

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MODIFICADAS POR VÍA ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE ÑAME (*D. trifida*) UTILIZANDO α -AMILASA (TERMAMYL[®] 120 L, TIPO L)

EVALUATION OF THE PROPERTIES MODIFICATION FOR VIA ENZYMATIC OF THE
STARCH OF YAM (*D. trifida*) USING α -AMILASA (TERMAMYL[®] 120 L, TYPE L)

Everaldo MONTES M.¹; Jairo SALCEDO M.¹; José E. ZAPATA M.¹;
Jesús CARMONA C.¹; Sergio PATERNINA U.⁴

Recibido: Febrero 6 de 2008 Aceptado: Mayo 6 de 2008

RESUMEN

El almidón de ñame constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo. Con frecuencia los almidones nativos o naturales no son los más adecuados para uso en algunos procesos industriales específicos. Este trabajo tiene como objetivo la modificación por vía enzimática del almidón de ñame (*D. trifida*) utilizando α -amilasa (Termamyl 120L, tipo L de Novo Nordisk) para determinar sus propiedades funcionales. Se utiliza un diseño experimental en bloques completamente al azar, en un arreglo factorial multinivel, temperatura de reacción en tres niveles (50, 72 y 93°C), concentración de almidón en tres niveles (30, 40 y 50% p/v) y tiempo de reacción en tres niveles (20, 40 y 60 minutos); se desarrollan 27 tratamientos con tres repeticiones (81 unidades experimentales). Los almidones hidrolizados a 93°C presentan los mayores equivalentes de dextrosa (ED), seguidos por los de 72 °C y 50 °C respectivamente. Las propiedades funcionales evaluadas son: estabilidad y claridad de la pasta, acidez titulable, capacidad de hinchamiento, determinación del punto de gelatinización, densidad verdadera, densidad promedio y porosidad. Esta investigación demuestra el gran potencial de los hidrolizados de almidón de *D. trifida* como una alternativa para responder a las demandas de los procesos industriales en la fabricación de alimentos tales como productos de panadería, salsas, yogures, mermeladas y productos congelados.

Palabras clave: *D. trifida*, hidrólisis enzimática, almidón modificado, propiedades funcionales.

ABSTRACT

The starch of yam constitutes an excellent raw material to modify the texture and consistency of foods. Its functionality depends on the molecular weight average of the amilosa and the amilopectina, as well as of the molecular organization of these glucanos within the grain, the native or natural starches are frequently not adapted for their use in some specific industrial processings. This investigation, one carries out the modification via enzymatic of the yam starch (*D. trifida*) using α -amilasa (Termamyl 120L, type L of Novo

1 Ingeniería de Alimentos, Universidad de Córdoba, carrera 14D No. 47-06, barrio Los Ángeles. Montería, Córdoba, Colombia.

2 Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Sucre. Calle 25 No 23-53, Sincelejo, Sucre, Colombia.

3 Ingeniería de Alimentos, Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia, A.A. 1226, Medellín, Colombia.

4 Universidad de Sucre. Carrera 5 No. 23-08, centro, Montería, Córdoba, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: emontes@sinu.unicordoba.edu.co

Nordisk) to determine their functional properties. The established treatments for the enzymatic modification in this investigation are: reaction temperature (50, 72 and 93°C), concentration of starch (30, 40 and 50% p/v) and time of reaction (20, 40 and 60 minutes). One carries out a design experimental factorial multinivel with four blocks. The starches hydrolysed at 93°C show dextrose equivalent (DE) highest, followed respectively by those of 72 °C and 50°C. The evaluated functional properties are: stability and clarity of the pasta, acidity titulable, swelling capacity, determination of the gelatinization point, true density, bulk density and porosity. This investigation demonstrate the great potential of the hydrolysates of starch of *D. trifida* like an alternative to respond to the demands of the industrial processes in the production of foods, such as bakery products, sauces, yogurts, marmalades and frozen products.

Key words: *D. trifida*, enzymatic hydrolysis, modified starch functional properties.

INTRODUCCIÓN

Ñame, género *Dioscorea*, familia *Dioscoreaceae*, es el único ñame comestible de origen americano (1), apetecido por sus características organolépticas sobresalientes. Su almidón nativo puede ser utilizado en la fabricación de alimentos tales como productos de panadería, salsas, mermeladas y productos congelados (2).

El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos (3). Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo. Los almidones nativos o naturales se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes, pero frecuentemente no son los más adecuados para procesamientos específicos, ya que la estructura nativa del almidón puede ser poco eficiente debido a que las condiciones del proceso (por ejemplo: temperatura, pH y presión) limitan su uso en otras aplicaciones industriales, por la baja resistencia a esfuerzos de corte, baja descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (4).

Las limitaciones anteriores se pueden superar modificando la estructura nativa por métodos químicos, físicos y enzimáticos (5), para obtener

un almidón modificado con propiedades deseables para aplicaciones específicas. La modificación de los almidones se puede lograr cambiando una o varias de las siguientes características: temperatura de pasta, relación sólidos/viscosidad, resistencia de las pastas a cambios de viscosidad por ácidos, calor y/o agitación mecánica (cizallamiento), tendencia de retrogradación, carácter iónico e hidrofílico, para proporcionarles propiedades especiales de espesamiento, gelificación, adhesión y/o formación de películas (6).

