

Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca

Eduardo Rodríguez Sandoval*, Alejandro Fernández Quintero**, Lisímaco Alonso Alcalá*** y Bernardo Ospina Patiño****

Resumen

Se investigó el efecto de las condiciones de proceso sobre las harinas de yuca precocidas verificando su comportamiento reológico en un medio acuoso. La inclusión en el procesamiento de una etapa de reposo a baja temperatura del parénquima de yuca precocido influyó ampliamente en las características de la harina de yuca obtenida. La viscosidad aparente de suspensiones acuosas de harina de yuca elaborada con parénquima precocido y reposado a baja temperatura fue más baja comparada con la viscosidad de las suspensiones de harina de yuca precocida sin periodo de reposo. Este comportamiento se debe probablemente a la reorganización de las moléculas de amilosa durante el reposo, lo cual generó otra estructura que disminuyó la capacidad de absorción de agua.

Palabras claves: Harina de yuca precocida, reología, almidón, gelatinización.

Abstract

The effect of processing conditions on precooked cassava flours was evaluated by its rheological behaviour in suspensions. The resting period at low temperature during processing of precooked cassava parenchyma widely affected the characteristics of cassava flour. The apparent viscosity of suspensions of cassava flour made from precooked parenchyma stored at low temperature was lower than that of suspensions of cassava flour without a resting period. This behaviour could be due to reorganization of amylose molecules during the resting period, which resulted in other structure that decreased the water absorption capacity.

Key words: Precooked cassava flour, rheology, starch, gelatinization.

Fecha de recepción: 3 de diciembre de 2005
Fecha de aceptación: 4 de abril de 2006

* Ingeniero químico, aspirante a doctor en Ingeniería, Universidad del Valle.

edurosa@univalle.edu.co

Dirección: Departamento de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria Meléndez Edificio 338, Cali (Valle).

** Ingeniero agrícola. Ph.D. Profesor titular, Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. *alfernan@univalle.edu.co*

*** Ingeniero agrícola. Investigador, Sistema de Manejo Poscosecha de Yuca, CLAYUCA *L.alonso@cgiar.org*

**** Ingeniero agrícola. Ms Sc. Director Ejecutivo, CLAYUCA. *b.ospina@cgiar.org*

**INGENIERÍA
& DESARROLLO**

Número 19
Enero-Junio, 2006
ISSN: 0122-3461

1. INTRODUCCIÓN

La raíz de yuca, producto amiláceo con cerca de 85-90% de almidón en fracción seca del parénquima (Henaó, 2004), se puede transformar en alimentos de alto valor agregado, tales como productos expandidos por extrusión, productos fritos u horneados en forma de hojuelas y bebidas tipo colada.

La elaboración de estos productos es factible a partir de un material intermedio en forma de harina u hojuelas secas precocidas. Disponer permanentemente de una harina de yuca precocida eliminaría los problemas relacionados con la alta pericibilidad de las raíces frescas y facilitaría la normalización de la calidad debido a variaciones en las propiedades de las raíces derivadas de diferentes cultivares, regiones y épocas de cosecha. Una harina precocida de origen amiláceo contiene almidones que han modificado su estructura por un tratamiento hidrotérmico. La principal característica de una harina precocida es la facilidad de hidratación, solubilización y desarrollo de una textura viscoelástica como resultado de los almidones modificados que contiene. Las variaciones en la textura de una harina precocida reconstituida por hidratación están íntimamente ligadas al estado de transformación del almidón como consecuencia de las condiciones de proceso.

El almidón existe en entidades discretas, semicristalinas, las cuales reciben el nombre de gránulos. El tamaño, la forma y la estructura de los gránulos difieren substancialmente entre fuentes botánicas. El almidón está compuesto por dos biopolímeros: la *amilosa* y la *amilopectina*. La estructura de la amilosa consta de unidades de D-glucosa unidas linealmente por enlaces glucosídicos $\alpha(1\rightarrow4)$; la amilopectina es la molécula predominante del almidón, y es un polisacárido ramificado compuesto por segmentos lineales de D-glucosa unidos por enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$ conectados por ramificaciones de enlaces $\alpha(1\rightarrow6)$ (Buléon *et al.*, 1998; Rooney y Huang, 2001).

