

Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado

Lizet Bou Rached, Consuelo A. de Vizcarrondo, Alicia M. Rincón, Fanny Padilla

Unidad de Análisis de Alimentos, Facultad de Farmacia, Universidad Central de Venezuela. Caracas

RESUMEN. El mapuey (*Dioscorea trifida*), tubérculo nativo de América tropical y apreciado por su sabor y fina textura, ha sido poco explotado en Venezuela. Su cultivo pudiera sustituir harinas y almidones de uso convencional. En este trabajo se estudiaron física y químicamente harinas de mapuey (variedades blanco y morado), así como algunos micronutrientes. Se evaluaron física, química, fisicoquímica y reológicamente los almidones extraídos. La obtención de las harinas y almidones, se realizó por secado y extracción acuosa respectivamente. El análisis químico se efectuó siguiendo los métodos oficiales. El mayor rendimiento y el más alto contenido de proteínas lo presentó la harina de mapuey morado. En cuanto a los minerales, existen diferencias significativas entre variedades, resultando el mapuey morado con mayor contenido. Los almidones extraídos fueron de alta pureza, corroborada en la microscopía electrónica de barrido. Las micrografías revelaron forma irregular de gránulos (ovalados y alargados), con extremo truncado y superficies lisas; encontrándose gránulos más pequeños en el mapuey morado. Ambas variedades exhibieron un espectro de difracción tipo B. El mayor poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua lo presentó el mapuey blanco; y la mayor solubilidad, el morado. La máxima viscosidad y el más alto valor de Estabilidad ó “Breakdown” lo tuvo el mapuey blanco, sugiriendo gránulos más frágiles. El Asentamiento ó “Setback” resultó menor en el mapuey blanco, infiriéndose menor tendencia a retrogradar. No hubo diferencias significativas en la consistencia de ambos almidones, aún cuando el almidón de mapuey morado tuvo el mayor contenido de amilosa.

Palabras clave: *Dioscorea trifida*, mapuey, almidón, harinas, composición química, propiedades fisicoquímicas, reología.

INTRODUCCION

Las raíces, tubérculos y rizomas alimenticios forman el principal y más económico recurso energético en la dieta de los pueblos tropicales. Su importancia en Venezuela y el mundo es creciente ya que, aparte de su empleo tradicional en la alimentación humana, hoy día han adquirido, gracias al desarrollo científico y tecnológico, gran valor económico, estratégico y agroindustrial (1).

Mundialmente la industria del almidón y las harinas ha estado limitada a unos pocos cultivos tradicionales, maíz, papa, trigo, arroz y yuca. Desde hace algún tiempo se ha venido estudiando la incorporación en productos alimenticios, de

SUMMARY. Evaluation of the flour and starch from white and purple varieties of mapuey (*Dioscorea trifida*). Mapuey (*Dioscorea trifida*), is a tropical America tuber, which is appreciated for its taste and fine texture. It has not been fully cultivated in Venezuela, even though products like its flour and starch could replace conventional used products. In this work physical and chemical characteristic of flours from mapuey (varieties white and purple), were assessed, as well as some of their micronutrients. Physical, physicochemical and rheological properties, and chemical composition of isolated starches were also evaluated. Flours were obtained by a drying process and starches by aqueous extraction. Chemical analysis was performed following standard methodologies. The flour yield of purple mapuey was the highest, as was its protein content. The minerals content, showed significant differences between both varieties, presenting purple variety a higher content. Isolated starches showed high purity, this was corroborated by the scanning electron microscopy which showed irregular shaped granules (oval and elongated), with truncated end and smooth surfaces. Purple mapuey granules were smaller. Both varieties exhibited a B type diffraction pattern. The greater swelling power and water absorption capacity was presented by white mapuey, while the highest solubility was shown by the purple one. The white mapuey had maximum viscosity, as well as the highest value of breakdown, suggesting more fragile granules. Setback was lower in the white mapuey, suggesting lower tendency to retrogradation. The purple mapuey although, it showed a higher amylose content, presented lower consistency, even though the difference was not relevant.

Key words: *Dioscorea trifida*, mapuey, starch, flours, chemical composition, physicochemical properties, rheology.

materias primas no convencionales, provenientes de raíces y tubérculos de origen local, que sean de importancia comercial y nutricional.

La utilización de productos derivados de tubérculos no convencionales en la industria de alimentos en Venezuela es poca, generalmente éstos son preparados y consumidos a nivel doméstico y artesanal. Tubérculos y bulbos de diferentes especies del género *Dioscorea* son utilizados en Venezuela, así como en el resto de Latinoamérica y África como fuente de energía por su alto contenido en nutrientes (carbohidratos).

Las harinas de estos tubérculos podrían constituirse en una alternativa de nutrientes e ingredientes funcionales para formulaciones alimenticias; además, de convertirse en una vía

para el enriquecimiento con vitaminas y minerales, contribuyendo de esta manera a resolver deficiencias en sectores de la población afectados nutricionalmente.

Para el hombre, el almidón es el biopolímero más importante, ya que constituye parte fundamental de su dieta. Tiene gran significado en diversas industrias, tales como la alimentaria, farmacéutica, cosmética, textil y papel, donde no sólo debe tenerse presente la cantidad sino el tipo de almidón a emplear (2).

