

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN NATIVO Y MODIFICADO DE ÑAME (*Dioscorea alata*)

Emperatriz Pacheco de Delahaye (†) y Nora Techeira

RESUMEN

Se modificó almidón de ñame (*Dioscorea alata*) mediante tratamientos alcalino y alcohólico-alcalino y se evaluó la composición química y algunas de sus propiedades funcionales, con el fin de sugerir su posible utilización en la elaboración de productos alimenticios. Los resultados obtenidos indicaron que la capacidad de absorción de agua (hinchamiento) y la solubilidad se incrementaron con las modificaciones realizadas, al tiempo que la estabilidad al congelamiento-deshielo mejoró con cada uno de los tratamientos. Los almidones modificados experimentaron una menor tendencia a la retrogradación, medida como

porcentaje de transmitancia, y la viscosidad de cada una de las suspensiones de almidones de ñame en estudio se mantuvo estable durante el período de calentamiento constante al cual fueron sometidas para la elaboración de las curvas amilográficas. Los almidones de ñame modificados podrían tener aplicación como espesantes para sopas y estabilizantes en postres congelados, especialmente los almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF), por presentar una mayor capacidad de solubilizarse en agua a temperatura ambiente.

Introducción

La utilización de harinas y almidones obtenidos a partir de raíces y tubérculos tropicales, como materia prima en la elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos productos, se ha convertido en una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de estos tubérculos (Pérez y Pacheco, 2005). Por ejemplo, al deshidratarse bajo la forma de harina el ñame puede ser utilizado en la elaboración de productos tales como sopas, galletas, panes, bebidas y pudines, entre otros (Fioreze y Morini, 2000).

El ñame (*Dioscorea alata*), también conocido como taberna, cabeza de negro, batatilla, tus y cará (Montaldo, 1991), es un cultivo que es consumido como alimento energético debido a que presenta un alto contenido de almidón (70-80% de su peso en materia

seca) y una elevada concentración de proteínas (12%), superior a la determinada para otras raíces y tubérculos tropicales. Además, contiene fibra dietética (7-8%), compuestos antioxidantes, y vitaminas y minerales tales como ácido ascórbico (30 µg/g), calcio (140 µg/g) y fósforo (430 µg/g), que incrementan su valor nutricional (Chou *et al.*, 2006).

El ñame se ha utilizado desde hace muchos años como ingrediente en la medicina tradicional china, ya que sus rizomas se emplean para el tratamiento de la indigestión, la anorexia, la diarrea y la diabetes. Además, se ha demostrado que el consumo de ñame tiene efectos hipotriacilglicerolémicos e hipocolesterolémicos, y que sus extractos y harinas contienen compuestos antioxidantes, altamente recomendados para mitigar el daño y las enfermedades causadas por com-

puestos oxidativos (Djerassi, 1992; Hou *et al.*, 2001; Kaur y Kapoor, 2002).

Las harinas y almidones obtenidos a partir de diferentes variedades de ñame presentan ciertas propiedades funcionales, entre las cuales destaca la ausencia de un máximo de viscosidad y la estabilidad de las suspensiones a elevadas temperaturas y bajos valores de pH. Por ello podrían ser utilizados en la elaboración de productos que deben mantener su viscosidad estable durante una fase de calentamiento constante, como por ejemplo, las mezclas para sopas y pudines instantáneos (Wang *et al.*, 2007).

En líneas generales, los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura de los alimentos y por sus propiedades espesantes y gelificantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón a veces resulta poco

eficiente, ya que ciertas condiciones de los procesos tecnológicos, como temperatura, pH y presión, reducen su uso en aplicaciones industriales al provocar una baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Amani *et al.*, 2005; Bello-Pérez *et al.*, 2002; Kaur *et al.*, 2004). Además, algunas dispersiones de almidón nativo, como aquellas obtenidas a partir de raíces y tubérculos, imparten una textura gomosa y cohesiva en aquellos alimentos donde se utilizan como agentes espesantes (Wurzburg, 1986).

Estas limitaciones se pueden superar modificando la estructura nativa del almidón por métodos químicos, físicos y enzimáticos, los cuales permiten obtener diferentes tipos de almidones modificados de acuerdo a las condiciones específicas para cada alimento (Fleche, 1985). Estos almi-

PALABRAS CLAVE / Almidón Granular / Almidón Modificado / *Dioscorea alata* /

Recibido: 12/01/2009. Modificado: 30/03/2009. Aceptado: 31/03/2009.

Emperatriz Pacheco de Delahaye (†). Bióloga, Universidad Central de Venezuela (UCV), Venezuela. MSc. en Alimentos y Nutrición, Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Dra.

en Ciencia de los Alimentos, Université de Paris, Francia. Profesora UCV, Venezuela.

