

# Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de mapuey blanco y morado (*Dioscorea trifida* L.) modificados por acetilación y oxidación

## Evaluation of physicochemical and functional properties of white and purple mapuey starches (*Dioscorea trifida* L.) modified by acetylation and oxidation

LIZET BOU RACHED<sup>1\*</sup>; FANNY PADILLA<sup>1</sup>; ALICIA M RINCÓN<sup>1</sup>

### Resumen

Almidones nativos obtenidos de dos variedades de mapuey, blanco y morado, fueron sometidos a tratamientos de acetilación y oxidación a fin de evaluar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, para diversificar su aplicabilidad de uso en la industria de alimentos, cosmética, farmacéutica, entre otras. Las micrografías de barrido electrónico de los gránulos de almidón mostraron que no hubo efecto de los tratamientos sobre la morfología. Los almidones presentaron un aumento de la solubilidad, poder de hinchamiento y absorción de agua al incrementar la temperatura, siendo el almidón acetilado de la variedad morada, el que presentó los mayores valores. El estudio viscoamilográfico mostró que la acetilación produjo un descenso en la temperatura de gelatinización en las dos variedades. La oxidación también ocasionó un descenso en la temperatura de gelatinización del almidón de mapuey blanco con respecto a su nativo (64,0 y 77,2 °C, respectivamente), mientras que en el almidón de mapuey morado este descenso no es significativo. Los gránulos de almidón acetilados, variedades blanco y morado resultaron más frágiles, mostrando valores más altos de «breakdown» (2433 y 2658, respectivamente), por tanto resultan de más fácil cocción. Todos los almidones evaluados presentaron baja tendencia a la retrogradación, siendo los acetilados los que presentan los valores menores, por lo que podrían ser útiles en sistemas alimenticios refrigerados o congelados.

**Palabras clave:** *Dioscorea trifida*, almidón acetilado, almidón oxidado, propiedades fisicoquímicas, propiedades viscoamilográficas.

### Abstract

Native starches obtained mapuey two varieties, white and purple, were subjected to acetylation and oxidation treatments to assess their physicochemical properties and functional, to diversify its applicability for use in the food industry, cosmetics, pharmaceutical and other industries. Scanning electron micrographs of starch granules showed no effect of treatment on morphology. The starches showed increased solubility, swelling capacity and water absorption with increasing temperature, with the acetylated starch variety purple, which showed the highest values. The viscoamylographs study showed that acetylation was a decrease in gelatinization temperature in the two varieties. Oxidation also caused a decrease in gelatinization temperature of starch white mapuey regarding their native (64.0 and 77.2 °C respectively), whereas the starch from purple mapuey this decrease is not significant. The acetylated starch granules, white and purple varieties were more fragile, showing higher values of «breakdown» (2433 and 2658, respectively) are therefore easier to cooking. All starches evaluated showed low tendency to retrogradation, with the acetylated those with lower values, so that systems could be useful in refrigerated or frozen food.

**Key words:** *Dioscorea trifida*, acetylated starch, oxidized starch, physicochemical, viscoamylographs properties.

<sup>1</sup> Unidad de Investigación Análisis de Alimentos. Facultad de Farmacia. Universidad Central de Venezuela.

\* Autor a quien dirigir la correspondencia: email: lizbou67@hotmail.com

## Introducción

El almidón es una de las sustancias más ampliamente distribuidas en el reino vegetal y la principal fuente de carbohidratos en los vegetales. Se encuentra en diversas partes de las plantas y puede ser fácilmente aislado de semillas, frutas, hojas, tubérculos y raíces (Joblin, 2004; Singh y Singh, 2005). En los alimentos el almidón es empleado debido a sus propiedades espesantes y gelificantes, representando una materia prima óptima para regular y estabilizar sistemas alimenticios (Betancur-Ancona y col., 1997); sin embargo, la estructura nativa del almidón puede ser menos eficiente, producto de las condiciones del proceso (por ej. temperatura, pH y presión), reduciendo su uso en aplicaciones industriales, debido a la baja resistencia a fuerzas de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Bello-Pérez y col., 2002). Estas características no deseables pueden ser eliminadas o reducidas modificando la estructura nativa de los almidones mediante métodos químicos, físicos y enzimáticos, dando origen a numerosos derivados del almidón, los cuales permiten ampliar su aplicación y llegar a ser factores de gran importancia en el campo de los alimentos (Lawal y col., 2005). La modificación química es el tipo más común de modificación del almidón, siendo algunos de los mecanismos más usados la derivación vía éter o formación de éster, oxidación de los grupos hidroxilo a grupos carbonilo o carboxilo y la hidrólisis de enlaces glucosídicos (Thomas y Atwell, 1999). Estos almidones generalmente muestran mejor claridad de pasta y estabilidad, menor tendencia a la retrogradación y aumento en la estabilidad al congelamiento-descongelamiento (Bello-Pérez y col., 2002).

Desde hace algún tiempo se ha venido estudiando la incorporación en productos alimenticios, de materias primas no convencionales, provenientes de raíces y tubérculos de origen local, que sean de importancia comercial y nutricional. El mapuey (*Dioscorea trifida*) es un cultivo no tradicional que pertenece a la familia Dioscoreaceae. El género *Dioscorea* comprende muchas especies distribuidas en su totalidad en la zona húmeda intertropical. Venezuela ha sido señalada como uno de los principales países productores de este rubro en el mundo. El ñame (nombre común de las Dioscoreas) es por excelencia un cultivo con alto contenido en carbohidratos, debido a sus raíces tuberosas ricas en almidón (Vizcarrondo y col., 2004). Algunos estudios preliminares (Rincón y col., 1999; Rincón y Padilla, 2004; Bou Rached y col., 2006; Rincón y col., 2007), se han orientado a evaluaciones sistemáticas de almidones tropicales

no convencionales. La presente investigación es la continuación de una evaluación integral de los almidones de mapuey. Su importancia radica en evaluar el efecto de dos modificaciones químicas, acetilación y oxidación, sobre algunas propiedades fisicoquímicas y amilográficas de los almidones de mapuey (variedad blanca y morada).

## Materiales y métodos

Los tubérculos de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado fueron adquiridos en diferentes mercados locales (Caracas y Cumaná, respectivamente). Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico. Se utilizó amilosa de papa estándar, tipo III (Sigma).

Aislamiento de los almidones de mapuey variedades blanco y morado, de acuerdo a la metodología descrita por Rincón y col., 1999.

Acetilación y oxidación del almidón, según metodología descrita por Adebawale y col., 2005. El contenido de grupos acetil (expresado como porcentaje en base seca) y el grado de sustitución de la acetilación fueron determinados de acuerdo al método de Smith, 1967.

Porcentaje de acetil (base seca):

$$\% \text{ acetil} = \frac{(\text{titulación blanco} - \text{titulación muestra}) \text{ ml} \cdot \text{M ácido} \cdot 0,043 \cdot 100}{\text{peso muestra base seca}}$$

Grado de sustitución:

$$\frac{162A}{4300 - 42A} \quad \text{En donde A} = \text{Porcentaje de acetil (base seca)}$$

El contenido de grupos carboxilo en el almidón oxidado, se determinó de acuerdo al método modificado descrito por Kuakpetoon y Wang, 2001. El contenido de grupos carboxilo fue calculado de la siguiente manera:

$$\text{meq de acidez}/100\text{g de almidón} = \frac{(\text{muestra} - \text{blanco}) \text{ ml} \cdot \text{N NaOH} \cdot 100}{\text{Peso muestra (b.s)}}$$

$$\% \text{ contenido carboxilo} = \frac{(\text{meq acidez}) \cdot 0,045}{100\text{g almidón}}$$

El contenido de grupos carbonilo fue determinado por el método de la hidroxilamina descrito por Smith, 1967.

$$\% \text{ carbonilo} = \frac{(\text{titulación blanco} - \text{titulación muestra}) \text{ ml} \cdot \text{N ácido} \cdot 0,028 \cdot 100}{\text{peso muestra en base seca(g)}}$$

## Caracterización de los almidones nativos, acetilados y oxidados

Humedad y cenizas de acuerdo a la AOAC, 2000, método 925.10 y AACC, 1995 respectivamente. Amilosa aparente, se determinó mediante método espectrofotométrico, basado en la formación de un complejo  $I_2/KI$ , leído a una absorbancia de 600 nm, según modificación realizada por Ratnayake y col., 2001). Simultáneamente se preparó una curva patrón utilizando como estándar amilosa de papa (Sigma), libre de amilopectina. El contenido de amilopectina se calculó sustrayendo de 100 el contenido de amilosa obtenido.