El almidón se ha usado en la industria de alimentos por sus propiedades funcionales, además de su versatilidad y bajo costo en comparación con otros productos. Este polisacárido contribuye en gran parte a las propiedades de textura de muchos alimentos, ya que actúa, entre otras cosas, como espesante y agente gelificante, enlazante de agua o grasa, controla e influye sobre ciertas características, tales como humedad, consistencia, apariencia y estabilidad en el almacenamiento; además de jugar un papel importante en la aceptabilidad y palatabilidad de numerosos productos alimenticios.

Por otra parte, Venezuela y otros países que utilizan almidón, requieren ampliar y diversificar la utilización de los recursos alimenticios locales. Una manera de lograrlo es produciendo y explotando productos provenientes de fuentes no convencionales como el mapuey (*Dioscorea trifida* L.), el cual tiene un alto potencial alimentario, es de fácil cultivo y producción económica. A partir de este tubérculo es posible obtener harinas y almidones, que podrían ser utilizados como sustitutos parciales o totales en la elaboración de productos alimenticios, representando ésto, una alternativa de uso, ya sea en forma directa o como ingrediente en la formulación de alimentos.

El mapuey es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia Dioscoreaceae (la cual tiene alrededor de 600 especies distribuidas en zonas tropicales), género *Dioscorea* L. (el cual tiene de 15 a 20 especies comestibles). Su nombre científico es *Dioscorea trifida* L. y se caracteriza por presentar raíces tuberosas pequeñas, de unos 15 cm de largo. Es originaria y cultivada en la América Tropical y también cultivada en menor escala en el Sureste de Asia. Es muy apreciada por el sabor y la fina textura de sus tubérculos. Venezuela es uno de los principales productores y su área de cultivo está supeditada a la región oriental del país. Hasta el presente el uso principal es el consumo directo como hortaliza cocida para la alimentación humana (3).

Es quizás por la poca importancia que se le ha dado a este cultivo, que el mismo ha sido objeto de muy pocas investigaciones; el conocimiento existente de la harina y el almidón de mapuey es muy reducido, razón por la cual el propósito de este estudio fue obtener harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida* L.), variedades blanco y morado y evaluar sus propiedades físicas y químicas, así como las características fisicoquímicas y reológicas de los almidones;

para determinar el uso potencial en la industria de alimentos, en el enriquecimiento nutricional o como ingrediente en la preparación de nuevos productos.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Los tubérculos de mapuey (*Dioscorea trifida* L.), variedades blanco y morado fueron adquiridos en el mercado de Chacao (Caracas, Venezuela). Todos los reactivos fueron de grado analítico. Se utilizó amilosa de papa estándar, tipo III (Sigma) y almidón de papa estándar (*Solanum tuberosum*), Lyckeby Stärkelsen, Karlshamn (Sweden). Los resultados se expresaron como el valor promedio \pm la desviación estándar (SD) de $n=3$.

Obtención y caracterización de las harinas

Las harinas de cada variedad se obtuvieron después de procesar los tubérculos, según metodología descrita por Rincón *et al.* (4). Los análisis de humedad, grasa y fibra cruda se determinaron de acuerdo a lo descrito por la AOAC (5), las cenizas según la AACC (6) y las proteínas mediante el método Micro-Kjeldahl utilizando un equipo digestor, marca Velp Scientifica, modelo DK 6 y un destilador, marca Velp Scientifica, modelo UDK 140. Se establecieron los parámetros y condiciones según el manual del equipo, de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (6) (método 960.52). La preparación de la muestra para la determinación de minerales (hierro, sodio, calcio, potasio, magnesio y cobre) se realizó de acuerdo a lo señalado en la AOAC (6) (método 999.11) y la determinación de cada uno de esos minerales fue por espectrofotometría de absorción atómica de acuerdo a las instrucciones del manual del equipo Atomic Absorption Spectrometer, modelo 3110, marca Perkin Elmer, USA.

Morfometría

Las harinas de mapuey (*Dioscorea trifida* L.), variedades blanco y morado fueron estudiadas por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), usando un equipo Marca Hitachi, Modelo S-2400 a 20 KV; de acuerdo a la técnica establecida por el Centro de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UCV. En primer lugar se procedió a la metalización de las muestras en un Metalizador iónico, Marca Hitachi, Modelo E102, Ión Sputter. Las muestras se colocaron en el portamuestras metálico y se sellaron con varios puntos de pintura color plata y recubiertas con oro-paladio.

Extracción, purificación y caracterización del almidón

La extracción y purificación de las muestras de almidón se realizó por el método descrito por Rincón (7). La determinación de humedad, cenizas, proteínas y fibra cruda se efectuó de acuerdo a las metodologías anteriormente citadas

para las harinas. El contenido de grasa se determinó de acuerdo al método descrito por Schoch (8). El almidón total se calculó en base seca por sustracción del contenido de proteínas, grasa y cenizas de 100 g de muestra. El contenido de amilosa se determinó mediante método espectrofotométrico, basado en la formación de un complejo I_2/KI , leído a una absorbancia de 600 nm, según modificación del método de McGrance *et al* (1998) realizada por Hoover & Ratnayake (2000), citado por Ratnayake *et al* (9).