Nora Techeira. Ing. Agrónoma y MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, UCV, Venezuela. Profesora UCV, Venezuela. Dirección: Laboratorio de Bioquímica de Alimentos.

Instituto de Química y Tecnología, Facultad de Agronomía, UCV. Av. Universidad, Vía El Limón, Maracay, Edo. Aragua, Venezuela. email: noratecheira@yahoo.es

CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF NATIVE AND MODIFIED YAM (*Dioscorea alata*) STARCH

Emperatriz Pacheco de Delahaye (†) and Nora Techeira

SUMMARY

Yam (Dioscorea alata) starch was modified through alkaline and alcoholic-alkaline treatments, with the objective to assay their chemical composition and some of their functional properties, with the aim of studying its possible use as an ingredient of food products manufacture. The results obtained indicate that water absorption capacity (swelling) and solubility were increased with the modification made, while the freeze-thawing stability improved with each one of the treatments. The modified

starch had a lower trend to setback, measured as transmittance percentage, and the viscosity of each one of the studies of yam starch suspensions kept stable during the constant warming period to which they were submitted to obtain the amylographic curves. The modified yam starch could be applied as a thickener for soups and a stabilizer in frozen desserts, specially the cold water soluble granular starch (AGSAF), due to a greater capacity to dissolve in water at room temperature.

PROPRIEDADES QUÍMICAS E FUNCIONAIS DO AMIDO NATIVO E MODIFICADO DE INHAME (*Dioscorea alata*)

Emperatriz Pacheco de Delahaye (†) e Nora Techeira

RESUMO

Modificou-se amido de inhame (Dioscorea alata) mediante tratamentos alcalino e alcoólico-alcalino e se avaliou a composição química e algumas de suas propriedades funcionais, com a finalidade de sugerir sua possível utilização na elaboração de produtos alimentícios. Os resultados obtidos indicaram que a capacidade de absorção de água (inchamento) e a solubilidade se incrementaram com as modificações realizadas, ao tempo que a estabilidade ao congelamento-degelo melhorou com cada um dos tratamentos. Os amidos modificados experimentaram uma menor tendência à retrogradação, medida como porcentagem de

transmitância, e a viscosidade de cada uma das suspensões de amidos de inhame em estudo se manteve estável durante o período de aquecimento constante ao que foram submetidas para a elaboração das curvas amilográficas. Os amidos de inhame modificados poderiam ter aplicação como espessantes para sopas e estabilizantes em sobremesas congeladas, especialmente os amidos granulares solúveis em água fria (AGSAF), por apresentar uma maior capacidade de solubilizar-se em água à temperatura ambiente.

dones generalmente muestran mejor claridad de pasta y estabilidad, imparten diversos grados de viscosidad, menor tendencia a la retrogradación y aumento en la estabilidad al congelamiento-deshielo, entre otras ventajas (Agboola *et al.*, 1991; Amani *et al.*, 2005; Schmitz *et al.*, 2006).

No obstante, para extender la utilización del almidón en aplicaciones industriales, se han desarrollado almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF), los cuales confieren propiedades funcionales importantes a los productos alimenticios instantáneos, tales como una mayor viscosidad, textura suave y propiedades similares a las de los almidones pregelatinizados. Los AGSAF se pueden producir por un tratamiento del almidón en una solución acuosa de alcohol, con alta temperatura y presión, mediante un proceso de secado por aspersión en un sistema de doble boquilla y por un tratamiento alcohólico-alkali-

no, el cual es eficaz con una gran variedad de almidones, resultando viscosidad más alta y mayor estabilidad al congelamiento-deshielo (Bello-Pérez *et al.*, 2002).

En vista de que el ñame representa una fuente alternativa para la obtención de almidones y de que existen pocos estudios referidos a la modificación química de este polímero, se planteó la obtención y caracterización de almidones nativos y modificados de ñame empleando dos tratamientos, uno alcalino y otro alcohólico-alkalino, a fin de evaluar sus propiedades físico-químicas y funcionales y así poder sugerir su posible utilización en la industria alimentaria.

Materiales y Métodos

Materia prima

Los tubérculos de ñame (*Dioscorea alata*) fueron adquiridos (~40kg) en el Mercado Municipal de la ciudad

de Maracay, Estado Aragua, Venezuela, a un mismo proveedor a fin de minimizar la posibilidad de mezclas varietales. Presentaban un tiempo postcosecha estimado de 5-8 días.