El National Starch & Chemical (1997) (7) anota también que las modificaciones de los almidones permiten optimizar la retención de agua, aumentar la estabilidad, mejorar la sensación al paladar y el brillo, gelificar, dispersar o conferir opacidad; además, los almidones modificados muestran mejor claridad de pastas, mejor estabilidad, incrementada resistencia a retrogradación e incremento en la estabilidad al ciclo congelamiento-deshielo (8, 9, 10).

La denominación de hidrolizados de almidón reúne todos los productos de fraccionamiento del almidón, independientemente de los catalizadores usados (ácidos, enzimas) o del grado de este fraccionamiento. Incluyen un importante número de productos diferentes como glucosa, maltosa, maltotetraosa, maltodextrinas, fructosa, ciclodextrinas, dextrinas, etc. Los hidrolizados presentan propiedades físicas, funcionales, energéticas y organolépticas que son características de cada tipo de producto (11).

Las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón, generados por medio de temperatura y/o catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización (12).

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue modificar el almidón de *D. trifida* usando hidrólisis enzimática (con α -amilasa, Termamyl® 120L, tipo L) y evaluar algunas de sus propiedades funcionales para sugerir su posible aplicación en la industria de alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del almidón de *Dioscorea trifida*

Se utilizaron tubérculos de *D. trifida* recolectados en los municipios de Tierra alta y Sahagún (Córdoba). El almidón fue extraído utilizando el proce-

dimiento reportado por Moorthy (1991) (13). Los tubérculos se lavan con agua potable para eliminar impurezas, luego se les retira la epidermis con el fin de dejar la pulpa expuesta para el rallado, el cual permite liberar los gránulos de almidón contenidos en las células del parénquima. La masa rallada se suspende en una solución de amoníaco (0.03 M) por cinco minutos con el objetivo de retirar los mucílagos y facilitar la operación de tamizado. La sedimentación se realiza en tanques plásticos de 100 litros por 24 horas, se retira el agua sobrenadante y la mancha que queda en la superficie. Luego, el almidón es lavado con agua limpia, con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de impurezas (4–5 horas). Se realizaron tres lavados con el propósito de eliminar la coloración púrpura y se secó artificialmente en estufas por 24 h a 40 °C hasta que se obtuvo una humedad en base húmeda de 10–12% p/p (determinada en estufa a 100 °C por 5 horas).

Diseño experimental

Para este trabajo se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar, en un esquema factorial multinivel. Se fijaron tres factores: Temperatura de reacción, en tres niveles (50, 72, y 93°C), Concentración de almidón, en tres niveles (30, 40 y 50% p/v) y Tiempo de reacción, en tres niveles (20, 40 y 60 min.), y tres repeticiones por tratamiento para un total de 81 unidades experimentales.

Procedimiento para la modificación enzimática del almidón

Se utilizó un baño termostático con control de temperatura (termostato de circulación tipo V15c) con agitación permanente. Se prepararon las soluciones de almidón 30% p/v, 40% p/v y 50% p/v, con la cantidad de enzima necesaria, 115 μ L, 152 μ L y 190 μ L respectivamente, la cual se determinó según las descripciones de Novo Nordisk, actividad enzimática: 120 KNU/g, pH=6.5, concentración de iones $\text{Ca}^{++} = 70$ ppm (14); para mantener el pH se adicionó una solución buffer fosfato. Se midieron los azúcares reductores cada 10 minutos utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalícico (DNS) (15), que se utiliza en el cálculo de equivalente de dextrosa. Una vez terminado el tiempo de reacción del proceso de dextrinización, la enzima fue inactivada empleando baño de hielo, luego los almidones modificados se filtraron utilizando una bomba de vacío y papel filtro, después se secaron a 60 °C por

24 horas en un horno térmico tipo WSU 100 s/n; una vez secos se almacenaron herméticamente y se rotularon en bolsas Ziploc.

Las muestras de almidones modificados son codificadas con 6 dígitos que revelan las condiciones en las que fueron modificadas; donde los dos primeros dígitos corresponden a T_{Rx}° (temperatura de reacción en grados centígrados), los dos siguientes a la concentración de almidón p/v, y los dos últimos al t_{Rx} (tiempo de reacción en minutos); así **503020**, es una muestra que se modificó a 50°C de T_{Rx}° ; 30% de [Almidón] y 20 minutos de t_{Rx} .

Los almidones modificados a 93°C no se pudieron filtrar por su alta solubilidad, por lo que fue necesario secar la solución a 65°C por 72 horas, luego las muestras secas fueron molidas, empacadas y rotuladas en bolsas Ziploc.

Determinación del equivalente de dextrosa (ED)

Se define el DE como unidades de glucosa puras requeridas para reducir la misma cantidad de reactivo ácido dinitrosalícico (DNS) que 100 unidades de masa de hidrolizado seco. Para determinar el equivalente de dextrosa se utilizó el método del DNS, elaborando una curva de calibración concentración de glucosa vs. absorbancia. Las lecturas fueron hechas en un espectrofotómetro Merck SQ 118 (Merck KGaA, Darmstadt, Germany).