Sinéresis

Esta prueba se realizó cualitativamente. Para ello se prepararon suspensiones de almidón a las concentraciones de 6% y 8%. Luego se colocaron en el recipiente del Micro Visco-Amilógrafo, se calentaron a una tasa de 7,5°C/min, desde 30°C hasta 95°C y luego enfriadas hasta la temperatura de ensayo 50°C. Posteriormente se colocó la suspensión de almidón en un vaso de precipitado de 100 ml de capacidad y se llevó a refrigeración ($\pm 5^\circ\text{C}$) para observar la presencia o ausencia de sinéresis a las 24 y 48 horas.

Morfometría

Los almidones de mapuey, variedades blanco y morado fueron estudiados por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), tal como se hizo para las harinas.

Difracción por rayos X

Los almidones nativos de *Dioscorea trifida* y un estándar de almidón de papa fueron analizados mediante un Difractómetro de rayos X, marca Bruker Siemens, Modelo D8 Advance.

Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua

El poder de hinchamiento, absorción de agua, y solubilidad se determinaron según el método descrito por Whistler (10) y Anderson (11) con algunas modificaciones realizadas por Rincón y Pérez (12).

Acidez y pH

Estos parámetros se determinaron según la AACC (6), métodos 02-31 y 02-52 respectivamente.

Estudio amilográfico

Para la realización del perfil amilográfico se empleó el Micro Visco-Amylo-Graph® Brabender, Duisburg, Alemania (Rapid ViscoAnalyser). Para ello se prepararon suspensiones al 8%, de cada una de las variedades de almidón de mapuey.

Análisis estadístico

La evaluación estadística de los resultados se realizó mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA). Esto para

determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes muestras a un nivel de significancia de 0,05. Este análisis estadístico se realizó mediante el programa Statgraphics Plus for Windows 1.4, Versión 5.1, 1994-1995 by Statistical Graphics Corp, USA.

RESULTADOS Y DISCUSION

Composición química de las harinas

El rendimiento de las harinas por cada 100 g de pulpa (expresada en base seca) fue 18,48 g para el mapuey blanco y 19,90 g para el mapuey morado, resultando estos valores bastante aceptables tomando en cuenta el factor de desecho y el contenido de humedad de la variedad blanco y morado (75,6% y 69,9% respectivamente) (13).

La Tabla 1 presenta la composición química de las harinas de tubérculos de *Dioscorea trifida* (g/100g en base seca), variedades blanco y morado. En cuanto al contenido de humedad, proteínas, grasa y cenizas no hubo diferencias significativas entre una variedad y la otra.

TABLA 1
Composición química de las harinas de tubérculos de *D. trifida* (mapuey)

	Variedad blanco	Variedad morado
Humedad (%) ¹	10,94 \pm 0,14 ^a	10,73 \pm 0,42 ^a
Grasa (%) ¹	0,85 \pm 0,08 ^a	1,29 \pm 0,36 ^a
Proteínas (%) ¹ (N x 6,25)	4,56 \pm 0,08 ^a	4,84 \pm 0,26 ^a
Fibra cruda (%) ¹	0,05 \pm 0,006 ^a	0,06 \pm 0,003 ^b
Cenizas (%) ¹	4,04 \pm 0,17 ^a	3,91 \pm 0,13 ^a
Carbohidratos (%) ²	90,50	89,90

Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

¹Valores reportados en base seca (excepto humedad) y representan el promedio \pm desviación estándar ($n=3$).

²Calculados por diferencia.

Rincón *et al* (14), reportaron resultados similares para la *D. trifida* en sus dos variedades, siendo la excepción el contenido de proteínas y fibra las cuales presentaron valores más altos que los encontrados en este estudio. Por otra parte, Blanco *et al* (15), reportaron valores menores de proteína, grasa, cenizas y carbohidratos totales en *D. alata* cocida, debido posiblemente al efecto del procesamiento. El análisis estadístico reflejó que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el contenido de todos los minerales estudiados en las harinas de mapuey blanco y morado, siendo los valores más altos para el mapuey morado (Tabla 2). Si se compara el contenido de estos minerales con el de otros tubérculos, ñame, papa y yuca (13), las dos variedades de mapuey presentaron

valores superiores en cuanto al contenido de hierro y cobre; no obstante, el sodio fue inferior que el reportado para el ñame; a su vez el mapuey blanco tuvo menor contenido de sodio que la yuca; y la papa de acuerdo a la literatura (13) es la que reporta menor cantidad de este mineral. También se observó menor contenido de magnesio que lo reportado para la papa y yuca (Tabla 2).

Todos estos resultados indican que las harinas de mapuey, variedades blanco y morado, tienen un contenido importante de micronutrientes, lo que sugiere que pudieran ser utilizadas como una alternativa desde el punto de vista nutricional, pudiendo constituirse en insumos no convencionales para la preparación de alimentos que tradicionalmente son elaborados con otros ingredientes.