Aislamiento del almidón de ñame

El aislamiento y purificación de los almidones nativos de ñame se realizó a partir de los tubérculos crudos, utilizando el procedimiento reportado por Kim *et al.* (1995) y modificado por Bello-Pérez *et al.* (2002), el cual se describe a continuación.

Los tubérculos fueron pelados y cortados en cubos (5-6cm.), los cuales se lavaron en una solución de sulfato de sodio (1,22g·l⁻¹) y se maceraron en una licuadora por 2min a baja velocidad. El homogeneizado se pasó a través de tamices de 50 y 100 mesh (300 y 150µm, respectivamente) hasta que el agua de lavado se obser-

vó completamente limpia. A continuación, el macerado se centrifugó a 5000rpm por 30min. El sedimento correspondiente al almidón se secó en estufa con circulación de aire forzado a 45°C por 48h, para posteriormente ser triturado en un mortero hasta un tamaño de partícula de 150µm. El almidón así obtenido fue almacenado a temperatura ambiente en recipiente cerrado.

Obtención de almidones de ñame modificados

Los almidones modificados por tratamiento alcalino fueron obtenidos de acuerdo a la metodología descrita por Farhat *et al.* (1999). Para ello se suspendieron 100g. de almidón de ñame nativo en 900ml. de una solución de NaOH 0,05M, agitando suavemente por un período no mayor a 2min. A continuación se filtró la suspensión y el residuo obtenido se suspendió nuevamente en una solu-

ción de NaOH 0,05M. Para garantizar que la suspensión obtenida estuviera libre de todo material no amiláceo, el proceso descrito anteriormente se repitió cuatro veces, hasta evidenciar la desaparición de una capa de color marrón sobre la superficie de la suspensión. Una vez obtenido el precipitado, éste fue sometido a un proceso de centrifugación a 3500rpm por 15min. El sedimento se secó a 45°C por 48h y los gránulos de almidón deshidratados fueron triturados en mortero hasta un tamaño de partícula de 150µm.

Los almidones granulares solubles en agua fría fueron obtenidos según el método descrito por Chen y Jane (1994). Para ello, se suspendieron 100g. de almidón de ñame nativo en una solución de 3l de etanol-agua al 40% (v/v). A esta mezcla se le adicionó 40ml de NaOH 3M a una velocidad de 4g·min⁻¹, bajo agitación lenta. Después de 10min, la mezcla se dejó a temperatura ambiente hasta que los gránulos de almidón comenzaron a sedimentar. Posteriormente, el almidón se resuspendió en 3l de una solución acuosa de etanol al 40% (v/v) y se neutralizó con HCl 3M. Los gránulos se deshidrataron en estufa con circulación de aire forzado a 80°C por 3h. Finalmente, el almidón seco se sometió a un proceso de molienda hasta que alcanzó un tamaño de partícula igual a 150µm y se almacenó a temperatura ambiente en recipientes cerrados.

Composición química de los almidones de ñame

Siguiendo la metodología descrita por la AOAC (1990) se determinó el contenido de humedad (N° 925.09), cenizas (N° 923.03), proteína cruda (N° 979.09), grasa cruda (N° 920.39) y fibra dietética (N° 985.29). El contenido de almidón fue determinado de acuerdo a McCready *et al.* (1957), amilosa por Juliano (1971), y los polifenoles tota-

les por Kaluza *et al.* (1980), utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Poder de hinchamiento, absorción de agua y solubilidad en agua

Estos parámetros fueron determinados según la metodología de Anderson (1982) para el intervalo de temperatura de 60-95°C.

Solubilidad en agua fría

La solubilidad en agua fría de los almidones se determinó por el método de Eastman y Moore (1984), modificado por Bello-Pérez *et al.* (2002). Para ello, a 100ml de agua destilada se les adicionó 1g (base seca) de cada almidón, mezclándose a baja velocidad en una licuadora. Una vez añadida toda la muestra de almidón, el equipo se operó por 2min a alta velocidad. La suspensión fue vaciada en frascos de 250ml, para luego centrifugar a 3500rpm durante 15min. Del sobrenadante se tomó una alícuota de 25ml y se transfirió a una caja de Petri previamente pesada, y se secó en estufa a 110°C por 4h. Por diferencia de peso se calculó la solubilidad en agua fría (%).