Acidez titulable

La acidez titulable se determinó según el método IAL (1985) (16), Se pesaron 10 g de muestra y se les adicionaron 20 ml de agua destilada, agitando hasta formar una pasta fina, se agregaron 80 mL más de agua destilada y 4 gotas de solución alcohólica de fenoltaleína, luego se procedió a titular con NaOH 0.1N; la acidez se calculó de la siguiente forma (ec. 1):

$$\frac{AN}{100 \cdot g} = \frac{V \cdot F \cdot 100}{P} \quad (1)$$

donde:

AN= acidez normal, V= mL de NaOH gastado en la titulación, F= normalidad de la solución y P = peso en gramos de muestra.

Índice de hinchamiento (IH)

Para determinar el IH se procedió conforme a lo descrito por Ukpabi y Ndimeli (1990) (17). Se

transfieren 3g de almidón en base seca a una probeta de 10 ml y se mide su volumen, se adiciona agua destilada hasta completar un volumen de 9 ml, se homogeniza y se deja reposar durante 10 minutos y se anota su volumen, luego se mide el volumen cada 10 min hasta notar que éste no varía.

Estabilidad y claridad de las pastas

Se midió la estabilidad y claridad de las pastas de almidón a temperatura ambiente y a 4°C. Para ello se suspendieron 0.4 g de una muestra de almidón en 10 mL de agua destilada utilizando tubos de ensayo con tapa, los cuales se colocaron en baño de agua a ebullición por 30 min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5 min. Luego de enfriar a temperatura ambiente, se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm en un espectrofotómetro Merck SQ118 (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) utilizando agua como testigo. A las muestras se les midió la transmitancia a las 24, 48 y 72 horas (18).

Determinación del punto de gelatinización

Se determinó según el método descrito por Narayana & Narasinga-Rao (1982) (19). Se prepararon 100 ml de suspensión a partir de 10g de muestra en base seca, la cual fue calentada en un agitador calentador magnético (VEB MLW PRUFGERATE-WERT) y se introdujo un termómetro en la suspensión. El calentamiento fue continuo hasta que la solución comenzó a formar gel, y esta temperatura fue tomada.

Densidad verdadera (DT), densidad global (DB) y porosidad

Se desarrolló según el método descrito por Samejima, Irate & Koida (1982) (20), denominado método de desplazamiento de volumen. En este, una porción de muestra de volumen V_1 , se adiciona a un cilindro volumétrico obteniéndose un peso W_2 , el peso del cilindro es W_1 ; posteriormente el mismo volumen V_1 de un fluido de desplazamiento (alcohol isobutílico, ácido ftálico dietil ester =1:1) es adicionado al cilindro. El volumen total comprendido por el volumen de la muestra mas el volumen del fluido de desplazamiento en el cilindro se denomina V_2 . DT, DB y la porosidad, se calculan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$DT = \frac{W_2 - W_1}{V_2 - V_1} \quad (2)$$

$$DB = \frac{W_2 - W_1}{V_1} \quad (3)$$

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{DB}{DT} \quad (4)$$

Procesamiento de datos

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se empleó el software estadístico Statgraphic Plus versión 5.0. En primera instancia se procedió a la verificación de las presuposiciones del análisis de varianza (normalidad de errores experimentales y homogeneidad de varianza de errores experimentales). Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) sobre cada una de las variables respuestas (rendimiento de almidón, acidez titulable, índice de hinchamiento, equivalente de dextrosa, densidad verdadera (DT), densidad global (DB), porosidad, punto de gelatinización, estabilidad de pastas), con un nivel de significancia del 5%, para determinar el grado de significancia del modelo estadístico aplicado (Modelo en bloques completamente al azar en arreglo factorial). Comprobada la significancia del modelo, se utilizó el método de la mínima diferencia significativa (LSD), para evaluar la diferencia entre medias. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención del almidón: El rendimiento de extracción de almidón utilizando el proceso descrito fue 19,6% p/p, mayor que el reportado para ñame criollo (*D. alata*) 5,3% p/p, y ñame espinoso (*D. rotundata*) 16,6% p/p (21).

Evaluación del proceso de dextrinificación con α -amilasa (Termamyl® 120 L, Tipo L de Novo Nordisk): Los resultados del proceso de dextrinificación de los almidones de *Dioscorea trifida*, expresados como equivalentes de dextrosa (ED) aparecen en la figura 1, donde se evidencia la influencia de la temperatura de reacción. Se puede decir que el grado de dextrinificación del almidón de *D. trifida* modificado a 50°C se encuentra alrededor del 1%, aumenta el almidón modificado a 72°C hasta el 5%, y con alto grado de conversión para los almidones modificados a 93°C, alcanzando ED del 51%, lo que confirma que a medida que aumenta, se acerca más a la temperatura de reacción óptima para

la enzima según los catálogos de la Novo Nordisk. También muestra que la temperatura de reacción es el factor que más influye sobre el grado de hidrólisis en la modificación enzimática del almidón de *D. trifida* (gráfica pareto, 1d), y cómo el porcentaje de almidón no tiene influencia sobre este fenómeno. Estas conversiones son mayores que las mostradas en almidones modificados de yuca, las cuales son mayores a las ED de almidones modificados de yuca a temperaturas de reacción

entre 80 y 90°C y tiempos de reacción de 2 h (ED = 30%) (22) y (ED = 50%) (23).