TABLA 2
Contenido de minerales en harinas de *D. trifida* (mapuey) y otros tubérculos mg/100g

Harinas	Hierro	Calcio	Sodio	Magnesio	Cobre
Variedad blanco ²	5,89 ± 0,44 ^a	18,03 ± 0,52 ^a	28,58 ± 0,73 ^a	36,24 ± 1,02 ^a	12,33 ± 1,50 ^a
Variedad morado ²	10,47 ± 1,02 ^b	24,40 ± 0,79 ^b	39,54 ± 1,48 ^b	40,82 ± 2,02 ^b	31,14 ± 0,93 ^b
Ñame ¹	3,38	N.D.	1477,44	N.D0,	36
Papa ¹	3,56	N.D.	13,33	88,89	0,4
Yuca ¹	1,82	N.D.	39,06	182,29	0,42

Letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

¹Valores modificados (para expresar en base seca) a partir de la Tabla de Composición de Alimentos (13).

²Valor promedio ± desviación estándar ($n=3$).

N.D.= No determinado.

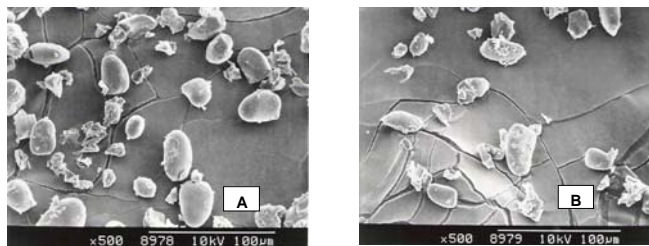
Morfometría de las harinas

La técnica de Microscopía Electrónica de Barrido ha permitido estudiar la forma, tamaño y apariencia de los gránulos de almidón en las harinas, además de permitir comprender diferencias en cuanto a propiedades físicas, los cuales son parámetros útiles en el procesamiento tecnológico (16).

Las fotomicrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido para las muestras de harinas de mapuey, variedades blanco y morado, se muestran en las Figura 1. En estas micrografías se aprecian gránulos de almidón con forma irregular, algunos ovalados con un extremo truncado, observándose la presencia de los otros componentes de la harina (fibra y proteínas).

FIGURA 1

Fotomicrografías de las harinas de *D. trifida* (mapuey) variedades blanco (A) y morado (B)



Además, se encontró que los gránulos de almidón de las harinas de mapuey blanco y morado presentan un diámetro (micras) promedio máximo y mínimo, con sus desviaciones estándar de $28,60 \pm 6,36$ - $19,20 \pm 3,43$ ($n = 13$) y $26,06 \pm 11,29$ - $15,14 \pm 4,03$ ($n = 6$) respectivamente; siendo los gránulos de almidón de mapuey blanco los de mayor tamaño.

Composición química de los almidones extraídos

El rendimiento de los almidones por cada 100 g de pulpa expresada en base seca fue 8,48 g para el mapuey morado y 11,08 g para el mapuey blanco. Este resultado es relativamente bajo, pudiendo atribuirse a pérdidas durante el pelado de los tubérculos y durante el aislamiento y purificación de los almidones, lo cual se realizó a nivel piloto en el laboratorio.

La Tabla 3 muestra los resultados correspondientes a la composición química, rendimiento y algunas propiedades físico-químicas del almidón de mapuey variedades blanco y morado.

El almidón de mapuey presentó alta pureza (almidón total), tanto en la variedad blanco como morado; ésta se juzgó en base a la composición química y las observaciones microscópicas, especialmente por su bajo contenido de proteínas y lípidos. Esto se corresponde con lo reportado para otras fuentes, tales como trigo, maíz, arroz y papa (17).

Con respecto al contenido de humedad, grasa y fibra cruda no hubo diferencias significativas entre las dos variedades estudiadas; sin embargo, los contenidos de proteínas y cenizas sí presentaron diferencias significativas.

TABLA 3
Composición química de los almidones extraídos
de mapuey blanco y morado
(g/100g)

	Variedad morado	Variedad blanco
Humedad ¹	11,49 + 2,06 ^a	9,05 + 0,10 ^a
Nitrógeno ¹	0,009 + 0,00 ^a	0,06 + 0,00 ^b
Proteína ¹ (N x 6,25)	0,06 + 0,01 ^a	0,36 + 0,04 ^b
Grasa ¹	0,02 + 0,00 ^a	0,07 + 0,00 ^a
Ceniza ¹	0,11 + 0,00 ^b	0,07 + 0,00 ^a
Fibra cruda ¹	0,0031 + 0,00 ^a	0,0173 + 0,018 ^a
Almidón total ²	99,81	99,50 ^a
Amilosa ¹	43,33 ± 0,45 ^b	34,72 + 0,30 ^a
Amilopectina	56,67	65,28
Relación Amilosa/ Amilopectina	0,76	0,53
pH ¹	4,12 + 0,03 ^a	4,25 + 0,03 ^b
Acidez titulable (meq/g) ¹	0,0030 + 0,00 ^a	0,0039 + 0,00 ^b

Letras diferentes en una misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Base seca (excepto humedad).

¹Valor promedio ± desviación estándar ($n = 3$).

²Calculado por diferencia.

Los contenidos de humedad, proteína, grasa y cenizas fueron inferiores a los reportados para el almidón de trigo y algunas variedades de sorgo (18).