Un producto gelatinizado se obtiene cuando los gránulos de almidón se encuentran en exceso de agua y se aplica calor. El sistema gelatinizado bajo ciertas condiciones puede experimentar cambios como la reorganización de las moléculas de almidón y convertirse en una estructura de gel; esta secuencia de eventos se conoce como *retrogradación*. La gelatinización de los gránulos de almidón se ha definido como la transición de fase de un estado ordenado a un estado desordenado, el cual se lleva a cabo durante el calentamiento en exceso de agua. Esta transición siempre implica pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hidratación del almidón y pérdida de orden anisotrópico o birrefringencia, la cual es una medida del ordenamiento del gránulo de

almidón a una escala de longitud de onda de luz de $0,5 \mu\text{m}$ (Camire, 1990; Biliaderis, 1992; Hermansson y Svegmarm, 1996; Pielichowski *et al.*, 1998; Jenkins y Donald, 1998; Tester y Debon, 2000; Waigh *et al.*, 2000; Huang y Rooney, 2001; Liu *et al.*, 2002).

La intensidad de la gelatinización depende de la temperatura y el contenido de humedad, es irreversible, inicialmente aumenta el tamaño de los gránulos y produce un incremento en la viscosidad de la suspensión, varía con las condiciones de cocción (pH, sólidos, etc.) y con el tipo de gránulo de almidón (fuente botánica) (Huang y Rooney, 2001). El hinchamiento inicial probablemente se lleva a cabo en las regiones amorfas del gránulo, donde los polímeros son más susceptibles a la disociación. Cuando la estructura comienza a debilitarse, el gránulo se embebe en agua y se hincha (French, 1984; Huang y Rooney, 2001; Jenkins y Donald, 1998).

La retrogradación del almidón se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización. Los polímeros solubles del almidón y los fragmentos granulares insolubles presentes se reasocian después del calentamiento. Eventualmente se forman agregados cristalinos, acompañados por un incremento gradual en la rigidez, una opacidad en la suspensión y la separación de fases entre el polímero y el solvente (sinéresis) (Biliaderis, 1992; Huang y Rooney, 2001).

Las harinas u hojuelas secas precocidas obtenidas a partir de materias primas amiláceas generalmente se deben rehidratar para su utilización, por lo cual se requiere que estén constituidas de estructuras porosas y que conserven la habilidad de absorción e hinchamiento al contacto con agua (Chan y Toledo, 1976). En el caso específico de las hojuelas de papa deshidratadas para la elaboración de puré, se necesita que en su proceso de manufactura se minimice la cantidad de almidón liberado desde el interior del tejido del parénquima, debido a que éste afecta directamente la textura pastosa o pegajosa del producto reconstituido (Lamberti *et al.*, 2004).

En el procesamiento de papa para la elaboración de hojuelas secas precocidas se conoce que una etapa de enfriamiento inmediatamente después de una etapa de cocción inicial del tubérculo favorece el desarrollo de una textura no pegajosa en el puré que se elabore. Este efecto deseable se atribuye en parte a que el almidón liberado de las células del tejido del parénquima (principalmente amilosa) durante la cocción se retrograda durante el enfriamiento (Ooraikul *et al.*, 1974; Lamberti *et al.*, 2004). En investigaciones preliminares, realizadas por la Universidad del Valle en convenio con el Consorcio Latinoamericano CLAYUCA, se ha observado la influencia que tiene el reposo a baja

temperatura del parénquima precocido sobre las características de la harina de yuca obtenida a partir de este material (Ospina *et al.*, 2004). El objetivo de este artículo es comparar las características físicas de harinas de yuca obtenidas de parénquima precocido en agua a ebullición, reposado a baja temperatura, secado con aire y molido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Raíces de yuca del cultivar HMC-1 cosechadas a los 10 meses en Jamundí, Valle, se utilizaron para realizar las pruebas experimentales. Las raíces seleccionadas se cortaron en trozos cilíndricos; se cocinaron en agua a ebullición durante 15 minutos. Después de la cocción, parte del material se tajó manualmente, mientras que otra parte se dejó en reposo a 5, -5 y -20°C. El material reposado se maceró en un molino para carnes (Mobba, Baladona, España) y se secó sobre bandejas con aire a 60°C. El material seco se molió en un molino de martillos y se convirtió en harina; esta harina se denominó *harina precocida*.