La ecuación 5 muestra el modelo matemático que representa el comportamiento del ED en función de la temperatura de reacción, tiempo de reacción y concentración de almidón con estimaciones $R^2 = 98,608 \%$, R (ajustada por g.l.) = 98,4316 %, Error estándar del est. = 2,21905, Error absoluto medio = 1,66864, Estadístico Durbin-Watson = 2,29969 ($P=0,8663$), Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,153624, con un 95% de confianza.

$$ED = 128,41600 - 4,44161 \cdot T_r + 0,670199 \cdot Y - 0,680779 \cdot t + 0,0328343 \cdot T_r^2 + 0,0153798 T_r + 0,0132193 \cdot T_r - 0,00936444 \cdot Y^2 - 0,000632917 \cdot Y \cdot t - 0,00035625 \cdot t^2$$

donde ED= equivalente de dextrosa; Tr= temperatura de reacción; Y= Concentración de almidón y t = Tiempo de reacción.

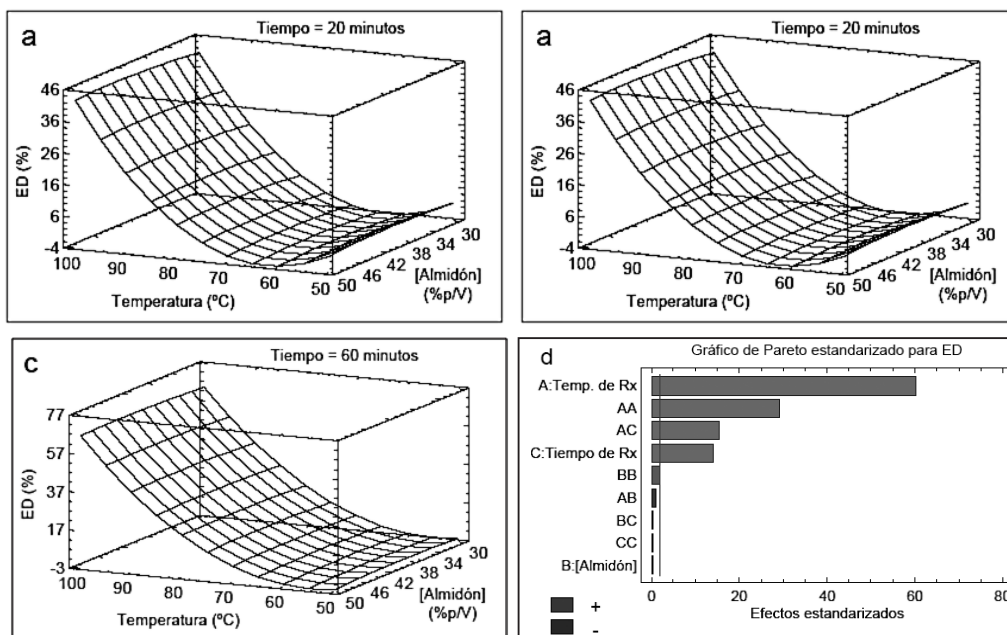


Figura 1. Porcentaje de Equivalente de Dextrosa (ED) para los almidones modificados de *D. trifida* en función de la temperatura y el % p/v de almidón, a diferentes tiempos de reacción: a) a 20 min; b) a 40 min; c) a 60 min; y d)

Acidez titulable (A.T): Contrario a lo reportado para el almidón nativo de *D. trifida* (A.T= 0.0633) (2), la acidez de los almidones modificados *D. trifida* presentó valores por encima de la del almidón nativo, los cuales fueron de 1,60 - 1,90; 1,70-1,90 y 0,80 - 1,10, para las modificaciones a 50, 72 y 93°C respectivamente (Véase figura 2).

Estos resultados se corresponden con los valores de pH obtenidos para el almidón modificado *D. trifida* (24), ya que este reportó pH más ácido en

comparación con el almidón nativo, presentando, por ende, mayores porcentajes de acidez. La temperatura de reacción es el factor que más afecta los resultados de acidez titulable para los almidones modificados *D. trifida*; obra un efecto negativo sobre el valor de acidez, como lo muestra la figura 2d, mientras que la concentración de almidón y el tiempo de reacción parecen no influir en los resultados de acidez titulable (Véanse figuras 2a, 2b y 2c).

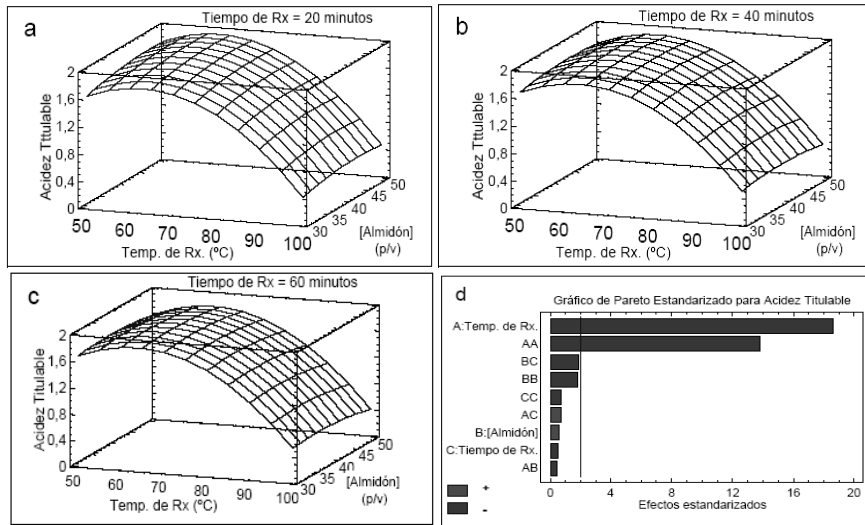


Figura 2. Acidez titulable de los almidones modificados de *D.trifida* a diferentes tiempos de reacción: a) a 20 min; b) a 40 min; c) a 60 min; y d) Gráfico de pareto, efectos de las variables.