El pH y la acidez en los almidones, son indicadores del uso de aditivos, fermentación o aplicación de algún tipo de modificación. Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y en la estabilidad de los mismos. Asimismo, la acidez es uno de los índices comunes de la materia prima vegetal, y la misma se debe a la presencia de diversos ácidos orgánicos, en proporciones variables, principalmente: cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, succínico, galacturónico, entre otros. Por lo tanto, la determinación de la acidez constituye un índice de calidad importante, que además, permite determinar si un producto ha sufrido o no algún deterioro, ya sea de tipo físico-químico o microbiológico (2,19). En la Tabla 3, se puede observar que los valores de pH y acidez fueron similares para ambos almidones; sin embargo, hubo diferencias significativas entre ellos; resultando los más altos valores para el mapuey blanco.

En cuanto al contenido de amilosa aparente, hubo diferencias significativas entre las variedades estudiadas, presentando el almidón de mapuey morado el valor más alto.

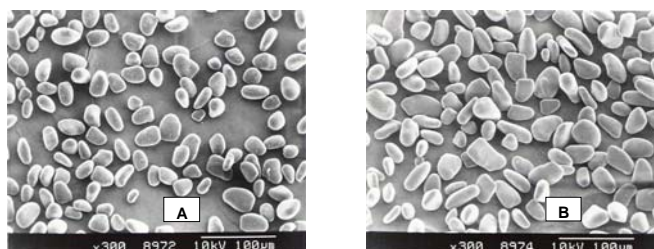
Si se comparan los valores de amilosa reportados por otros autores (20), con los encontrados en este estudio, se puede observar que el valor obtenido para el mapuey blanco, se encuentra en un rango ligeramente superior a los almidones de papa, maíz y trigo normal, y arroz alto en amilosa; mientras

que el mapuey morado 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. Asimismo, la relación amilosa/amilopectina fue mayor para el mapuey morado, indicando mayor contenido de amilosa y por consiguiente 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 del tamaño de gránulo, distribución del tamaño del gránulo y contenido mineral. El contenido de amilosa de los gránulos de almidón varía con la fuente botánica y es afectado por las condiciones climáticas y tipo de suelo durante el crecimiento. 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 contenido de amilosa.

Morfometría del almidón extraído

Las fotomicrografías de los gránulos de almidón aislado de *D. trifida*, variedades blanco y morado, son presentadas en la Figura 2. Los gránulos de almidón de mapuey blanco mostraron forma irregular, algunos ovalados y alargados, con un extremo truncado y superficies lisas, mientras que los gránulos de almidón de mapuey morado mostraron forma más alargada que la variedad blanca, algunos con forma de pera y otros con un extremo truncado.

FIGURA 2
Fotomicrografías del almidón aislado de *D. trifida*
(mapuey) variedades blanco (A) y morado (B)



Con respecto al diámetro de los gránulos de almidón, el mapuey blanco presentó un diámetro (micras) promedio máximo y mínimo, con sus desviaciones estándar de $34,15 \pm 7,97 - 21,39 \pm 4,00$ ($n = 51$) y el mapuey morado presentó $30,33 \pm 9,16 - 16,67 \pm 3,27$ ($n = 36$); resultando los gránulos de almidón de mapuey blanco de mayor tamaño que el morado.

Sinéresis

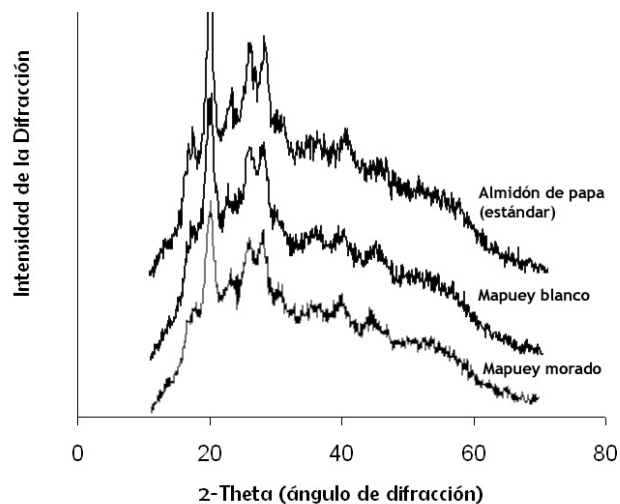
La sinéresis es la tendencia que puede tener un gel a contraerse y exudar líquidos, debido a que el efecto de ligar agua no se obtiene completamente. Es un fenómeno no deseable en los geles de almidones y es indicativo de rearrreglos de los componentes amiláceos, después de la formación del gel, perdiéndose el dominio de las moléculas de agua, las cuales salen fuera del gel (19). La sinéresis es vista desfavorablemente como deterioro de un producto. La cantidad de sinéresis está relacionada directamente con la tendencia de un almidón a retrogradar (21).

En tal sentido, las suspensiones de almidón de mapuey blanco y morado evaluadas (6% y 8%) no presentaron exudado de agua, resultando en ambos casos sinéresis negativa a las 24 y 48 horas. Es de señalar que ambos geles mostraron opacidad a las 48 horas, lo cual podría afectar las características organolépticas cuando se incorporen como ingredientes en un producto.