Estabilidad y claridad de las pastas, y estabilidad al congelamiento-deshielo

Se midió la estabilidad y la claridad de las pastas de almidón a temperatura ambiente y a 4°C, de acuerdo a la metodología propuesta por Bello-Pérez *et al.* (2002). Para ello se suspendieron 0,2g de una muestra de almidón en 5ml de agua utilizando tubos de ensayo con tapa que fueron colocados en un baño de agua a ebullición por 30min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5min. Después de enfriar a temperatura ambiente se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) a 650nm utilizando agua como testigo. Tres de las muestras se almacenaron

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE ÑAME NATIVO (AN), DEL ALMIDÓN DE ÑAME MODIFICADO POR TRATAMIENTO ALCALINO (MA), Y DE LOS ALMIDONES DE ÑAME GRANULARES SOLUBLES EN AGUA FRÍA (AGSAF)

Composición	Muestras		
	AN	MA	AGSAF
Humedad (%)	11,60 ±0,19 c	10,73 ±0,05 b	10,63 ±0,08 b
Cenizas (%)	0,43 ±0,02 b	0,24 ±0,04 a	0,20 ±0,02 a
Proteína cruda (%)	0,33 ±0,02 a	0,24 ±0,04 a	0,20 ±0,02 a
Fibra dietética (%)	0,54 ±0,00	0,15 ±0,00	1,20 ±0,00
Grasa cruda (%)	0,05 ±0,02 a	0,00 ±0,00 a	0,00 ±0,00 a
Almidón (%)	94,67 ±0,42 b	95,64 ±0,76 b	98,27 ±0,37 c
Amilosa (%)	27,50 ±1,64 a	30,01 ±0,36 a	27,80 ±0,21 a
Polifenoles (%)	0,05 ±0,00 a	0,00 ±0,00 a	0,00 ±0,00 a

Los valores promedio con la misma letra en una misma fila no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple (p≤0,05; n=3).

a temperatura ambiente y a 4°C, midiendo el %T a las 24, 48 y 72h.

Perfil amilográfico

Se midió según metodología de la AACCC (2000), empleando un Visco-amilográfico Brabender. Los parámetros considerados fueron temperatura de gelatinización, viscosidad inicial, viscosidad máxima, viscosidad al final del período de calentamiento y viscosidad al final del período de enfriamiento. Las características reológicas de estabilidad, asentamiento y consistencia, expresadas en unidades Brabender, fueron interpretadas y calculadas de acuerdo a Mazur *et al.* (1953) y Merca y Juliano (1983).

Análisis estadístico

Los datos reportados son promedios de tres réplicas (± desviación estándar) y se sometieron a un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA), haciendo uso del paquete estadístico *Statistics* (SPSS versión 17.0).

Resultados y Discusión

Composición química

En la Tabla I se presentan los rendimientos y la

composición química de los almidones nativo y modificado de ñame. El rendimiento promedio obtenido para el almidón nativo fue de 12,91%, mientras que para los almidones modificados fue de 7,78% (tratamiento alcalino) y 8,44% (AGSAF).

La composición química indica la pureza del almidón, y su consideración es importante al momento de evaluar las propiedades funcionales, ya que éstas pueden verse afectadas por ciertas impurezas presentes. El grado de pureza está determinado por el contenido de almidón, que para las muestras en estudio fue de 94,67; 95,64 y 98,27% para el nativo, granular y alcalino, respectivamente. Para los tres tipos de almidones de ñame evaluados, los contenidos de proteína cruda (0,20-0,33%) y materia grasa (<0,1%), fueron bajos, lo cual indica, conjuntamente con la ausencia de polifenoles en los almidones estudiados, el alto grado de pureza de cada uno de los almidones obtenidos.

El contenido de fibra dietética determinado para los AGSAF (1,20%), fue superior al resto de los almidones evaluados (<0,60%) y a los reportados por Pérez *et al.* (1999, 2005) y Araújo *et al.* (2004) para almidones obtenidos a partir de otras raíces

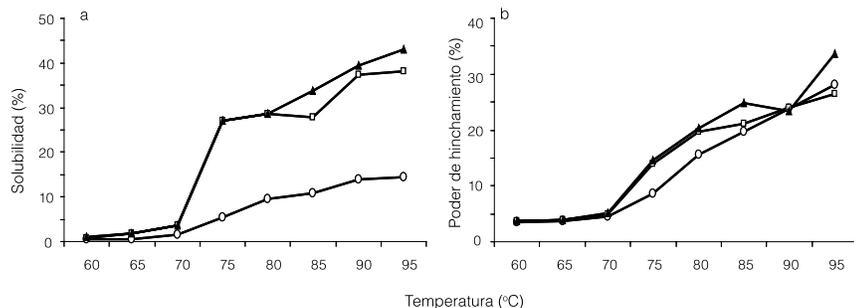


Figura 1. Perfiles de solubilidad (a) e hinchamiento (b) de los almidones de ñame nativo (O), modificado por tratamiento alcalino (■) y por tratamiento alcohólico-alcalino (AGSAF; ▲).

y tubérculos tropicales. Las diferencias existentes posiblemente se deben a que el tratamiento alcohólico-alcalino incrementó la concentración de fibra dietética, producto de la formación de enlaces glucosídicos diferentes a los enlaces cruzados $\alpha(1\rightarrow4)$ o $\alpha(1\rightarrow6)$, o por la presencia de grupos sustituyentes que disminuyen la disponibilidad del almidón para las enzimas amilolíticas, reduciendo su digestibilidad y provocando la formación de almidón resistente, el cual se incluye dentro de la fracción de fibra dietética (Chen y Jane, 1994; Lii *et al.*, 2003; Aguirre *et al.*, 2007).