Las harinas precocidas se sometieron a los siguientes análisis físicos: solubilidad en agua, absorción en agua, viscosidad desarrollada por una suspensión acuosa de la harina a temperatura ambiente (viscosidad aparente), y características de la pasta desarrollada por calentamiento de una suspensión acuosa de la harina (curva de empastamiento). Los resultados de estos análisis se utilizaron para determinar el efecto de la temperatura de reposo del parénquima después de la cocción sobre las características físicas de las harinas obtenidas.

2.1. Determinación del índice de absorción de agua (I.A.A.) y el índice de solubilidad en agua (I.S.A.)

Los índices de solubilidad y absorción de agua se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. El método que se siguió para la determinación de I.A.A. y de I.S.A. fue tomado de Anderson *et al.* (1969) con algunas modificaciones. La harina se pasó por una malla de 100 µm para normalizar el tamaño de la muestra, se pesaron 2,5 g (b.s.) de muestra en una balanza analítica Acculab AL-104 (Sartorius Group, Edgewood, USA), se adicionó 50 g de agua destilada y se agitó durante 30 min. Se tomó una alícuota de 10 g de la suspensión formada y se centrifugó a 3.000*g por 15 min. en una centrífuga Sigma 2-15 (Bioblock Scientific, Illkirch, Francia). El sobrenadante se decantó y se secó a 100°C durante 24 h., y el gel retenido en los tubos se pesó. El I.A.A. y I.S.A. se determinaron de acuerdo con las ecuaciones N^{os} 1, 2 y 3 que se indican a continuación. Los ensayos se realizaron por duplicado.

$$\text{Peso.muestra}(g) = \frac{\text{Peso.seco.muestra}(g)}{\text{Peso.seco.muestra}(g) + \text{agua}(g)} * \text{aliquota}(g) \quad (1)$$

$$I.A.A = \frac{\text{Peso.gel}(g)}{\text{Peso.muestra}(g)} \quad (2)$$

$$I.S.A.(%) = \frac{\text{Peso.sobrenadane}(g) - \text{Peso.seco.sobrenadane}(g)}{\text{Peso.muestra}(g)} * 100 \quad (3)$$

2.2. Determinación de las curvas de empastamiento

Los cambios en el almidón durante el calentamiento en exceso de agua pueden ser observados empleando un viscoamilógrafo (Fernández, 1996; Perez *et al.*, 1998; Pongsawatmanit *et al.*, 2002). En este trabajo se utilizó un viscoamilógrafo RVA serie No. 4 (*Newport Scientific*, Warriewood, Australia), y se preparó una suspensión de almidón o harina en agua destilada con una concentración del 10% (p/p) exponiéndola a calentamiento y enfriamiento. La suspensión se calentó hasta 90°C y se sostuvo a esa temperatura por un período de 5 min.; posteriormente se enfrió hasta 50°C y se mantuvo a esa temperatura por 5 min. La velocidad de calentamiento y enfriamiento fue de 1,6°C/min. Las pruebas se realizaron sin repeticiones. A partir de la curva de viscosidad vs tiempo/temperatura que se genera, se determina (Hurtado, 1997):

- Temperatura de inicio de la gelatinización (T gel): Es la temperatura a la que se inicia el aumento en la viscosidad de la suspensión.
- Viscosidad máxima (V max): Es la máxima viscosidad alcanzada por la suspensión después de la cual la viscosidad empieza a descender.
- Facilidad de cocción (F. cocción): Es el tiempo que tarda la suspensión en alcanzar la viscosidad máxima desde la temperatura de inicio de la gelatinización.
- Inestabilidad del gel (Inest. gel): Es la diferencia de viscosidad entre la viscosidad máxima y la viscosidad después de 5 min. a 90°C.

- Índice de gelificación (Ind. gel.): Es la diferencia entre la viscosidad a 50°C y la viscosidad después de 5 min. a 90°C .

