Obtención y caracterización de un polímero biodegradable de almidón de yuca”, *Ing. Cien.*, **2**, 1794 (2006)
- [35] Sugama T “Oxidized potato-starch films as primer coatings of aluminium”, *J. Mat. Sci.*, **32**, 3995 (1997)
- [36] Chavéz-Murillo CE, Wang Y-J, Bello-Pérez LA “Morphological, physicochemical and structural characteristics of oxidized barley and corn starches”, *Starch-Starke*, **60**, 634 (2008)
- [37] Buleón A, Colonna P, Planchot V, Ball S “Starch granules: structure and biosynthesis”, *Int. J. Biol. Macromol.*, **23**, 85 (1998)
- [38] Maurice TJ, Slade L, Sirett RR, Page CM “Polysaccharide-water interactions—thermal behavior of rice starch” en Simatos D y Multon SL (editores) “*Properties of Water in Foods*”. Holanda, Dordrecht, Nijhoff, 1985, p. 211-227