El estudio revela un contenido en amilosa de 27,50% (en almidón nativo), 27,80% (en AGSAF) y 30,01% (en almidón modificado con NaOH), valores comparables a los obtenidos por Gallant *et al.* (1982), Rincón *et al.* (2000) y Jayakody *et al.* (2007) para almidones de diferentes especies del género *Dioscorea*. Por sus contenidos en amilosa, los almidones de papa (20%), maíz (25%) y trigo (25%) usualmente se consideran formadores de geles (Thomas y Atwell, 1999) y, por lo tanto, podría inferirse que los almidones nativo y modificados de ñame en estudio, con un mayor contenido de amilosa, probablemente originan geles más firmes.

Poder de hinchamiento y solubilidad

Como era de esperarse, al aumentar paulatinamente

la temperatura se produce el incremento gradual en la solubilidad (Figura 1a) y en el poder de hinchamiento (Figura 1b) para cada una de las muestras evaluadas, ya que con el incremento de la temperatura se produce una pérdida paulatina del orden molecular del almidón y tiene lugar un incremento de la energía cinética del sistema, facilitándose el ingreso de las moléculas de agua al interior del gránulo.

El mayor poder de hinchamiento (34%) y de absorción de agua (33g agua / g almidón) observado para los AGSAF a temperaturas $>75^{\circ}\text{C}$ (Figura 1b) es producto de una combinación de efectos: i) las altas temperaturas incrementan el grado de hinchamiento del gránulo al provocar la ruptura de enlaces intragranulares; ii) el tratamiento con etanol provocó la disrupción de las regiones amorfas, permitiendo así que el hinchamiento de los gránulos ocurriera libremente; y iii) aparecen cargas negativas sobre las moléculas de almidón debido a la ionización

de los grupos hidroxilo, generando un fenómeno de repulsión que facilita la entrada del agua en el interior de los gránulos, con un subsiguiente incremento en su tamaño y volumen (Miles *et al.*, 1985; Karim *et al.*, 2008).

Los valores de solubilidad (Figura 1a) obtenidos para los almidones modificados químicamente a partir de 75°C (25-45%) fueron superiores a los reportados para el almidón nativo, ya que los tratamientos alcalinos ó alcohólicos-alcalinos, al reducir el grado de cristalinidad por disminución de la capacidad de asociación entre las moléculas de almidón, debilitan la estructura granular, facilitando la lixiviación de material amiláceo al exterior del gránulo una vez ocurrida la gelatinización. Además, este tipo de modificaciones provocan el acortamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina (despolimerización), disminuyendo su peso molecular e incrementando su capacidad de dispersión en un medio acuoso (Chen y Jane, 1994;

Bello *et al.*, 2002; Adebowale y Lawal, 2003).

Solubilidad en agua fría

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla II, donde se puede apreciar que existen diferencias significativas para cada una de las muestras evaluadas, ya que los AGSAF fueron los que mostraron valores más altos de solubilidad (33,07%). Este comportamiento se atribuye a la incorporación de bajas concentraciones de etanol ($<40\%$), lo cual provoca: i) disminución en el número de asociaciones entre cadenas de

TABLA II
SOLUBILIDAD EN AGUA FRÍA DEL ALMIDÓN DE ÑAME NATIVO (AN), DEL ALMIDÓN DE ÑAME MODIFICADO POR TRATAMIENTO ALCALINO (MA), Y DE LOS ALMIDONES DE ÑAME GRANULARES (AGSAF)

Muestras	Solubilidad en agua fría (%)
Almidón nativo	7,18 \pm 0,05 a
Almidón MA	20,45 \pm 0,02 b
AGSAF	33,07 \pm 0,02 c

Los valores con la misma letra en una misma columna no son estadísticamente diferentes. Análisis de varianza y de rango múltiple ($p\leq 0,05$; $n=3$).

almidón, facilitando su dispersión en agua; y ii) despolimerización o acortamiento de los polímeros que constituyen el almidón, permitiendo que dichos componentes se muevan rápidamente y con mayor facilidad hacia el medio dispersante, sin necesidad de que ocurra la gelatinización (Chen y Jane, 1994; Adebowale y Lawal, 2003).