2.3. Determinación de la viscosidad aparente

Los almidones que han tenido previamente un tratamiento hidrotérmico tienen la capacidad de absorber agua e hincharse en suspensiones acuosas a temperatura ambiente. La viscosidad que se desarrolla en suspensiones con este tipo de materiales se conoce como viscosidad aparente. La viscosidad aparente fue un parámetro utilizado en este proyecto para determinar el comportamiento reológico de las suspensiones de las harinas de yuca precocidas, y así evaluar la influencia que tienen diferentes condiciones de proceso en las características de los materiales producidos. La harina se pasó por una malla de 100 μm para normalizar el tamaño de la muestra. Se preparó 20 g de suspensión que tenía una concentración de 10% (p/p) de harina. La medida de la viscosidad aparente de la suspensión se efectuó a 33°C en un viscosímetro Brookfield DV-II (Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, USA) con las agujas Nos. 21 y 28 a diferentes velocidades de rotación. Los ensayos se efectuaron por duplicado.

3. RESULTADOS

3.1. Índice de absorción de agua (I.A.A.) e índice de solubilidad en agua (I.S.A.)

En la tabla 1 se reportan los valores promedios de dos repeticiones del índice de absorción de agua (I.A.A.) y del índice de solubilidad en agua (I.S.A.) de las harinas precocidas obtenidas en los diferentes procesos. La harina de yuca preparada con trozos precocidos sin reposo tiene los mayores valores de I.A.A. y de I.S.A. si se comparan con los valores reportados para las harinas obtenidas de parénquima precocido y reposado a 5, -5 y -20°C. La reducción en estos índices se puede explicar probablemente porque parte del material solubilizado, entre los que se destacan moléculas de amilosa, interaccionan entre sí para formar otra estructura, la cual impide la absorción de agua. Esta reorganización de las moléculas es altamente afectada por el período de reposo a baja temperatura. Oraikul *et al.* (1974) consideran que la congelación y la descongelación de papas cocinadas reducen la capacidad de hinchamiento del almidón e influyen en sus propiedades texturales. Chan y Toledo (1976) mostraron que la capacidad de retención de agua de un gel de almidón de maíz gelatinizado descendió levemente durante el período de pre-enfriamiento y disminuyó considerablemente durante el período de

congelación (cambio de fase); esto sugiere que hay una alta retrogradación y ocurre simultáneamente con una formación de cristales de hielo. Hopkins y Gormley (2000) afirman que la congelación de los granos de almidón gelatinizados incrementan el grado de retrogradación, presumiblemente por el aumento de los enlaces entre unidades de amilasa; también sugieren que la congelación daña los gránulos de almidón y los somete a una menor capacidad de hinchamiento e hidratación. Lamberti *et al* (2004) confirmaron que existe una fuerte tendencia a la agregación de la amilosa en el enfriamiento de trozos de papa levemente cocinados.

Tabla 1

Índices de absorción de agua (I.A.A.) y de solubilidad en agua (I.S.A.) en harinas precocidas obtenidas en las condiciones indicadas*

Descripción de muestra	I.A.A. (g gel /g muestra)	I.S.A. (%)
Harina de yuca obtenida de parénquima precocido sin reposo	9.92±0.04	19.22±0.3
Harina de yuca obtenida de parénquima precocido con reposo a baja temperatura:		
5°C	4.66±0.1	12.49±0.2
-5°C	5.00±0.4	10.79±0.1
-20°C	5.44±0.1	13.18±0.1

* Promedio de dos repeticiones ± desviación estándar.

3.2. Curvas de empastamiento

Las curvas de empastamiento de las suspensiones de harina de yuca precocida y de almidón extraído de las raíces del cultivar HMC-1 se presentan en la figura 1; se aprecia una clara tendencia de gelatinización del almidón nativo de yuca y de la harina cruda con temperaturas de inicio de la gelatinización de 65,3 y 63,35°C, y con viscosidades máximas de 478 y 140 URVA respectivamente (tabla 2). Por otro lado, las harinas de yuca de trozos precocidos con una etapa de reposo a baja temperatura presentaron menor temperatura de inicio de la gelatinización (50,25-50,9°C) y menor viscosidad máxima (43-53 URVA). La harina elaborada con trozos de yuca precocidos sin reposo desarrolló muy baja viscosidad durante la prueba permaneciendo constante con un valor de 12 URVA. Este gráfico nos indica que el almidón presente en la harina preparada con parénquima de yuca precocido sin reposo fue gelatinizado casi en su totalidad; por otra parte, las harinas preparadas con trozos precocidos y reposados a baja temperatura presentaron una leve

recuperación de la viscosidad, lo cual fue causado posiblemente por un reordenamiento de las moléculas lineales del almidón durante el período de reposo a baja temperatura; esto concuerda con los resultados obtenidos para los índices de absorción y solubilidad en agua.