Morfometría, los almidones de mapuey (*Dioscorea trifida* L.), variedades blanco y morado, nativos y modificados fueron estudiados por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), de acuerdo a la técnica establecida por el Centro de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UCV, utilizando un equipo Marca Hitachi, Modelo S-2400 a 20 KV. La metalización de las muestras se realizó en un Metalizador iónico, Marca Hitachi, Modelo E102, Ión Sputter. Las muestras se colocaron en un portamuestras metálico, se sellaron con varios puntos de pintura color plata y se recubrieron con oro-paladio. Posteriormente, se tomaron las fotografías en el microscopio electrónico de barrido y se revelaron.

Sinéresis, se evaluó cualitativamente, utilizando las suspensiones de almidón provenientes del estudio amilográfico. Se sometieron a refrigeración, a una temperatura de  $\pm 5$  °C por 24, 48 y 72 horas para observar si hubo o no desprendimiento de agua o separación del gel.

Poder de hinchamiento, absorción de agua, y solubilidad, se determinaron según el método descrito por Whistler, 1964 y Anderson, 1982 con algunas modificaciones realizadas por Rincón y Pérez, 2002.

pH y la acidez, se determinaron de acuerdo a los métodos de la AACC, 1995, métodos 02-31 y 02-52, respectivamente.

Estudio amilográfico, de las pastas de almidón de mapuey nativos, oxidados y acetilados se empleó el micro viscoanalizador Brabender, modelo Micro Visco-Amylo-Graph<sup>®</sup>, Brabender, Duisburg, Alemania. Se prepararon suspensiones al 8%, de cada una de las variedades de almidón de mapuey, nativos y modificados. Entre los parámetros más importantes desde el punto de vista reológico, obtenidos del perfil amilográfico, a través del software del equipo, están: el inicio de la gelatinización (A), la viscosidad máxima (B), la viscosidad al comienzo del período de calentamiento (C), la viscosidad al comienzo del período de enfriamiento (D), el final del período de enfriamiento

(E), el final del período de calentamiento (F), la estabilidad o «breakdown» (B-D), el asentamiento o «set-back total» (E-D).

## Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por triplicado. La evaluación estadística de los resultados se realizó mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), en donde se comparan los almidones nativos con los modificados a un nivel de significancia de 0,05. Se usó el programa Statgraphics Plus for Windows 1.4, Versión 5.1, 1994-1995 by Statistical Graphics Corp, USA.

## Resultados y discusión

### GRADO DE SUSTITUCIÓN

El porcentaje de los grupos acetilos y el grado de sustitución para el almidón de mapuey variedad morado fueron  $2,08 \pm 0,03\%$  y  $0,08 \pm 0,00\%$  y para la variedad blanco fueron  $2,40 \pm 0,00\%$  y  $0,092 \pm 0,00\%$ , respectivamente. Los porcentajes de grupos acetilos determinados para los almidones de mapuey en las variedades blanco y morado se ubicaron en el rango más alto de la cantidad de grupos acetilos permitidos por la FDA en alimentos (2,5%). Valores similares han sido reportados por Betancur-Ancona y col., 1997, con contenidos de grupos acetilos entre 0,94 y 2,48% para almidones acetilados de *Canavalia ensiformis* utilizando diferentes tratamientos. Determinar la cantidad de grupos acetilos es de principal importancia debido a que afecta considerablemente las propiedades funcionales de los almidones. Betancur-Ancona y col., 1997, señalan que el pH y la concentración de anhídrido acético tienen influencia sobre el enlazamiento de grupos acetilos y la eficiencia de la reacción.

### CONTENIDO DE GRUPOS CARBONILOS Y CARBOXILOS

Los contenidos de carbonilo y carboxilo representan el grado de oxidación. Al modificar químicamente por oxidación el almidón de mapuey, variedad blanco y morado, se encontró un porcentaje del contenido de carbonilo de  $0,03 \pm 0,02\%$  para el almidón de mapuey blanco oxidado. Sin embargo, para el almidón de mapuey morado el contenido de carbonilo no fue detectado. Por otra parte, el porcentaje del contenido de carboxilo para el almidón de mapuey blanco fue 0,00036%, mientras que para el almidón de mapuey morado no fue detectado ningún valor. De estos resultados se puede inferir que el hipoclorito de sodio recomendado para la oxidación de otras fuentes de almidón pudiera no ser suficiente en cantidad y

concentración para oxidar los almidones de mapuey, variedades blanco y morado. Los factores que afectan la oxidación con hipoclorito son el pH, temperatura, concentración del hipoclorito, estructura molecular del almidón y el origen del almidón. Los efectos de la estructura molecular del almidón y el origen del almidón sobre la oxidación no son bien entendidos aún. Un estudio mostró que el almidón de arroz consumió más hipoclorito pero tuvo más bajo contenido de grupos carboxilos y más alta viscosidad aparente comparada con almidón de maíz oxidado con hipoclorito, posiblemente debido a sus diferencias en la estructura física y molecular (Kuapetoon y Wang, 2001).

### Caracterización de los almidones nativos, acetilados y oxidados

#### ANÁLISIS QUÍMICOS

Los resultados de la evaluación química obtenidos en este estudio se presentan en la Tabla I. El contenido de humedad resultó mayor en los almidones de mapuey nativos que los modificados, siendo el más alto contenido de humedad en el almidón de mapuey morado. Estas observaciones son similares a las reportadas para almidones nativos de mapuey, variedades morado y blanco (11,49 y 9,05 g/100g respectivamente) (Bou Rached y col., 2006).

Tabla I

#### Composición química (g/100g b.s.) de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad morado y blanco<sup>1</sup>

Parámetros	AMMN	AMMA	AMMO	AMBN	AMBA	AMBO
Humedad	10,60 ± 0,16 <sup>c</sup>	8,57 ± 0,20 <sup>b</sup>	4,23 ± 0,11 <sup>a</sup>	9,27 ± 0,14 <sup>c</sup>	8,26 ± 0,08 <sup>b</sup>	7,53 ± 0,36 <sup>a</sup>
Cenizas	0,12 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,11 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,10 ± 0,02 <sup>ab</sup>	0,17 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,05 ± 0,04 <sup>a</sup>
Amilosa	35,08 ± 0,82	ND	ND	41,15 ± 0,43	ND	ND
Amilopectina	64,92	ND	ND	58,85	ND	ND
Amilosa/ Amilopectina	0,54	ND	ND	0,70	ND	ND

AMMN: almidón de mapuey morado nativo; AMMA: almidón de mapuey morado acetilado; AMMO: almidón de mapuey morado oxidado; AMBN: almidón de mapuey blanco nativo; AMBA: almidón de mapuey blanco acetilado; AMBO: almidón de mapuey blanco oxidado; ND: no determinado; Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

<sup>1</sup>Valor promedio ± desviación estándar ( $n=3$ ); b.s.= base seca.