Estabilidad y claridad de los geles de almidón

Se observaron diferencias en la transmitancia (%T) entre las muestras de almidón almacenadas a temperatura ambiente y a 4°C (Figura 2), ya que los valores obtenidos fueron más bajos a 4°C que a temperatura ambiente, debido a que las bajas temperaturas

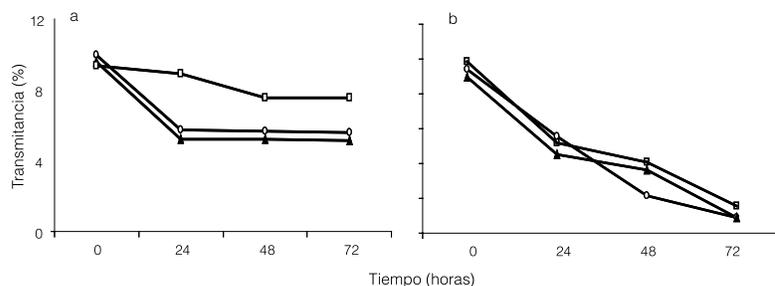


Figura 2. Claridad (%T a 650 nm) a temperatura ambiente (a) y 4°C (b) de los almidones de ñame nativo (O), modificado por tratamiento alcalino (▲) y por tratamiento alcohólico-alcalino (AGSAF; ■).

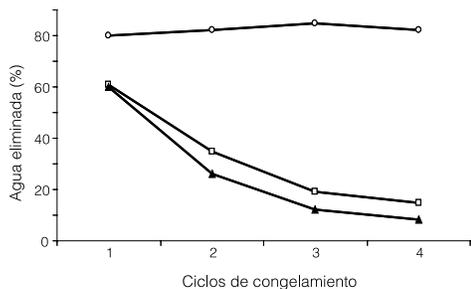


Figura 3. Estabilidad al congelamiento-deshielo para el almidón de ñame nativo (○), modificado por tratamiento alcalino (□) y por tratamiento alcohólico-alcalino (AGSAF; ▲).

incrementaron la retrogradación que experimentan las moléculas de almidón. Este fenómeno es determinado por la gelificación de la fracción de amilosa y por la recristalización de la amilopectina, una vez ocurrida la gelatinización, en la fase de enfriamiento (Miles *et al.*, 1985; Gidley, 1987; Bello *et al.*, 2002; Amani *et al.*, 2005). Además, el almacenamiento bajo refrigeración pudo resultar en la formación de cristales menos perfectos que los constituidos a temperatura ambiente, pero debido al contenido de amilosa (25-30%) en los almidones analizados, la agregación de cadenas pudo haberse desarrollado a gran velocidad, disminuyendo el %T significativamente. También el tiempo de almacenamiento es responsable de la disminución del %T porque después de cierto tiempo la propagación y maduración de los cristales en la fracción de amilopectina puede verse favorecida, incrementando la retrogradación de la muestra (Liu *et al.*, 1998; Meza *et al.*, 2001).

Para la estabilidad y claridad de las pastas se encontraron diferencias significativas, puesto que las suspensiones de AGSAF fueron las que presentaron los valores más altos de transmitancia y por ende, una menor tendencia a la retrogradación, tanto a temperatura ambiente como en refrigeración. Este comportamiento podría atribuirse al tipo de modificación empleada, ya que la introducción de pequeñas cantidades de

grupos sustituyentes genera el debilitamiento de los gránulos de almidón, estabilizando las dispersiones y previniendo el alineamiento y retrogradación de las moléculas, favoreciendo la formación de geles suaves que no experimentan sinéresis (Chen y Jane, 1994; Bello *et al.*, 2002; Amani *et al.*, 2005).

Estabilidad al congelamiento y deshielo

La estabilidad al congelamiento-deshielo del almidón de ñame nativo se incrementó con las modificaciones realizadas (Figura 3), ya que el almidón nativo presentó una menor estabilidad, debido a la mayor cantidad de agua eliminada (80% en el cuarto ciclo de congelamiento). Los almidones alcalinos mostraron gran estabilidad, ya que en el tercer y cuarto ciclo de congelamiento, el porcentaje de agua separada fue muy bajo (12-15%). Cuando se prepararon los AGSAF posiblemente se generó una despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina, generando moléculas más lineales. Por tanto, es factible que se haya presentado un fenómeno de agregación gradual de las cadenas lineales formando una malla que disminuyó la cantidad de agua separada (Chen y Jane, 1994; Bello *et al.*, 2002).