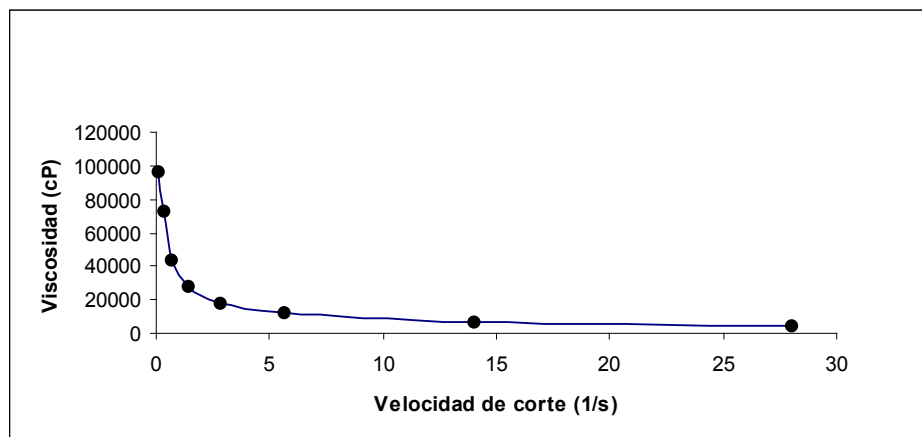


Figura 1

Curvas de empastamiento del almidón nativo extraído del cultivar HMC-1 (1), de la harina cruda (2) y de las harinas obtenidas de parénquima cocinado sin reposo (6), con reposo a 5°C (3), -5°C (4), -20°C (5)

En la tabla 2 también se presentan los resultados de facilidad de cocción, inestabilidad del gel e índice de gelificación. La facilidad de cocción se relaciona con la velocidad de hinchamiento del gránulo de almidón. La facilidad de cocción para el almidón de yuca fue de 1.56 min., que es el tiempo más bajo reportado para alcanzar la viscosidad máxima, por lo cual se asume que este material tuvo la mayor velocidad de hinchamiento de los gránulos. La inestabilidad del gel se relaciona con la fragilidad y la solubilidad de los gránulos de almidón hinchados. El más inestable fue el almidón nativo de yuca con un valor de 332 URVA; le sigue la harina cruda con 72 URVA, y los demás presentaron una inestabilidad bastante baja (entre 15-20 URVA). El índice de gelificación se relaciona con la retrogradación de las moléculas de almidón (amilosa principalmente). El almidón de yuca reportó el mayor valor del índice de gelificación con 53.92 URVA; sin embargo, se observa que las pastas formadas con las harinas de yuca son estables con poca tendencia a la retrogradación durante el ensayo con RVA.

Tabla 2

Resultados de las curvas de empastamiento del almidón extraído del cultivar HMC-1, de la harina cruda, de las harinas obtenidas de parénquima cocinado sin reposo, con reposo a 5°C, -5°C, -20°C

Material	T gel (°C)	V max (URVA*)	F. cocción (min.)	Inest. gel (URVA*)	Ind. gel. (URVA*)
Almidón nativo	65.30	478	1.56	332	53.92
Harina cruda	63.35	146	4.43	72	14.08
Harina de yuca precocida sin reposo	50.45	12	6.97	----	6.34
Harina de yuca con reposo a +5°C	50.90	43	4.99	17	11.58
Harina de yuca con reposo a -5°C	50.25	53	5.80	15	14.08
Harina de yuca con reposo a -20°C	50.25	53	5.12	20	12.00

*URVA: Unidad de viscosidad en RVA.