Tabla II

#### pH, acidez titulable<sup>1</sup> y tamaño de los gránulos (diámetro mayor y menor)<sup>2</sup>, de los almidones nativos, acetilados y oxidados de *Dioscorea trifida*, variedades blanco y morado

Parámetros	AMBN	AMBA	AMBO	AMMN	AMMA	AMMO
pH	6,2 ± 0,14 <sup>b</sup>	4,91 ± 0,05 <sup>a</sup>	6,48 ± 0,03 <sup>a</sup>	4,68 ± 0,03 <sup>a</sup>	4,63 ± 0,03 <sup>b</sup>	6,67 ± 0,03 <sup>c</sup>
Acidez titulable <sup>1</sup> (meq/g)	0,0017 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,0023 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,0017 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,0014 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,0015 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,0008 ± 0,00 <sup>a</sup>
Diámetro mayor <sup>2</sup> (µm)	29,31 ± 5,97 <sup>a</sup>	29,92 ± 5,62 <sup>a</sup>	29,68 ± 6,66 <sup>a</sup>	32,80 ± 8,99 <sup>a</sup>	37,36 ± 10,17 <sup>b</sup>	31,53 ± 7,87 <sup>a</sup>
Diámetro menor <sup>2</sup> (µm)	19,44 ± 3,73 <sup>a</sup>	18,54 ± 4,33 <sup>a</sup>	17,82 ± 3,97 <sup>a</sup>	18,73 ± 5,27 <sup>a</sup>	22,02 ± 5,56 <sup>b</sup>	19,05 ± 5,85 <sup>a</sup>
n* (número de gránulos).	98	86	122	74	89	85

AMBN: almidón de mapuey blanco nativo; AMBA: almidón de mapuey blanco acetilado; AMBO: almidón de mapuey blanco oxidado; AMMN: almidón de mapuey morado nativo; AMMA: almidón de mapuey morado acetilado; AMMO: almidón de mapuey morado oxidado ND: no determinado; Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). b.s.= base seca. <sup>1</sup>Valor promedio ± desviación estándar ( $n = 3$ ). <sup>2</sup>Valor promedio ± desviación estándar ( $n = *$ ).

Debido a que los almidones fueron secados bajo las mismas condiciones, la reducción en el contenido de humedad en los almidones modificados, probablemente podría ser resultado de la sustitución de los grupos hidroxilo sobre las moléculas de almidón (Lawal y Adebawale, 2005). Los almidones acetilados de mapuey morado y blanco dieron valores de humedad similares entre sí; mientras que el menor nivel de humedad fue observado en el almidón de mapuey morado oxidado. Resultados similares, en donde existe una disminución en el contenido de humedad después de la modificación por acetilación han sido reportados para almidones de *Canavalia ensiformis* (Betancur-Alcona y col., 1997), maíz y banana (Bello-Pérez y col., 2000). Igualmente, después de la oxidación se ha reportado una disminución en el contenido de humedad en almidones de un híbrido de maíz (Lawal y col., 2005) y en *Canavalia ensiformis* (Lawal y Adebawale, 2005).

La acetilación y oxidación de los almidones de mapuey morado no indujo cambios significativos en el contenido de cenizas. Sin embargo, los almidones, nativo y acetilado, variedad blanco, presentaron diferencias significativas entre sí. Después de la acetilación, hubo un incremento en cuanto al contenido de cenizas en el almidón de mapuey blanco, lo cual

podría atribuirse posiblemente al efecto de formación de cloruro de sodio, como lo refieren diferentes autores (Liu y col., 1999; Anchudia, 2005); quienes señalan que ese aumento de NaCl se debe a que el pH de la suspensión (8,0-8,5) se lleva a pH 4,5 con HCl, trayendo como consecuencia un incremento del material mineral. La oxidación del almidón de mapuey, variedad blanco, no produjo cambios significativos en cuanto al contenido de cenizas.

El contenido de amilosa aparente obtenido en el almidón nativo de mapuey morado fue menor que en la variedad blanco (35,08 y 41,15 g/100g, respectivamente). Las propiedades funcionales de los almidones dependen en gran medida de la amilosa presente (Adebowale y Lawal, 2003). Al comparar estos valores con los obtenidos en estudios preliminares con almidones de mapuey (Bou Rached y col., 2006) se puede apreciar diferencias en los resultados (43,33 y 34,72 g de amilosa/100g de almidón de mapuey variedad morado y blanco, respectivamente). Estos resultados pudieron haber sido afectados por condiciones climáticas y el tipo de suelo durante el crecimiento del cultivo, entre otros, lo cual quizás pudiera sugerir establecer rangos de valores de amilosa para ambas variedades y no un valor absoluto referido a cada una de ellas.

Asimismo, la actividad de las enzimas involucradas en la biosíntesis del almidón puede ser responsable de la variación en el contenido de amilosa entre diferentes almidones, así como los distintos procedimientos de aislamiento y los métodos analíticos usados para determinar el mismo. Si se comparan los valores de amilosa reportados por otros autores (Juliano, 1971), con los encontrados en este estudio, se puede observar que el valor obtenido para el mapuey morado, se encuentra en un rango ligeramente superior a los almidones de papa, maíz y trigo normal, y arroz alto en amilosa; mientras que el mapuey blanco es similar al valor obtenido para el maíz alto en amilosa. Los valores de amilosa de las muestras evaluadas, permiten catalogarlos como almidones con alto contenido en amilosa. Al comparar los resultados de este estudio con los reportados para otras Dioscoreas, los valores están por encima de los encontrados para *D. alata* y *D. cayenensis* (22,8% y 21,6%, respectivamente) (Gallant y col., 1982). En este estudio, la determinación de amilosa en los almidones modificados químicamente por acetilación y oxidación no fue posible realizarla, por cuanto se formó un complejo precipitante que impidió su evaluación. Se infiere que estas modificaciones químicas afectaron las fracciones de amilosa y amilopectina y por ende la absorción del yodo durante la determinación de amilosa.

Con respecto a la relación amilosa/amilopectina fue mayor en el almidón de mapuey nativo variedad blanco que en el almidón de mapuey nativo variedad morado, indicando mayor contenido de amilosa, lo que sugiere geles más fuertes con mayor tendencia a retrogradar, con lo cual el comportamiento de la pasta de almidón en sistemas acuosos puede depender de ello, además de otras características físicas y químicas de los gránulos de almidón, tales como, promedio y distribución del tamaño del gránulo y su contenido mineral. La relación amilosa/amilopectina en los almidones modificados, no pudo ser determinada por las razones anteriormente expuestas al analizar la amilosa.

### pH y acidez

Los resultados de pH y acidez titulable, para los almidones variedades, blanco y morado, tanto nativos como modificados, pueden observarse en la Tabla II. El pH del almidón de mapuey nativo, variedad blanco, se redujo después de la acetilación, y aumentó con la oxidación, observándose diferencias estadísticamente significativas entre estos almidones. La oxidación en el almidón de mapuey, variedad morado también produjo un incremento en el valor de pH con respecto al almidón nativo y acetilado. Los resultados obtenidos en cuanto a este parámetro podrían depender de la fuente del almidón.

En relación a la acidez titulable, el almidón acetilado de la variedad blanco incrementó este valor con respecto al nativo y oxidado, mas no hubo diferencias entre el nativo y el oxidado (Tabla II). Posiblemente la introducción de grupos acetilo en las moléculas de esta variedad de almidón incrementó la acidez después de la acetilación. Sin embargo, en el almidón de mapuey variedad morado la acetilación no produjo cambios significativos en este parámetro.