La ecuación 6 muestra el modelo matemático que representa el comportamiento de la acidez titulable A.T en función de la temperatura de reacción, tiempo de reacción y concentración de almidón con un $R^2 = 88,7784 \%$, R^2 (ajustada por g.l.) =

87,356 %, Error estándar del est. = 0,145551, Error absoluto medio = 0,108756, Estadístico Durbin-Watson = 1,82557 ($P=0,1494$), Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,0805641, y un 95% de nivel de confianza.

$$A.T = -3,61665 + 0,129547 \cdot T_r + 0,0622145 \cdot Y + 0,0104141 \cdot t - 0,00102398 \cdot T_r^2 - 0,0000465116 \cdot T_r \cdot Y + 0,0000400517 \cdot t \cdot T_r - 0,000611111 \cdot Y^2 - 0,000222222 \cdot Y \cdot t - 0,0000611111 \cdot t^2$$

Donde A.T = acidez titulable; T_r = temperatura de reacción; Y = concentración de almidón y t = tiempo de reacción.

Índice de hinchamiento (IH): El índice de hinchamiento reportó valores entre 2,0 - 2,2 y 1,6 - 1,8 cm^3/cm^3 para los almidones modificados de

D. trifida a 50°C y 72°C respectivamente, mientras que para los modificados a 93°C no se dio índice de hinchamiento ($\text{IH} = 0 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) por el alto grado de degradación que presentaron sus gránulos (Véase figura 3).

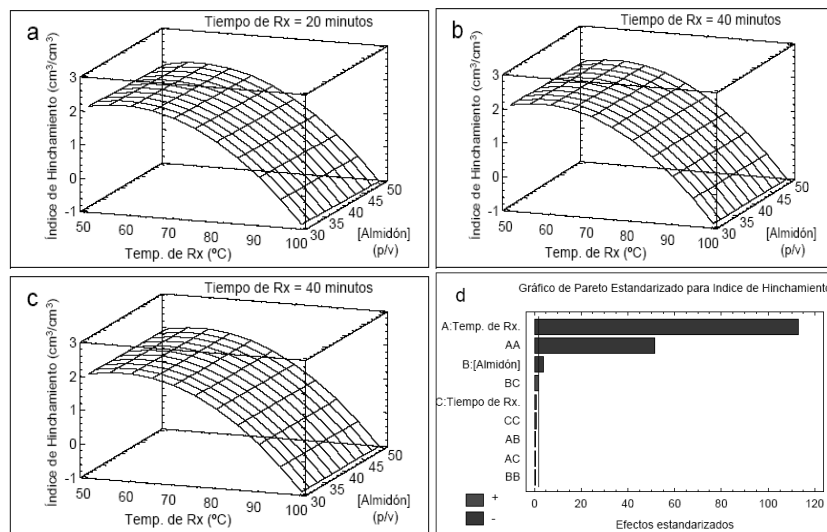


Figura 3. Índice de hinchamiento de los almidones modificados de *D.trifida* a un tiempo de reacción determinado: a) a 20 min; b) a 40 min; c) a 60 min; y d) efectos de las variables.

También cabe destacar que la temperatura de reacción es el factor que más influye de manera inversa en el índice de hinchamiento de los almidones modificados de *D. trifida*, razón que explica los resultados de índice de hinchamiento a 93°C de temperatura de reacción, lo que se confirma en la figura 3d. Algunos investigadores han reportado que las fuerzas de unión entre los gránulos de almidón son responsables del alto índice de hinchamiento en harinas de ñame (25).

Los datos de índice de hinchamiento se ajustaron al siguiente modelo de regresión que aparece

$$IH = -3,24189 + 0,200194 \cdot T_r - 0,0131438 \cdot Y - 0,00240525 \cdot t \cdot Z - 0,00174268 \cdot T_r^2 + 0,0000258398 \cdot T_r \cdot Y + 0,0000129199 \cdot t \cdot T_r + 0,0000555556 \cdot Y^2 + 0,0000833333 \cdot Y \cdot t - 0,0000277778 \cdot t^2$$

Donde IH = índice de hinchamiento; Tr = temperatura de reacción; Y = concentración de almidón y t = tiempo de reacción.

Estabilidad y claridad de las pastas: Se observaron diferencias en el porcentaje de transmitancia (%T) para las diferentes temperaturas de reacción entre las muestras de almidón almacenadas a 4 °C y a temperatura ambiente (Véanse figuras 4, 5 y 6). En las muestras modificadas a 50 °C, en la mayoría

en la ecuación 7, el cual es una correlación entre los valores de índice de hinchamiento, temperatura de reacción, concentración de almidón y tiempo de reacción. Para este ajuste se obtuvieron los siguientes parámetros estadísticos: $R^2 = 99,5526\%$, R^2 (ajustada por g.l.) = 99,4959%, Error estándar del est. = 0,0665458, Error absoluto medio = 0,0471879, Estadístico Durbin-Watson = 1,80157 (P=0,1229), Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,0966891 en un nivel de confianza del 95%.

de los casos los %T fueron mas altos a 4°C que a temperatura ambiente (Véanse figuras 4a y 4b), excepto la muestra 505020, la cual cayó desde 31,4 (0h) hasta 0,4 (72h).