Difracción de rayos X

Los gránulos de almidón para ambas variedades, blanco y morado, presentaron el patrón característico tipo “B”, correspondiente a los gránulos de almidón de tubérculos (22,23). En la Figura 3 se observan los difractogramas de las dos variedades de mapuey y un estándar de almidón de papa. El patrón de difracción para el mapuey blanco se caracterizó por cinco picos de fuerte intensidad para los ángulos 2-Theta (2θ): 17.5°, 20.1°, 22.6°, 26.1° y 28.1°. Con respecto al mapuey morado, el patrón de difracción se caracterizó también por cinco picos de fuerte intensidad para los ángulos 2-Theta a 17.8°, 20°, 23.1°, 26.1° y 28.1°; mostrando gran simetría en la línea a 20°. Si comparamos estos resultados con lo obtenido para el almidón estándar (papa), éste tuvo también cinco picos de fuerte intensidad para los ángulos 2-Theta: 17.4°, 20.2°, 23.2°, 26.1° y 28.3°, siendo estos resultados muy similares a los presentados por las dos variedades de mapuey.

FIGURA 3
Difractogramas de almidones nativos de *D. trifida* (mapuey) variedades blanco y morado y almidón estándar de papa



Poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua del almidón

Durante la gelatinización, el gránulo de almidón se hincha, sufre ruptura y simultáneamente se libera al exterior la amilosa que se encontraba dentro del gránulo, formando una red tridimensional. El hinchamiento del almidón es la propiedad relacionada con su contenido de amilopectina, actuando la amilosa como un diluyente e inhibidor del hinchamiento (21).

En la Tabla 4 se muestran los resultados correspondientes al poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua, de los almidones. Este estudio reveló, como era de esperarse, que los valores de poder de hinchamiento incrementarían con el aumento de la temperatura, presentándose el mayor valor a los 95° C; siendo más alto para el mapuey blanco, lo cual se confirma por su mayor contenido en amilopectina.

TABLA 4
Propiedades fisicoquímicas del almidón nativo de *D. trifida* (mapuey) variedades blanco y morado

Temperatura (°C)	Poder de Hinchamiento ¹		Solubilidad ¹ (g/100g)		Absorción de agua ¹ (g/100g)	
	Variedad blanco	Variedad morado	Variedad blanco	Variedad morado	Variedad blanco	Variedad morado
60	3,76 ± 0,52	3,66 ± 0,15	0,79	0,23 ± 0,16	2,76 ± 0,52	2,66 ± 0,16
65	3,28 ± 0,08	3,64 ± 0,30	1,45 ± 0,12	0,24 ± 1,41	2,28 ± 0,08	2,64 ± 0,30
70	4,50 ± 1,24	3,18 ± 0,60	1,82 ± 2,18	0,94 ± 0,16	3,50 ± 1,24	2,18 ± 0,60
75	7,93 ± 1,85	4,18 ± 0,28	3,21 ± 0,19	1,00 ± 0,003	6,93 ± 1,85	3,18 ± 0,28
80	13,17 ± 1,15	9,09 ± 0,19	3,77 ± 0,25	4,70 ± 0,18	12,17 ± 1,15	8,09 ± 0,19
85	16,25 ± 0,58	11,97 ± 1,83	5,09 ± 0,24	5,21 ± 1,37	15,25 ± 0,58	10,97 ± 1,83
90	19,36 ± 0,60	15,48 ± 1,38	7,08 ± 1,85	8,08 ± 4,39	18,36 ± 0,60	14,48 ± 1,38
95	22,34 ± 0,35	18,05 ± 2,66	9,89 ± 3,18	11,32 ± 6,28	21,34 ± 0,35	17,05 ± 2,66

¹Valor promedio ± desviación estándar (n= 3)

Como un resultado directo del hinchamiento del gránulo, hay un incremento en la solubilidad del almidón. Los valores de solubilidad, entre 60 y 95°C aumentaron con el incremento de la temperatura para las dos variedades. El mayor grado de solubilidad a 95°C se observó en el mapuey morado (Tabla 4). Este incremento en la solubilidad podría atribuirse al mayor contenido de amilosa en esta variedad, debido a que estas moléculas se solubilizan y salen al exterior del gránulo de almidón hinchado (24).

La capacidad de absorción de agua y la temperatura de gelatinización son características específicas de cada almidón en particular y dependen de diversos factores como por ejemplo el tamaño de los gránulos, relación amilosa/amilopectina, fuerzas intra e intermoleculares, entre otras. La capacidad de absorción de agua de los gránulos de almidón en las dos variedades aumentó con el incremento de la temperatura, presentándose el mayor incremento entre 75 y 80°C; a su vez, ésta fue mayor para el almidón de mapuey blanco (Tabla 4).

Las variaciones en la capacidad de absorción de agua podrían ser atribuidas a la existencia de proporciones diferentes de regiones cristalinas y amorfas dentro de los gránulos de almidón, así los gránulos con muchas zonas amorfas, débilmente asociadas, presumiblemente deberían absorber más agua y viceversa.