Perfil amilográfico

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos

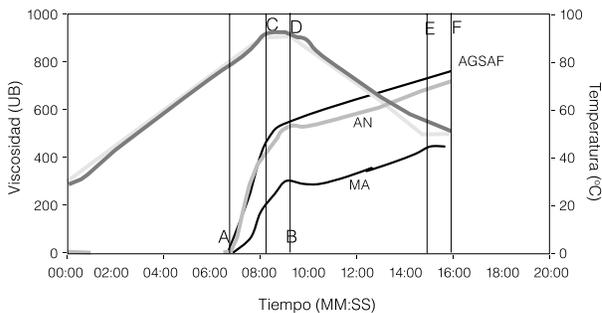


Figura 4. Curvas amilográficas obtenidas para el almidón de ñame nativo (AN), modificado por tratamiento alcalino (MA) y por tratamiento alcohólico-alcalino (AGSAF).

en los perfiles amilográficos efectuados para cada uno de los almidones de ñame en estudio, a una concentración de 4% en base seca. Los almidones exhibieron temperaturas iniciales de gelatinización (TIG) de 80°C (nativo) y 81,4°C (modificados). Es decir que aparentemente las modificaciones químicas no provocaron cambios significativos a nivel de las fuerzas internas que mantienen enlazadas las moléculas de amilosa y amilopectina en el interior de los gránulos.

Durante el calentamiento, la viscosidad de las pastas fue en aumento hasta alcanzar valores de viscosidad máxima de 517, 528 y 257 UB, para los almidones nativo, granular y modificado vía alcalina, respectivamente, sin presentarse para ninguna de las muestras evaluadas un máximo de viscosidad definido, lo cual se traduce en una mayor estabilidad de los gránulos al calentamiento. En la fase de enfriamiento, todas las suspensiones de almidón de ñame estudiadas presentaron una tendencia a incrementar su viscosidad y, por consiguiente, a la retrogradación, pero sobre todo en las muestras de almidón nativo con un aumento de 206 UB en el valor de viscosidad.

Conclusiones

El almidón granular soluble en agua fría AGSAF obtenido de ñame presentó un mayor grado de pureza respecto al almidón nativo, con modificaciones de sus propiedades

funcionales, ya que se caracterizaron por tener un mayor poder de hinchamiento, una elevada solubilidad en agua fría, mayor estabilidad y claridad de las pastas, así como un incremento significativo de su resistencia a los procesos de congelamiento y deshielo, a pesar de que el tratamiento alcohólico-alcalino empleado no retrasó significativamente el fenómeno de

retrogradación. Todos estos cambios, en conjunto, permiten sugerir que los almidones de ñame granulares obtenidos en el presente estudio podrían utilizarse como agentes espesantes y estabilizantes en alimentos sometidos a procesos de calentamiento constante y/o almacenamiento refrigerado, tales como sopas y postres instantáneos.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen la ayuda de la TSU Gloria Bétancourt y el financiamiento parcial del CDCH-UCV.

REFERENCIAS

- AACC (2000) *Approved Methods of the AACC*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EEUU. 1200 pp.
- Adebowale K, Lawal O (2003) Functional properties and retrogradation behaviour of native and chemically modified starch of mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *J. Sci. Food Agric.* 83: 1541-1546.
- Agboola S, Akingbala J, Oguntimein G (1991) Physicochemical and functional properties of low DS cassava starch acetates and citrates. *Starch/Stärke* 43: 62-66.
- Aguirre-Cruz A, Álvarez-Castillo A, Yee-Madeira H, Bello-Pérez L (2008) Production of fiber-rich powder by the acid treatment of unripe banana flour. *J. Appl. Polym. Sci.* 109: 382-387.
- Amani N, Kamenan A, Rolland-Sabaté A, Colonna P (2005) Stability of yam starch gels during processing. *Afr. J. Biotechnol.* 4: 94-101.
- Anderson R (1982) Water absorption and solubility and amilograph characteristics of roll-cooked