Se ha señalado (Wurzburg, 1995) que para los almidones oxidados, el pH del medio es un factor de gran importancia, debido a que éste toma el control de la dirección de la oxidación. El pH ácido y neutro favorece la oxidación de algunos grupos hidroxilos a grupos ceto, y a altos pH se producen grupos carboxilos, responsables de impartir propiedades hidrofílicas, proporcionando un efecto estérico, el cual interrumpe la linealidad de las moléculas y minimiza las tendencias de retrogradación y asociación. Como resultado, las oxidaciones son normalmente llevadas a cabo bajo condiciones de leve a moderada alcalinidad para proporcionar productos que tengan buena estabilidad en solución. Por otro lado, en los almidones acetilados, debe ser ejercitado el cuidado de mantener el pH entre 8-9,5 para una eficiencia

óptima de la reacción; pH altos y temperaturas elevadas fomentan la hidrólisis del anhídrido y el almidón acetato.

Se han reportado distintos valores de pH para almidones nativos, acetilados y oxidados provenientes de distintas fuentes (Anchudía, 2005), encontrándose valores de 6,11 y 4,90 para almidones de batata nativo y acetilado. Lawal y Adebowale, 2005, señalan valores de pH para almidones nativos, acetilados y oxidados de arroz de 7,07, 6,12 y 6,93, respectivamente, lo que permite inferir que los resultados obtenidos en relación a estas características físicas dependen de la fuente del almidón y del grado o nivel de las modificaciones realizadas.

### Evaluación morfométrica

Las micrografías electrónicas de barrido de los almidones de mapuey, nativos y modificados, se presentan en las Figuras 1A y 1B. Todas las muestras fueron fotografiadas a la misma amplificación de 300x para comparar el tamaño y la morfología de los gránulos. El estudio indicó que los mismos se caracterizaron por presentar gránulos con forma irregular, algunos ovalados y alargados, otros con forma de pera, con un extremo truncado y superficies de apariencia lisa. Resultados similares se han reportado para los almidones nativos de *Dioscorea trifida*, variedades blanco y morado (Bou Rached y col., 2006). No se observaron cambios en la apariencia externa de los gránulos de almidón acetilados y oxidados. Con respecto al tamaño de los gránulos de almidón, el mapuey variedad blanco presentó gránulos con un largo promedio de  $29,31 \pm 5,97 \mu\text{m}$  y un ancho promedio de  $19,44 \pm 3,73 \mu\text{m}$  (Tabla II); mientras que los gránulos de mapuey variedad morado presentaron  $32,80 \pm 8,99 \mu\text{m}$  de largo y  $18,73 \pm 5,27 \mu\text{m}$  de ancho (Tabla II). En estudios preliminares (Bou Rached y col., 2006) se encontraron que los gránulos de almidón de mapuey tenían un diámetro máximo y mínimo ( $\mu\text{m}$ ) de  $34,15 \pm 7,97 - 21,39 \pm 4,00$  (mapuey, variedad blanco) y  $30,33 \pm 9,16 - 16,67 \pm 3,27$  (mapuey, variedad morado). En relación a los almidones de mapuey blanco, nativo, acetilado y oxidado no se observaron diferencias significativas entre los tamaños de los gránulos (Tabla II); sin embargo, en la variedad morado si hubo diferencias entre el almidón nativo y el acetilado (Tabla II), pero no entre el nativo y el oxidado, lo cual sugiere que la acetilación en el almidón de mapuey morado pudo haber producido ciertos cambios estructurales dentro del gránulo. En *Solanum tuberosum* (papa), se ha reportado gránulos con formas redondas, ovals y poligonales con rangos de tamaño entre 2 a  $42 \mu\text{m}$ ; para almidones de *Dioscorea cayenensis* y *Dioscorea rotundata*

gránulos redondos y ovals ( $28,5\text{-}30,6 \mu\text{m}$ ); mientras que gránulos redondos ( $5\text{-}4 \mu\text{m}$ ) para almidón de *Manihot esculenta* (yuca) (Lawal y col., 2004). Kuakpetoon y Wang, 2001, señalan apariencia similar entre almidones nativos y oxidados de papa, maíz y arroz, utilizando diferentes niveles de concentración de hipoclorito de sodio, sin observar cambios morfológicos significativos después de la modificación. En cuanto al almidón acetilado, estudios en almidón de maíz y batata, han mostrado alteraciones en la morfología del gránulo, aunque a niveles muy bajos. El grado de las alteraciones puede ser entendido de acuerdo a las diversas concentraciones usadas durante el tratamiento y a la resistencia que presente cada tipo de gránulo (Singh y col., 2004<sup>a</sup>). Ha sido reportado en almidones de arroz acetilados, superficies del gránulo de apariencia áspera, que tienden a formar agregados (Singh y Singh, 2005; González y Pérez, 2002). Esto puede ser explicado por la gelatinización superficial, al añadir NaOH para mantener las condiciones alcalinas, durante la adición del anhídrido acético (Singh y col., 2004<sup>b</sup>).

### Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua

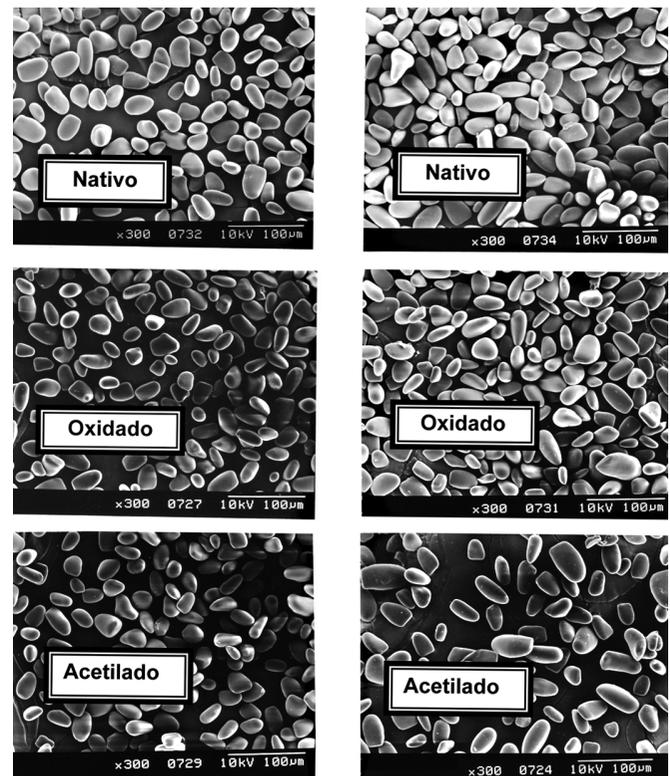
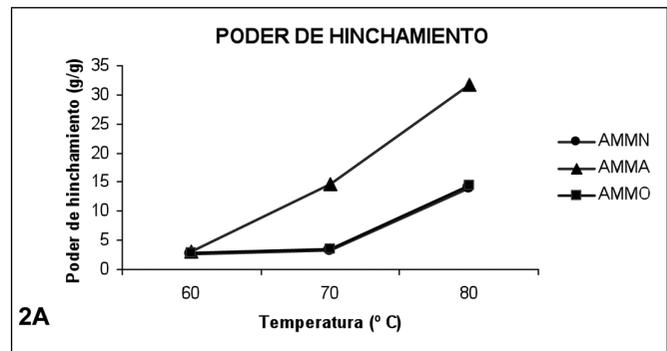


Figura 1A. Microscopía electrónica de barrido de los almidones nativo, oxidado y acetilado de *Dioscorea trifida*, variedad blanco.

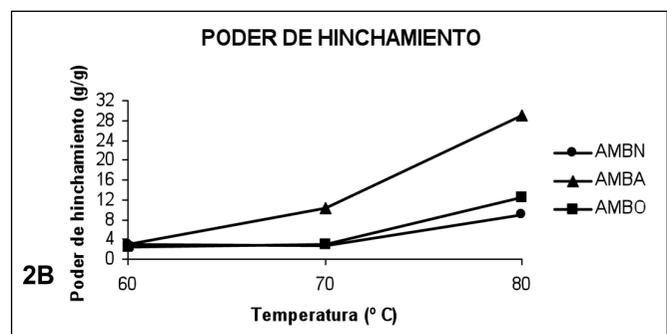
Figura 1B. Microscopía electrónica de barrido de los almidones nativo, oxidado y acetilado de *Dioscorea trifida*, variedad morado.