Comportamiento reológico de la suspensión de almidón

El comportamiento reológico de las suspensiones de almidón de mapuey blanco y morado, a la concentración de 8 %, se muestra en la Tabla 5.

TABLA 5

Características viscosigráficas de las suspensiones de almidón de *D. trifida*, (mapuey) variedades blanco y morado (8.0g/ 100 ml)

Parámetros	Variedad blanco	Variedad morado
A= Comienzo de la gelatinización (° C)	75, 1	77,5
B= Máxima viscosidad (UB)	3660	3487
C= Viscosidad a 95° C (UB)	3412	3417
D= Viscosidad a 95° C x 5 min. (UB)	2236	2361
E= Viscosidad a 50° C (UB)	2710	2831
F= Viscosidad a 50° C x 1 min. (UB)	2785	2918
Estabilidad o "Breakdown" (B - D)	1424	1126
Asentamiento o "Setback" (E - B)	- 950	- 656
Consistencia o "Setback total" (E - D)	474	470

UB = Unidades Brabender

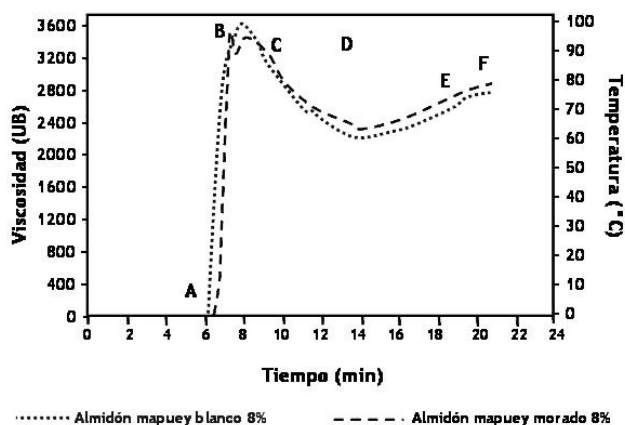
La temperatura de gelatinización es un índice del ordenamiento (asociación) intragranular, por lo que mientras mayor

sea este valor, mayor será el grado de asociación entre las macromoléculas en el interior del gránulo de almidón (20,25). En este estudio, el mapuey morado tiene una temperatura de gelatinización ligeramente mayor que la variedad blanco. Esa diferencia pudiera atribuirse a la relación amilosa/amilopectina, pH, origen botánico o tamaño del gránulo, entre otros factores. Los gránulos de mapuey morado resultaron ser más pequeños (30,33 –16,67 μm) que los de mapuey blanco (34,15-21,39 μm); al ser más pequeños son más resistentes a la ruptura y pérdida del orden molecular; de allí que la temperatura de gelatinización sea más elevada. La máxima viscosidad (B) fue observada en el almidón de mapuey blanco a 88° C y 7:50 min.; mientras que en el mapuey morado fue a 9°C y 8:20 min. (Figura 4); lo que hace suponer que la suspensión de almidón de mapuey morado no es de muy fácil cocción. De acuerdo a los resultados, se puede concluir que los gránulos de la suspensión de almidón de mapuey blanco, tienen mayor capacidad de hinchamiento, lo cual se corresponde con la mayor capacidad de absorción de agua obtenida y por ende una mayor disrupción granular, produciéndose más componentes lixiviados hacia el medio circundante y una mayor viscosidad en la pasta formada. Durante el tiempo en el cual la temperatura se mantuvo a 95°C por 5 min, la viscosidad del sistema disminuyó gradualmente alcanzando 2236 Unidades Brabender (UB) en el mapuey blanco (Tabla 5). Esto es debido posiblemente a que las moléculas de almidón solubles se orientan en la dirección en la cual es agitado el sistema, originándose una disminución en la viscosidad, fenómeno conocido como "Shear Thining" (25). En el mapuey morado este descenso llegó a 2361 UB. En la Tabla 5, se observan también los valores de Estabilidad (Breakdown). En el almidón de mapuey blanco este valor fue superior al morado. Esto confirma nuevamente la mayor capacidad de hinchamiento que tienen los gránulos de mapuey blanco, 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 (Figura 4). 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 mapuey blanco, sus gránulos presentan mayor tamaño y se destruyen más fácilmente ya que son más susceptibles a la ruptura por las fuerzas térmicas o mecánicas aplicadas, 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 (Tabla 5). 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 (20).

FIGURA 4

Amilogramas de almidones nativos de *D. trifida* (mapuey), variedades blanco y morado (8.0 g/100 ml)



La suspensión de mapuey morado presentó el mayor valor de viscosidad a 50° C; este hecho probablemente se debe al rearrreglo 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 (Tabla 5). Para el caso del almidón de mapuey blanco este valor resultó mucho menor (-950 UB) que el mapuey morado (-656UB), por lo que se puede inferir que ambas variedades tienen poca tendencia a la retrogradación, pero el mapuey blanco en menor grado. Este resultado de poca tendencia a retrogradar también se pudo corroborar con la prueba de sinéresis, no observándose en ninguno de los casos. 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. La retrogradación es la cristalización de la cadena de almidón en el gel. 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 morado, éste tiene mayor contenido de amilosa, por lo que presenta mayor tendencia a retrogradar.

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 (2).