- small grain products. *Cereal Chem.* 59: 265-269.
- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUU. 115 pp.
- Araújo C, Rincón A, Padilla F (2004) Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Arch. Latinoam. Nutr.* 54: 241-244.
- Bello-Pérez L, Contreras S, Romero R, Solorza J, Jiménez A (2002) Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (*Musa paradisiaca* L. var. Macho). *Agrociencia* 36: 169-180.
- Chen J, Jane J (1994) Preparation of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Cereal Chem.* 71: 618-622.
- Chou S, Chiang B, Chung Y, Chen P, Hsu C (2006) Effects of storage temperatures on the antioxidative activity and composition of yam. *Food Chem.* 22: 618-623.
- Djerassi C (1992) Drugs from third world plants: *The Future Science* 258: 203-204.
- Farhat I, Oguntona T, Neale R (1999) Characterization of starches from West African yams. *J. Sci. Food Agric.* 79: 2105-2112.
- Fioreze R, Morini B (2000) Yam (*Dioscorea* sp.) drying with different cuts and temperatures: Experimental and simulated results. *Cien. Tecn. Alim.* 20: 262-266.
- Fleche G (1985) Chemical modification and degradation of starch. In: *Starch Conversion Technology*. Van Beynum GM and Roel JA (eds.). Marcel Dekker Inc., Nueva York, pp: 73-99.
- Gallant O, Bouchet B, Buleon A, Péres S (1992) Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: 3S-16S.
- Gidley M (1987) Factors affecting the crystalline type (A-C) of native starches and model compounds: a rationalization of observed effects in terms of polymorphic structures. *Carbohydr. Res.* 161: 301-304.
- Hou W, Lee M, Chen H, Liang W, Han C, Liu Y, Lin Y (2001) Antioxidant activities of Dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea* spp.) tuber. *J. Agric. Food Chem.* 49: 4956-4960.
- Jayakody L, Hoover R, Liu Q, Donner E (2007) Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* spp.) starches in Sri Lanka. *Carbohydr. Polym.* 10: 1016-1023.
- Juliano B (1971) A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci. Today* 16: 334-360.
- Kaluza WZ, McGrath RM, Roberts TC, Shroder H (1980) Separation of phenolics of sorghum bicolor. *J. Agric. Food Chem.* 28: 1191-1196.
- Karim A, Nadiha M, Chen F, Phuah Y, Chui Y, Fazilah A (2008) Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Hydrocol.* 22: 1044-1053.
- Kaur C, Kapoor H (2002) Antioxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37: 153-161.
- Kaur L, Singh N, Singh J (2004) Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches. *Carbohydr. Polym.* 55: 211-223.
- Kim, YS, Wiesenborn DP, Orr PH, Grant LA (1995) Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.* 60: 1060-1065. Lii C, Tomasik P, Hung W, Yen M, Lai M (2003) Granular starches as dietary fibre and natural microcapsules. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38: 677-685.
- Liu H, Ramsden L, Corke H (1998) Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. *Starch/Stärke* 51(7): 249-252.
- Mazur E, Schoch T, Kite F (1953) Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of the various starches. *Cereal Chem.* 59: 265-269.
- McCready RM, Guggolz J, Silveira V, Owens H (1950) Determination of starch and amylose in vegetables: application to peas. *Anal. Chem.* 22: 1156-1158.
- Merca F, Juliano B (1983) Physicochemical properties of starch of intermediate-amylose and waxy rice differing in grain quality. *Starch/Stärke* 33: 253-260.
- Meza K, Bello L, Contreras S, Paredes O (2001) Functional properties of corn, banana and potato starch blends. *Acta Cient. Venez.* 52: 62-67.
- Miles M, Morris V, Orford P, Ring S (1985) The roles of amylose and amylopectin in gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr. Res.* 135: 271-281.
- Montaldo A (1991) *Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Agroamérica. Costa Rica. 407 pp.
- Pérez E, Pacheco E (2005) Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Ipomoea batatas*. *Acta Cient. Venez.* 56: 12-20.
- Pérez E, Borneo R, Melito C, Tovar J (1999) Chemical, physical and morphometric properties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza* B.) starch. *Acta Cient. Venez.* 50: 240-244.
- Pérez E, Schultz F, Pacheco E (2005) Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocasia esculenta* (taro). *Carbohydr. Polym.* 60: 139-145.
- Rincón A, Araújo C, Carrillo F, Martín E (2000) Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las Dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) y mapuey (*Dioscorea trifida*). *Arch. Latinoam. Nutr.* 50: 286-290.
- Schmitz C, De Simas K, Santos K, João J, De Mello R, Amante E (2006) Cassava starch functional properties by etherification-hydroxypropylation. *Int. J. Food Sci.* 41: 681-687.
- Thomas D, Atwell W (1999) Starch structure. En *Starches: Practical Guide for the Food Industry*. Eagan Press. St. Paul, MN, EEUU. pp. 1-12.
- Wang S, Yu J, Gao W, Pang J, Chen H, Liu H (2007) Granule structure of C-type Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb var. Zhongbowen) starch by acid hydrolysis. *Food Hydrocol.* 10: 1016-1019.
- Wurzberg B (1986) Forty years of industrial starch research. *Cereal Food World* 31: 897-903.