Los resultados del poder de hinchamiento de los almidones de mapuey nativos y modificados se muestran en las Figuras 2A y 2B. Los valores de poder de hinchamiento aumentaron con la temperatura, tanto en los almidones nativos como en los modificados. Este resultado se corresponde con lo reportado por otros autores (Adebowale y col., 2005). El incremento del poder de hinchamiento con la temperatura es consecuencia de la mayor movilidad de las moléculas de almidón, facilitando la accesibilidad del agua y subsecuente aumento en el hinchamiento y solubilidad (Lawal y col., 2005). Los tratamientos por acetilación y oxidación mejoraron el poder de hinchamiento de los almidones nativos, observándose mayor poder de hinchamiento en los almidones acetilados que los oxidados; resultando el almidón de mapuey morado acetilado con el mayor valor a 80 °C ( $31,77 \pm 1,48$  g/g) (Figura 2A). Este comportamiento también podría estar relacionado con el tamaño del gránulo de almidón y a la organización supramolecular de sus componentes. Por otra parte, la introducción de grupos hidrofílicos, que permiten la retención de moléculas de agua por la formación de puentes de hidrógeno (Bello-Pérez y col., 2002) puede explicar el incremento en el hinchamiento de los gránulos. El almidón de mapuey morado oxidado mostró similar hinchamiento que el nativo de la misma variedad a 80 °C ( $14,42 \pm 0,23$  y  $14,02 \pm 0,22$  g/g, respectivamente), lo cual sugiere que la oxidación no produjo cambios importantes en esta variedad. Esto último, difiere con lo reportado por otros autores en almidones oxidados de *Canavalia ensiformis* y *Phaseolus vulgaris* (Sathe y Salunkhe, 1981; Choi y Kerr, 2003). Sin embargo, la oxidación en el almidón de mapuey variedad blanco sí produjo un ligero incremento en el poder de hinchamiento si se compara con el almidón nativo de la misma variedad ( $12,61 \pm 0,83$  g/g y  $8,94 \pm 0,31$  g/g, respectivamente) (Figura 2B). El incremento observado en el poder de hinchamiento por esta modificación química podría ser por un debilitamiento de las fuerzas de los enlaces intragranulares del almidón, lo cual permitió menos restricción al hinchamiento de los almidones modificados (Adebowale y col., 2005).

En cuanto a la solubilidad de los almidones (Figuras 2C y 2D) se encontró un comportamiento muy similar a lo obtenido en el poder de hinchamiento. Los almidones modificados tuvieron mayores valores de solubilidad que sus almidones nativos a 80 °C. Las razones del aumento de la solubilidad con la temperatura fueron explicadas previamente en el poder de hinchamiento. Entre todos los almidones modificados, a todas las temperaturas, la solubilidad fue considerablemente más elevada en el almidón de mapuey morado acetilado a 80 °C ( $26,39 \pm 0,73$



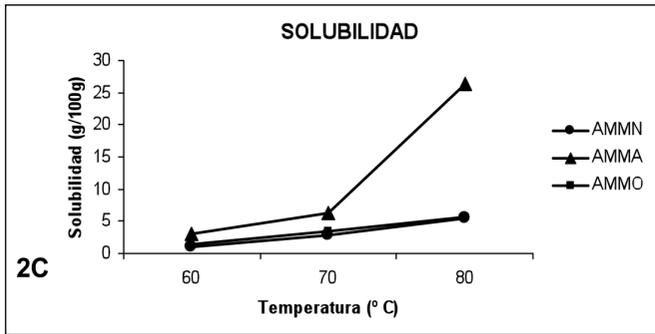
**Figura 2A. Poder de hinchamiento (g/g) en base seca<sup>1</sup>, de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad morado. AMMN: almidón de mapuey morado nativo; AMMA: almidón de mapuey morado acetilado; AMMO: almidón de mapuey morado oxidado; <sup>1</sup>Valor promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3).**



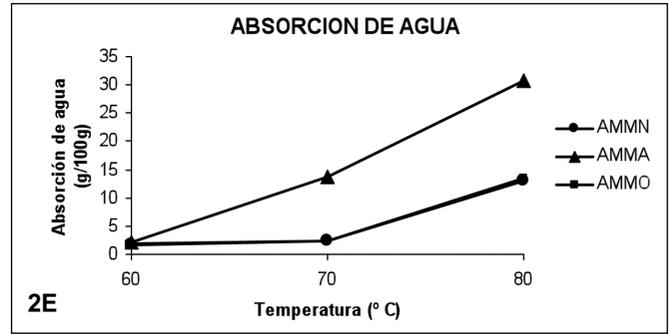
**Figura 2B. Poder de hinchamiento (g/g) en base seca<sup>1</sup>, de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad blanco. AMBN: almidón de mapuey blanco nativo; AMBA: almidón de mapuey blanco acetilado; AMBO: almidón de mapuey blanco oxidado; <sup>1</sup>Valor promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3).**

g/100g) (Figura 2C). Se puede inferir que en los almidones acetilados, los grupos acetilo actúan obstruyendo la asociación de las cadenas, favoreciendo la dispersión del almidón en los sistemas acuosos. En cuanto a la oxidación, ésta también produjo un incremento de la solubilidad a 80 °C en los almidones nativos de ambas variedades (Figuras 2C y 2D); sin embargo, este aumento fue poco significativo en el almidón de mapuey morado, sugiriendo un bajo nivel de oxidación. Estudios han indicado que el agente oxidante penetra profundamente dentro del gránulo, actuando preferiblemente sobre las regiones amorfas. El incremento de la solubilidad después de la oxidación es un resultado de la despolimerización y debilitamiento estructural del gránulo de almidón. Observaciones similares han sido reportadas para almidón híbrido de maíz (Lawal y col., 2005).

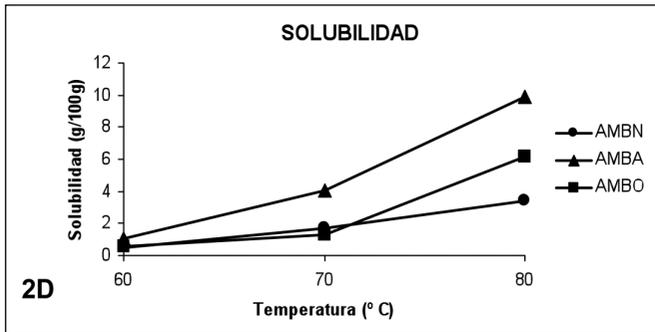
Las gráficas correspondientes a la capacidad de absorción de agua de los almidones se presentan en las Figuras 2E y 2F. La capacidad de absorción de agua se incrementó con la temperatura para todos los almidones, nativos y modificados. El almidón va-



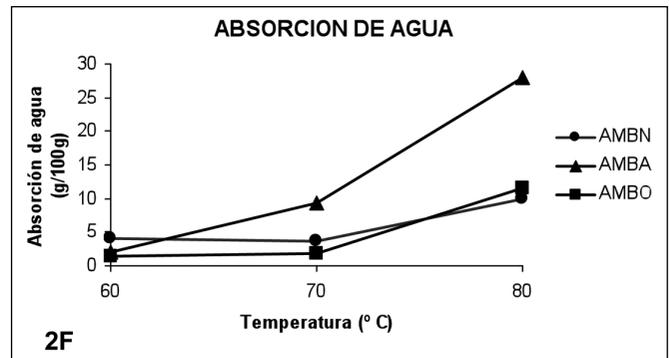
**Figura 2C. Solubilidad de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad morado (g/100g)<sup>1</sup>. AMMN: almidón de mapuey morado nativo; AMMA: almidón de mapuey morado acetilado; AMMO: almidón de mapuey morado oxidado, <sup>1</sup>Valor promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3).**