Los valores de consistencia obtenidos para las suspensiones de almidón en estudio fueron 474 UB para el mapuey blanco y 470 UB para el mapuey morado, resultando estos valores muy similares entre sí (Tabla 5).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las harinas obtenidas a partir de *Dioscorea trifida* L (mapuey), variedades blanco y morado, son fuentes potenciales de nutrientes representando ambas, una posible alternativa de uso como sustitutos parciales o totales en la elaboración de productos alimenticios. El almidón obtenido de la variedad blanco es de fácil cocción por lo que podría pensarse en su incorporación en formulaciones de productos donde se requiere el desarrollo de una rápida viscosidad y menos tendencia a la retrogradación.

REFERENCIAS

1. Montaldo A, Montilla JJ, Perdomo D, Luciani JF, Mantilla JE. Investigación y mejora de los cultivos de raíces y tubérculos en Venezuela. Rev Fac Agron (Maracay)1992;18:1-19.
2. Tovar ME. Aprovechamiento integral del mango (*Mangifera indica* L.), Caracterización del almidón extraído de la semilla de mango de las variedades Hilacha, Sprongfels y Ford. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 1999.
3. Hernández Y, Trujillo GE. Bacteriosis en mapuey (*Dioscorea trifida* L.). Rev Fac Agron. (Maracay) 1993;19:87-98.
4. Rincón AM, Padilla FC, Tillet S. *Myrosma canifolia*, chemical composition and physicochemical properties of the extracted starch. J Sci Food Agric 1999;79 (4): 532-536.
5. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists International. 17th Edition. Editor Horwitz, W. Maryland, USA. 2000.
6. American Association of Cereal Chemists (AACC). 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. Ninth Edition. Ed. AACC. St. Paul, Minnesota, USA.
7. Rincón AM. Modificación por extrusión y deshidratación por doble tambor de almidones de granos de amaranto y canavalia. M.S. Tesis. Postgrado Interfacultades en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 1993.
8. Schoch TJ. 1964. "Fatty substances in starch" in: Methods in Carbohydrate Chemistry. Vol. IV. Ed. Whistler R. L. Ed. Academic Press. New York, USA. pp. 56-61.
9. Ratnayake WS, Hoover R, Shahidi F, Perera C. Jane J. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. Food Chem 2001;4: 189-202.
10. Whistler RL. "Swelling Power" in "Methods in Carbohydrate Chemistry". Vol II. Ed. cademic Pres. New York, USA. 21964.

11. Anderson RA. Water Absorption and Solubility and Amilograph Characteristic of roll cooked small grain product. *Cereal Chem* 1982;59:265-269.
12. Rincón CA, Pérez SE. Characterization of Drum Drying Pregelatinized Amaranth Starch. *Rev Facultad de Farmacia* 2002;65(2): 39-45.
13. Tabla de Composición de Alimentos para uso práctico. 2001. Ministerio de Salud y Desarrollo Social. Instituto Nacional de Nutrición. Publicación N° 54. Serie Cuadernos Azules. Caracas, Venezuela.
14. Rincón AM, Araujo de VC, Carrillo de PF, Martín E. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) y mapuey (*Dioscorea trifida*). *Arch Latinoamer Nutr* 2000;50(3):286-290.
15. Blanco-Mstzler A, Tovar J, Fernández-Piedra M. Caracterización nutricional de los carbohidratos y composición centesimal de raíces y tubérculos tropicales cocidos, cultivados en Costa Rica. *Arch Latinoamer Nutr* 2004;54(3):322-327.
16. Otto T, Baik B-K, Czuchajowska S. Microstructure of seed, flours and starches of legumes. *Cereal Chem* 1997;74(4): 445
17. García-Alonso A, Jimenez-Escrig A, Martín-Carrón N, Bravo L, Saura-Calixto F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem* 1999;66:181-187.
18. Carcea M, Cubadda R, Acquistucci R. Physicochemical and Rheological Characterization of Sorghum Starch. *J Food Sci* 1992;57(4):1024-1025-1028.
19. Requena. Efecto del grado de acetilación sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón de arroz (*Oryza sativa* L.). Trabajo Especial de Grado, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 2003.
20. Singh N, Singh J, Kaur L, Singh SN, Singh GB. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem* 2003;81:219-231.
21. Karim AA, Norziah MH, Seow CC. Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chem* 2000; 71:9-36.
22. Zobel HF. Molecules to granules: A comprehensive starch review. *Starch/Stärke* 1988;40(2):44-50.
23. Gallant D, Bewa H, Buy QH, Bouchet B, Szylit O, Sealy L. On Ultrastructural and Nutritional Aspects of Some Tropical Tuber Starches. *Starch Stärke* 1982;34 (8):255-262.
24. Rincón AM. Estudio del "Guapo" (*Myrosma cannifolia*) y del "Pan de Árbol" (*Artocarpus altilis*), cultivos no convencionales con posible potencial agroalimenticio e industrial. Trabajo de Ascenso. Facultad de Farmacia. Universidad Central de Venezuela. 2000.
25. Hosney. Principles of cereal science and technology. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul, Minnesota, USA. 1986.

Recibido: 03-11-2006

Aceptado:30-01-2007