Los almidones modificados a 72°C, mostraron pocas diferencias en %T entre las muestras almacenadas a 4°C y a temperatura ambiente (Véanse figuras 5a y 5b), excepto para la muestra 723060, la cual cayó desde 38,5 (0h) a 1,3 (72h).

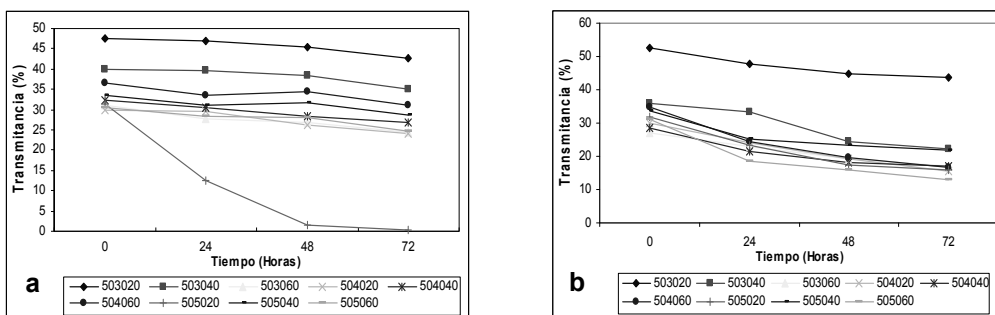


Figura 4. Porcentajes de transmitancia de los almidones modificados a 50°C: a) 4°C, b) temperatura ambiente.

En cuanto a los almidones modificados a 93°C, el comportamiento fue similar, aunque, en su mayoría, los geles de almidones almacenados a temperatura ambiente registraron un descenso significativo en los

porcentajes de transmitancia con el tiempo, en comparación a los almacenados a 4°C, pero presentaron porcentajes de transmitancia mayores en comparación con los modificados a 50°C y 72°C.

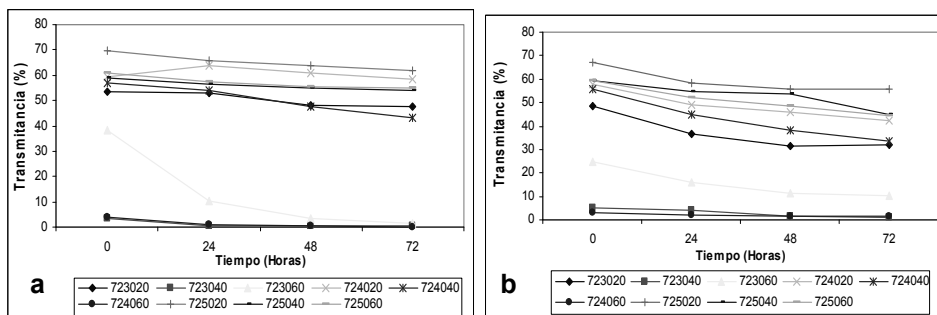


Figura 5. Porcentajes de transmitancia de los almidones modificados a 72°C: a) 4°C, b) temperatura ambiente.

Todo lo anterior demuestra que los almidones modificados de *D. trifida* tienen poca retrogradación, según lo reportado por Miles *et al.* (1985) (26) donde a bajas temperaturas incrementan el fenómeno de retrogradación; sin embargo, los geles de los almidones modificados de *D. trifida*, al presentar bajas sinéresis (24), favorecen también la estabilidad de los geles de almidón.

Por la estabilidad y claridad de pastas que presentaron los almidones modificados de *D. trifida* a

93°C, pueden tener aplicación en la industria de alimentos tales como néctares y refrescos.

Temperatura de gelatinización: Los datos para la temperatura de gelatinización de los almidones de *D. trifida* modificados a 50°C y 72°C aparecen en las figuras 6a y 6b. Presentaron temperaturas de gelatinización muy cercanas y por encima de la temperatura de gelatinización del almidón nativo de *D. trifida* (75,2 °C) (2).

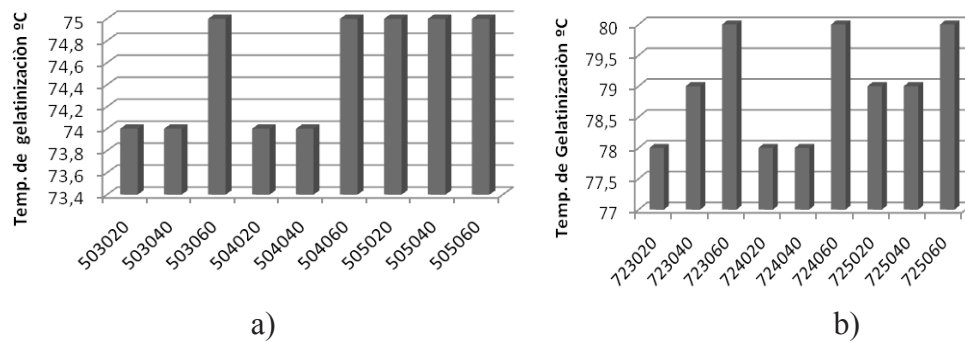


Figura 6. Temperaturas de gelatinización de los almidones modificados de *D. trifida*: a) a 50°C y b) a 72°C.