**Figura 2E. Absorción de agua de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad morado (g/100g)<sup>1</sup>. AMMN: almidón de mapuey morado nativo; AMMA: almidón de mapuey morado acetilado; AMMO: almidón de mapuey morado oxidado. <sup>1</sup>Valor promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3).**



**Figura 2D. Solubilidad de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad blanco (g/100g)<sup>1</sup>. AMBN: almidón de mapuey blanco nativo; AMBA: almidón de mapuey blanco acetilado; AMBO: almidón de mapuey blanco oxidado; <sup>1</sup>Valor promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3).**



**Figura 2F. Absorción de agua de los almidones nativo, acetilado y oxidado de *Dioscorea trifida*, variedad blanco (g/100g)<sup>1</sup>. AMBN: almidón de mapuey blanco nativo; AMBA: almidón de mapuey blanco acetilado; AMBO: almidón de mapuey blanco oxidado; <sup>1</sup>Valor promedio  $\pm$  desviación estándar (n=3).**

riedad morado, acetilado fue el que presentó mayor valor en este parámetro, observándose que a 80 °C, la absorción de agua fue de  $30,77 \pm 1,48$  g/100g. Los almidones nativos y oxidados de la variedad morado, no presentaron diferencias importantes entre sí a 80 °C, lo que sugiere que la oxidación no produjo un efecto importante en esta propiedad. Esto puede ser explicado por los resultados obtenidos al determinar el % de carbonilo y carboxilo, los cuales no fueron detectados en el almidón oxidado de la variedad morado. En el almidón variedad blanco, la oxidación y acetilación, mejoraron la capacidad de enlazar agua, debido a la incorporación de grupos hidrofílicos dentro del almidón.

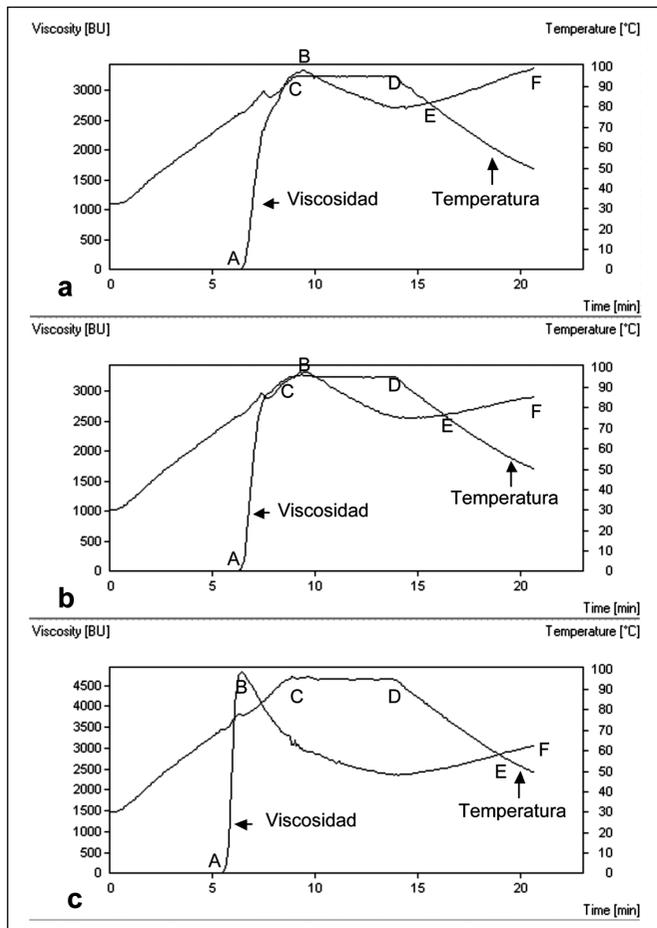
El incremento de la temperatura causó un aumento del índice de absorción de agua, ya que el calentamiento, además de romper las fuerzas intragranulares de la región amorfa, también conduce al inicio del desdoblamiento de las regiones con doble hélice y al rompimiento de las estructuras de amilopectina con lo cual se va generando una desorganización de la estructura del gránulo. En cuanto a las diferencias observadas en los valores de absorción de agua y poder de hinchamiento para el almidón acetilado,

son explicadas por la introducción de grupos acetilos en las moléculas que conforman el almidón, ya que estos al ser de naturaleza voluminosa causan un desarreglo intragranular por impedimento estérico, facilitando el acceso de agua a la región amorfa (Singh y Singh, 2005; González y Pérez, 2002; Pérez, 2001; Liu y col., 2000; Lii y Shang, 1991). Al ser aplicado calor a las suspensiones de almidón acetilado, se disminuye la cantidad de energía para romper la integridad de los enlaces que mantienen a la región amorfa, debido al desarreglo intragranular; en consecuencia, el volumen de agua absorbido, se traduce en un mayor hinchamiento de los gránulos de almidón y lixiviación del material intragranular por efecto del incremento de temperatura.

### Estudio viscoamilográfico

El estudio viscoamilográfico de los almidones nativos y modificados se presentan en las Figuras 3 y 4. Las temperaturas de gelatinización disminuyeron después de la acetilación y oxidación para ambas variedades de mapuey. No obstante, en el almidón

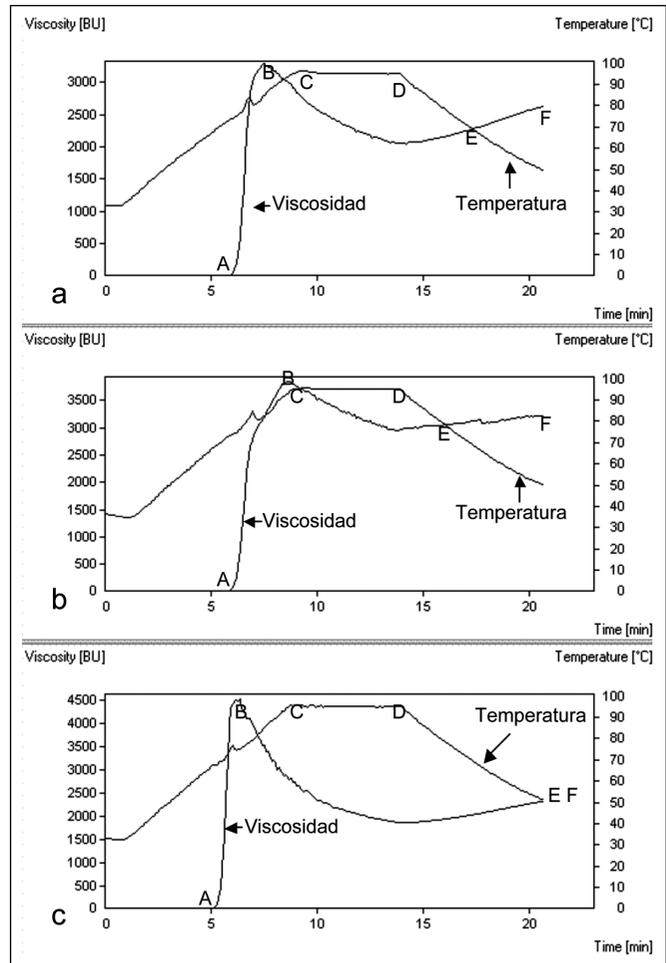
de mapuey, variedad morado, no hubo una diferencia importante con respecto al nativo, lo cual podría explicarse por los resultados obtenidos en los porcentajes de carboxilo y carbonilo. La reducción en los valores de temperatura de gelatinización de los almidones químicamente modificados de mapuey probablemente se deba al tamaño de los gránulos, a la misma modificación, entre otros factores. Al comparar con otros almidones, la temperatura de gelatinización de todos los almidones en estudio está por encima de lo reportado para almidones de *Manihot esculenta* (62 °C) y *D. abyssinica*, (63,4 °C), pero por debajo de 82 °C que es lo reportado para almidones de *D. dumetorum* y *D. esculenta* (Lawal y col., 2004), lo que corrobora que el origen botánico, grado de sustitución, porcentaje de carboxilo y carbonilo, pH, temperatura, estructura molecular, son factores determinantes en este parámetro. Estudios preliminares en mapuey, variedades blanco y morado (Bou Rached y col., 2006), mostraron una temperatura de gelatinización del mapuey morado ligeramente mayor que la variedad blanco (77,5 y 75,1 °C, respectivamente). Esa diferencia pudiera atribuirse a la relación amilosa/amilopectina, pH, origen botánico o tamaño del gránulo, entre otros. Los gránulos de al-