El incremento en la temperatura de gelatinización de algunos de los almidones modificados con respecto al nativo se debe a la fragmentación que sufrieron algunos de sus gránulos con el aumento de la temperatura y la acción de la enzima, donde sus componentes, amilosa y amilopectina, se desfragmentan y dispersan solubilizándose en la fase acuosa, al contrario de los gránulos de almidón nativos que conservan su estructura, los cuales, al aumentar la temperatura de sus soluciones, responden hinchándose y adhiriéndose a otros gránulos formando un sistema de red que dará inicio a la gelatinización. Debido a esa situación es más difícil formar redes con gránulos fragmentados los cuales se han disuelto originando espacios en la solución, aumentando, por ende, el punto de gelatinización. Es así como a 93 °C no se apreció una temperatura de gelatinización debido al grado de modificación que presentaron estas muestras, lo cual se soporta también con los altos valores de solubilidad, la alta estabilidad de las pastas y la baja capacidad de retención de agua (CRA), reportados por Carmona y Paternina (24).

Densidad verdadera (DT), densidad global (DB) y porosidad: Los almidones de *D. trifida* modificados a 50°C, 72°C, y 93°C (Véase tabla 1) mostraron DT alrededor de 1,428 g/cm³, 1,364 g/cm³ y 1,5 g/cm³ respectivamente, los cuales son diferentes a un nivel de confianza del 95%, (véase tabla 2), y están cercanas a las reportadas para harina de ñame (1,33, 1,49 y 1,55 g/cm³) (27).

Por otro lado, las DB mostraron valores alrededor de 0,937; 0,882 y 0,937 g/cm³ para los almidones de *D. trifida* modificados a 50, 72 y 93°C respectivamente. Puede apreciarse diferencia significativa entre las muestras a 50, 93 y 72 °C. Estos valores están por encima de los reportados para harina de ñame (0,75, 0,93 y 0,53 g/cm³) (27).

La porosidad presentó valores promedio de 0,352; 0,356 y 0,375 para los almidones tratados a 50, 72 y 93°C, respectivamente. En estos resultados puede apreciarse una diferencia estadísticamente significativa entre las muestras a 93 °C y las tratadas a 50 y 72 °C. Además, estos valores están por debajo de los reportados para harina de ñame, los cuales son de 0,53; 0,75 y 0,93, respectivamente. (27).

Tabla 1 Densidad verdadera (DT), densidad global (DB) y porosidad de almidones modificados de *D. trifida*

Temperatura Reacción 50 °C				Temperatura Reacción 72 °C				Temperatura Reacción 93 °C			
Código	POROSIDAD	DT g/cm ³	DB g/cm ³	Código	POROSIDAD	DT g/cm ³	DB g/cm ³	Código	POROSIDAD	DT g/cm ³	DBg/cm ³
503020	0,375	1,5	0,937	723020	0,334	1,364	0,909	933020	0,375	1,5	0,937
533040	0,343	1,428	0,937	723040	0,334	1,364	0,909	933040	0,375	1,5	0,937
503060	0,363	1,428	0,909	723060	0,382	1,428	0,882	933060	0,375	1,5	0,937
504020	0,343	1,428	0,937	724020	0,334	1,364	0,909	934020	0,394	1,5	0,909
504040	0,343	1,428	0,937	724040	0,375	1,5	0,937	934040	0,375	1,5	0,937
504060	0,363	1,428	0,909	724060	0,382	1,428	0,882	934060	0,375	1,5	0,937
505020	0,334	1,364	0,909	725020	0,372	1,364	0,857	935020	0,394	1,5	0,909
505040	0,363	1,428	0,909	725040	0,342	1,304	0,857	935040	0,375	1,5	0,937
505060	0,343	1,428	0,937	725060	0,353	1,304	0,882	935060	0,375	1,5	0,937
Promedio	0,352	1,428	0,924		0,356	1,38	0,891		0,379	1,5	0,937
Desviación típica	0,013	0,032	0,014		0,02	0,062	0,026		0,008		0,012
Varianza	0,000171	0,001	0,0002		0,0004	0,0039	0,0007		0,00007		0,00015

Tabla 2. Valores p evaluados para las densidades verdaderas, densidad global y porosidad a partir del Análisis de Varianza

VARIABLE	Valor F	Valor P
DT	19.25	0.000**
DB	11.1	0.0004**
POROSIDAD	7.96	0.0022**

** Altamente significativo a un nivel de significancia del 5%

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad verdadera, densidad global y porosidad entre un nivel de temperatura y otro, a un nivel del 95,0% de confianza.

Las muestras modificadas a 72°C obtuvieron las más bajas densidades promedio, mientras que las modificadas a 93°C tuvieron los más altos valores para la variedad de ñame *D. trifida*. Las muestras modificadas a 72°C tuvieron las porosidades más bajas calculadas.

CONCLUSIONES

- En el proceso de dextrinización del almidón de *D. trifida* con α -amilasa la temperatura de reacción es la variable más influyente sobre la producción de equivalentes de dextrosa, seguida del tiempo de reacción. Los mayores valores de equivalentes de dextrosa se obtienen a 93°C, seguido de 72°C y 50°C, produciendo variaciones en propiedades funcionales del almidón.
- Almidones de *D. trifida* modificados a 93 °C no presentaron temperatura de gelatinización debido al grado de modificación que se obtuvo

en estas muestras, lo cual se soporta en los altos valores de solubilidad que no permiten observar cambios en la viscosidad de las soluciones de almidón, pudiendo ser utilizado en la industria de refrescos como espesantes y estabilizantes.