**Figura 3. Amilogramas del almidón nativo (a), oxidado (b) y acetilado (c) de *Diocorea trifida*, variedad blanco.**

midón de mapuey blanco resultaron más pequeños que los gránulos de la variedad morado, por lo que son más resistentes a la ruptura y pérdida del orden molecular; de allí que la temperatura de gelatinización sea más elevada.

Todas las formas de modificación estudiadas produjeron picos de viscosidad más elevados que sus respectivos nativos, a excepción del almidón de mapuey blanco oxidado que disminuyó ligeramente su viscosidad (3311 UB) respecto al mapuey blanco nativo (3336 UB) (Figuras 3 y 4). El almidón de mapuey blanco acetilado tuvo el mayor pico de viscosidad (4817 UB), seguido por el almidón de mapuey morado acetilado (4531 UB).



**Figura 4. Amilogramas del almidón nativo (a), oxidado (b) y acetilado (c) de *Diocorea trifida*, variedad morado.**

La acetilación incrementó considerablemente la solubilidad y el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón de mapuey nativo en sus dos variedades. Estos incrementos confirman los resultados del aumento de viscosidad, ya que mejoran la dispersión del almidón en sistemas acuosos y la absorción de agua. Esto puede ser explicado por la introducción de grupos de sustitución hidrofílicos que permiten la retención de las moléculas de agua debido a su capa-

cidad de formar puentes de hidrógeno. Esto asegura alta retención del agua que entra al gránulo, incrementando el poder de hinchamiento y favoreciendo la gelatinización (Betancur-Ancona y col., 1997).

Cuando se mantuvo la temperatura a 95 °C por 5 minutos, la viscosidad del sistema disminuyó gradualmente a 2384 UB en el almidón de mapuey blanco acetilado y aumentó a 2580 UB en el almidón blanco oxidado. En el caso del almidón de mapuey morado acetilado disminuyó la viscosidad a 1873 UB y aumentó en el almidón morado oxidado a 2956 UB (Figuras 3 y 4).

Los almidones de mapuey morado, nativo y modificados, tuvieron valores de «breakdown» superiores al almidón de mapuey blanco. Esto confirma nuevamente la mayor capacidad de hinchamiento que tienen los gránulos de mapuey morado acetilado, su menor estabilidad durante la cocción, lo cual se ve reflejado al mostrar una marcada disminución de la viscosidad una vez alcanzado el valor máximo (Figuras 3c y 4c). De ello se puede inferir que los gránulos son muy frágiles y se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad en el sistema. Esta fragilidad se observa más pronunciadamente en el almidón de mapuey morado acetilado, sus gránulos presentan mayor tamaño y se destruyen más fácilmente ya que son más susceptibles, indicando que las fuerzas de enlaces entre los gránulos de almidón no son tan fuertes.

Por otra parte, se produjo un aumento en la viscosidad al final del período de enfriamiento (E) y al final del proceso (F) para cada una de las suspensiones de los almidones en estudio (Figuras 3 y 4). Este nuevo y gradual incremento de la viscosidad durante el período de enfriamiento es debido a que se restablecen los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, dando lugar a la consistencia tipo gel, además se debe a la pérdida de calor en el sistema y al proceso de retrogradación que se genera. El incremento de la viscosidad durante el período de enfriamiento indica una tendencia de varios constituyentes presentes en la pasta caliente (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidalmente - y molecularmente - dispersas) para asociar o retrogradar, mientras la temperatura de la pasta disminuye (Singh y col., 2003).

La suspensión de almidón de mapuey blanco presentó el mayor valor de viscosidad a 50 °C (E); este hecho probablemente se debe al re-arreglo lineal que adquieren las moléculas de amilosa que fueron liberadas por los gránulos durante el calentamiento. La diferencia de la viscosidad a 50 °C (E) con respecto a la máxima viscosidad (B) es denominado asentamiento o «setback» y este es una medida de la ten-

dencia a la retrogradación del almidón. La introducción de grupos carboxilo y carbonilo después de la oxidación y grupos acetilo después de la acetilación, posiblemente limiten la retrogradación evitando la formación de puentes de hidrógeno de los grupos hidroxilo sobre las moléculas de almidón (Adebowale y col., 2005).

La acetilación y oxidación produjeron reducción de los valores de «setback» en ambas variedades de almidón, sugiriendo una disminución de la retrogradación después de las modificaciones químicas, a excepción del almidón de mapuey morado oxidado que mostró un valor ligeramente superior de «setback» que su respectivo nativo, sugiriendo que no hubo cambios importantes en esta variedad después de la oxidación.

La pasta de almidón obtenida después de la gelatinización no es estable debido a transformaciones estructurales que ocurren durante el almacenamiento y que se denominan retrogradación. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está relacionada con su contenido de amilosa, la longitud de esta molécula y el estado de dispersión de las cadenas lineales. En el caso del almidón de mapuey blanco, éste tiene mayor contenido de amilosa, por lo que presenta mayor tendencia a retrogradar.

Para el caso de los almidones acetilados blanco y morado este valor resultó mucho menor que lo observado en los almidones oxidados y nativos, por lo que se puede inferir que ambas variedades después de la modificación tienen poca tendencia a la retrogradación, pero el mapuey morado en menor grado. Este resultado de poca tendencia a retrogradar también se pudo corroborar con la prueba de sinéresis, resultando negativa para ambos casos.

La consistencia es la diferencia entre la viscosidad al final del período de enfriamiento (E) y la viscosidad al final del período de calentamiento (D). Este parámetro está relacionado con el contenido de amilosa de un almidón al enfriarse y da una idea de la consistencia del gel. La oxidación de los almidones produjo una menor consistencia que la acetilación de los mismos, tanto en la variedad blanco como morado; en el almidón de mapuey morado acetilado también se produjo una disminución mientras que en el mapuey blanco acetilado se mantuvo una consistencia similar al nativo.

## Sinéresis

Pruebas preliminares habían revelado sinéresis negativa en los almidones nativos de mapuey, variedades blanco y morado (Bou Rached y col., 2006) a

las 24 y 48 horas. Esto fue corroborado en este estudio, en donde la sinéresis fue también negativa a las 24 y 48 horas, para las suspensiones preparadas al 8% de los almidones nativos y modificados; sin embargo, es importante señalar que las suspensiones de almidón se mantuvieron en observación durante 15 días más, revelándose sinéresis positiva en los almidones nativos, variedad blanco y morado, así como, en menor grado, sinéresis positiva en los almidones oxidados. Los almidones acetilados no presentaron sinéresis transcurrido ese tiempo, lo cual coincide con los valores de «setback» encontrados. Con estos resultados se puede inferir que la incorporación de grupos acetilo eliminó los problemas de sinéresis encontrados al transcurrir 15 días en los geles preparados con 8% de almidón nativo.