- El índice de hinchamiento del almidón modificado disminuyó a medida que la temperatura de reacción aumentaba debido a la degradación de las macromoléculas que componen los almidones, que se manifiesta por la poca absorción de agua.
- En cuanto a estabilidad y claridad, los almidones modificados presentaron mayor porcentaje de transmitancia a 4°C que a temperatura ambiente. Esto es importante y puede aplicarse en la industria de alimentos en la fabricación de néctares y refrescos pues produce estabilidad a diferentes temperaturas y presenta muy poca retrogradación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Leon J. Origin, evolution and early dispenal of root and tuber crops. In: Symposium of the International Society for Tropical Crops, 4th. Cali – Colombia: CIAT; 1976; 20-36.
2. Espitia R, Gómez F, Salcedo J. Caracterización y evaluación de las propiedades tecnofuncionales de los almidones de ñame a partir de tres especies (*Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta*). [Tesis de Grado]. Córdoba, Colombia: Universidad de Córdoba. 2004.

3. Biliaderis CG. The structure and interactions of starch with food constituents. *Cana J Physiol Pharmacol* 1991; 69: 60-78.
4. Bello-Pérez LA, Contreras SM, Romero R, Solorza J, Jiménez A. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (variedad macho). *Agrociencia* 2002; 36 (2): 169-180.
5. Fleche G. Chemical modification and degradation of starch. En: Van Beynum GM, Roel JA, editores. **Starch Conversion Technology**. New York: Marcel Dekker; 1985. p. 73-99.
6. Swinkels JJM. Industrial starch chemistry: Properties, modifications and applications of starches. Veedam: AVEBE. 1996.
7. National Starch & Chemical Industrial Ltda. **Como escolher um guia profissional para amidos alimentícios**. São Paulo: National Starch & Chemical Industrial Ltda; 1997.
8. Wurzburg OB. Modified starches. En: Stephen AM (editor). **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker; 1995. p. 67-97.
9. Zhen BL, Han HL, Bhatti RS. Functional properties of cross-linked and hydroxypropylated waxy hull-less barley starches. *Cereal Chem* 1999; 76: 182-188.
10. Fang JM, Fowler PA, Tomkinson J, Hill CAS. The preparation and characterization of series of chemically modified potato starches. *Carbohydr. Polym* 2002; 47: 431- 436.
11. Teague WM, Brumm PJ. Commercial enzymes for starch hydrolysis products. En: Schenk FW, Hebeda RE (editors). **Starch Hydrolysis Products**. New York: VCH Publishers; 1992. p. 45-78.
12. Aristizábal J. Estudio de la viabilidad técnica y económica de la producción de dextrinas a partir de yuca utilizando tecnologías de vía seca. Cali: MADR-CLAYUCA-CIAT; 2004.
13. Moorthy SN. Extraction of starches from tuber crops using ammonia. *Carbohydrate Polymers* 1991; 16: 391-398.
14. NOVOZYMES A/S. Ficha técnica Termamyl 120L, tipo L. NOVO NORDISK; 2002.
15. Miller GL. Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal Chem* 1959; 31: 426-428.
16. IAL. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL; 1985.
17. Ukpabi UJ, Ndimelec C. Evaluation of the quality of gari produced in Imo State. *Nigerian Food J* 1990; 8: 105-110.
18. Bello-Pérez LA, Roger P, Baud B, Colonna P. Macromolecular features of starches determined by aqueous highperformance size exclusion chromatography. *J Cereal Sci* 1998; 27: 267-278.
19. Narayana K, Narasinga-Rao NS. 1982. **Functional properties of raw and processed winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flours**. *J Food Sci* 47, 1534-1538.
20. Samejina M, Irate GH, Koida Y. Studies on microcapsules. I. Role and effect of coactivation inducing agent in the microcapsule of ascorbic acid by a phase separation method. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin* 1982; 30: 2894-2899.
21. Alarcón F, Dufour D. Producción del almidón de yuca en Colombia: Proceso general de extracción. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); 1997.
22. Figueroa C, Sánchez CP. Producción de maltodextrinas a partir de almidón de yuca utilizando α -amilasa. *Ingeniería Química* 2004; (416): 218-220.
23. Díaz MA, Filelle MI, Velásquez ME. Estudio de la modificación vía enzimática del almidón de yuca para la obtención de amilodextrinas. *Revista Colombiana de Biotecnología* 2000; IV - 1: 79-88.
24. Carmona J, Paternina S. Evaluación de la modificación vía enzimática del almidón de ñame (*dioscorea trifida*) utilizando α -amilasa (termamyl® 120 I, tipo I) para sus posibles aplicaciones industriales. [Tesis de Grado]. Sincelejo: Universidad de Sucre; 2007.
25. Iwuoha CI. Comparative evaluation of physicochemical qualities of flours from steam-processed yam tubers. *Food Chem* 2004; 85: 541-551.
26. Miles M, Morris V, Orford P, Ring S. Gelation of amylose. *Carbohydr Res* 1985; 135: 257-269.
27. Hsu CL, Chen W, Weng YM, Tseng CY. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chem* 2003; 83: 85-92.