## Conclusiones

La micrografía electrónica de barrido no mostró cambios apreciables en la estructura granular de los almidones modificados por acetilación y oxidación.

La acetilación y oxidación modificaron las propiedades físicoquímicas, tales como, el poder de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y solubilidad de los almidones nativos variedades blanco y morado, siendo este efecto mayor después de la acetilación y más marcado en el almidón de mapuey morado.

Las propiedades funcionales estudiadas, tales como temperatura de gelatinización, retrogradación, «breakdown», consistencia, sinéresis, entre otros, también revelaron importantes cambios en las propiedades de los almidones modificados, esto indica que propiedades deseables de los almidones de mapuey, variedades blanco y morado, pueden ser mejoradas por acetilación y oxidación para ser usados en la industria alimenticia, así como, en la cosmética y farmacéutica.

La temperatura de gelatinización después de las modificaciones mostró una disminución importante con respecto a la de los almidones nativos, por lo que podría pensarse su incorporación en formulaciones que requieran el desarrollo de una rápida viscosidad.

El estudio amilográfico también reveló una menor tendencia a la retrogradación de los almidones modificados, siendo esta tendencia mucho menor en los almidones acetilados que los oxidados.

Debido a que la oxidación de los almidones de mapuey produjo efectos medianamente significativos en las propiedades físicoquímicas y funcionales, se sugiere realizar nuevamente esta modificación utilizando diferentes niveles del agente oxidante (hipo-

clorito de sodio), cumpliendo siempre con los límites establecidos para su uso en alimentos, con el objetivo de obtener un almidón mejorado y con propiedades específicas para su uso.

Se recomienda la continuación de estos estudios incorporando estos almidones en productos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos, a fin de incrementar el aprovechamiento de este cultivo con miras a estimular su uso y aplicaciones en diferentes industrias.

## Referencias bibliográficas

- Adebowale KO, Lawal, OS. 2003. Functional properties and retrogradation behaviour of native and chemically modified starch of mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *J Sci Food Agric* 83: 1541-1546.
- Adebowale KO, Olu-Owolabi BI, Olawumi EK, Lawal OS. 2005. Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus altilis*) starch. *Ind Crops Prod* 21: 343-351.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). 1995. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. Ninth Edition. Ed. AACC. St. Paul, Minnesota, USA.
- Anchudía L. 2005. Obtención de almidón acetilado de batata (*Ipomea batatas*), caracterización y uso en la formulación de un producto alimenticio tipo pudín. Tesis de grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.
- Anderson RA. 1982. Water absorption and solubility and amilograph characteristic of roll cooked small grain product. *Cereal Chem* 59:265-269.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*. 17<sup>th</sup> Edition. Editor Horwitz, W. Maryland, USA.
- Bello-Pérez L, Contreras-Ramos S, Romero-Manilla R, Solorza-Feria J, Jiménez-Aparicio A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia* 36: 169-180.
- Bello-Pérez LA, Contreras-Ramos SM, Jiménez-Aparicio A, Paredes-López O. 2000. Acetylation and characterization of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Acta Cien Ven* 51: 143-149.
- Betancur-Ancona D, Chel-Guerrero L, Cañizares-Hernández E. 1997. Acetylated and characterization of *Canavalia ensiformis* Starch. *J Agric Food Chem*, 45: 362-378.
- Bou Rached L, Vizcarrondo C, Rincón AM, Padilla F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida* L.), variedades blanco y morado. *Arch Lati Nutri* 56(4): 375-383.
- Choi SG, Kerr WL. 2003. Effects of chemical modification of wheat starch on molecular mobility as studied by pulsed 1H NMR. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 51, pp. 1-8.

- Gallant DJ, Bewa H, Buy QH, Bouchet B, Szytli O, Sealy L. 1982. On Ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. *Starch/Stärke* 34 (8): 255-262.
- González Z, Pérez E. 2002. Effect of acetylation on some properties of rice starch. *Starch/Stärke* 54:148-154.
- Joblin, S. 2004. Improving starch for food and industrial applications. *Plant Biol.* 7:210-218.
- Juliano BO. 1971. A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose. *Cer Sci Today* 16:334.
- Kuakpetoon D, Wang Y. 2001. Characterization of different starches oxidized by hypochlorite. *Starch/ Stärke* 53: 211-218.
- Lawal OS, Adebawale KO, Oderinde RA. 2004. Functional properties of amylopectin and amylose fractions isolated from bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch. *Africa J Biotech* 3(8):399-404.
- Lawal OS, Adebawale KO, Ogunsanwo BM, Barba LL, Ilo NS. 2005. Oxidized and acid thinned starch derivatives of hybrid maize: functional characteristics, wide-angle X-ray diffractometry and thermal properties. *Intern J Biol Macromol.* 35:71-79.
- Lawal OS, Adebawale KO. 2005. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. *Carbohydrate Polymers* 60:331-341.
- Lii C, Shang Y. 1991. Study of starch in Taiwan. *Food Review Internat.* 7(2):185-203.
- Liu H, Ramsden L, Corke H. 1999. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. *Starch/Stärke* 51(7): 249-252.
- Liu H, Corke H, Ramsden L. 2000. The Effect of autoclaving on the acetylation of ae, wx, and normal maize starches. *Starch/Stärke*, 51(7): 249-252.
- Pérez E. 2001. Modificación de las propiedades funcionales de harina y almidones extraídos de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittiplium*) ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y batata (*Ipomoea batatas*) para su aprovechamiento en la formulación de alimentos horneados. Trabajo Doctoral en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Ratnayake WS, Hoover R, Shahidi F, Perera C, Jane J. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chem.* 74: 189-202.
- Rincón AM, Padilla FC, Tillet S. 1999. *Myrosma cannifolia*, chemical composition and physicochemical properties of the extracted starch. *J Sci Food Agricul.* 79 (4): 532-536.
- Rincón A, Pérez E. 2002. Characterization of drum drying pregelatinized amaranth starch. *Rev Fac Farm.* 65(2): 39-45.
- Rincón AM, Padilla FC. 2004. Physicochemical properties of Venezuela Bread fruit (*A. altilis*) Starch. *Arch Lat Nutrición* 54(4): 449-456.
- Rincón AM, Bou Rached L, Aragoza LE, Padilla F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan. (*Artocarpus altilis*). *Arch Lat Nutrición* 57(3):287-294.
- Sathe SK, Salunkhe DK. 1981. Isolation, partial characterization and modification of the Greath Northern Bean (*Phaseolus vulgaris*) starch. *J Food Sci.* 46(4): 617-621.
- Singh N, Singh J, Kaur L, Singh SN, Singh GB. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.* 81:219-231.
- Singh J, Kaur L, Singh N. 2004a. Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. *Starch/ Stärke* 56: 586-601.
- Singh N, Chawla D, Singh J. 2004b. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food Chem.* 86: 601-608.
- Singh NS, Singh N. 2005. Characteristic of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *J Food Engin.* 70: 117-127.
- Smith R. 1967. Characterization and analysis of starch. En Whistler R. L. y Paschall E. F. *Starch: Chemistry and Technology*. Ed. Academic Press, USA, Vol II, 569-635.
- Thomas D, Atwell W. 1999. Starch structure in: Practical guide for the food industry. Eagan Press Handbook Serie. St Paul Mn. USA. pp. 49-86.
- Vizcarrondo CA, Rincón AM, Padilla FC. 2004 Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera*. *Arch Lat Nutrición.* 54 (2): 241-245.
- Whistler RL. 1964. Swelling Power. En *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Vol II. Ed. Academic Pres. New York, USA.
- Wurzburg OB. 1995. Modified Starches. En Alistair, M. S. *Food Polysaccharides and their Applications*. Editorial Board. P (67-93), Boca Ratón, Florida.