3.3. Viscosidad aparente

La viscosidad se define como la fricción interna de un fluido o su tendencia a resistir el flujo (Bourne, 2002). Hay dos tipos de comportamiento reológico en un fluido: *newtoniano* y *no newtoniano*. En los fluidos newtonianos, la velocidad de corte es directamente proporcional al esfuerzo de corte, y la curva de esta relación comienza en el origen; un típico alimento newtoniano está conformado por elementos de bajo peso molecular y no contiene una concentración apreciable de polímeros disueltos o insolubles. En los fluidos no newtonianos, la curva del esfuerzo de corte con la velocidad de corte es no lineal, o no comienza en el origen, o el material exhibe un comportamiento reológico que depende del tiempo como resultado de los cambios estructurales (Steffe, 1996; Rao, 1999). La viscosidad aparente se considera como la viscosidad de un fluido no newtoniano y se calcula con los datos empíricos como si el fluido obedeciera la ley de Newton (Bourne, 2002).

En relación con los resultados de viscosidad aparente, la figura 2 muestra que las suspensiones de las harinas obtenidas de trozos de yuca precocidos sin reposo tienen un comportamiento reológico propio de un fluido pseudoplástico, el cual se caracteriza por el decrecimiento de la viscosidad con el incremento de la velocidad de corte (Rao, 1999; Rao y Tattiyakul, 1999; González-Parada y Pérez-Sira, 2003).

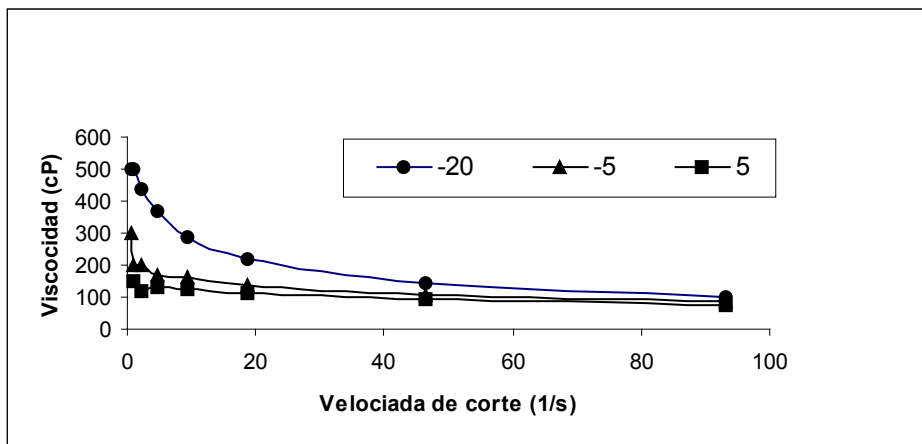


Figura 2

Viscosidad aparente de harina de yuca obtenida de trozos precocidos sin reposo. Medida con aguja N° 28

En la figura 3 se comparan las viscosidades aparentes de las suspensiones con harina preparada de parénquima de yuca precocido y reposado a 5°C, -5°C y -20°C. El comportamiento reológico de estas suspensiones es similar sobre todo a velocidades de corte por encima de 50 s⁻¹. Si se comparan los valores de la viscosidad de estas suspensiones con los valores reportados para las suspensiones de harina precocida sin reposo, se observa una marcada reducción en la viscosidad, lo cual indica que hay un efecto de la baja temperatura en las propiedades reológicas de las muestras. Navarro *et al.* (1995) encontraron resultados similares para suspensiones de almidón pregelatinizado de maíz y trigo.

En un fluido pseudoplástico, la curva del esfuerzo de corte versus la velocidad de corte comienza en el origen y es cóncava hacia arriba, por lo que un incremento en la velocidad de corte genera un menor incremento en el esfuerzo de corte. Este comportamiento se debe probablemente al rompimiento de las unidades estructurales del alimento debido a las fuerzas hidrodinámicas generadas durante el corte (Rao, 1999). En la figura 4 se observan las curvas de esfuerzo de corte versus velocidad de corte de las suspensiones de harinas elaboradas con parénquima precocido y reposado a 5, -5 y -20°C, mostrando un comportamiento típico de un fluido pseudoplástico.

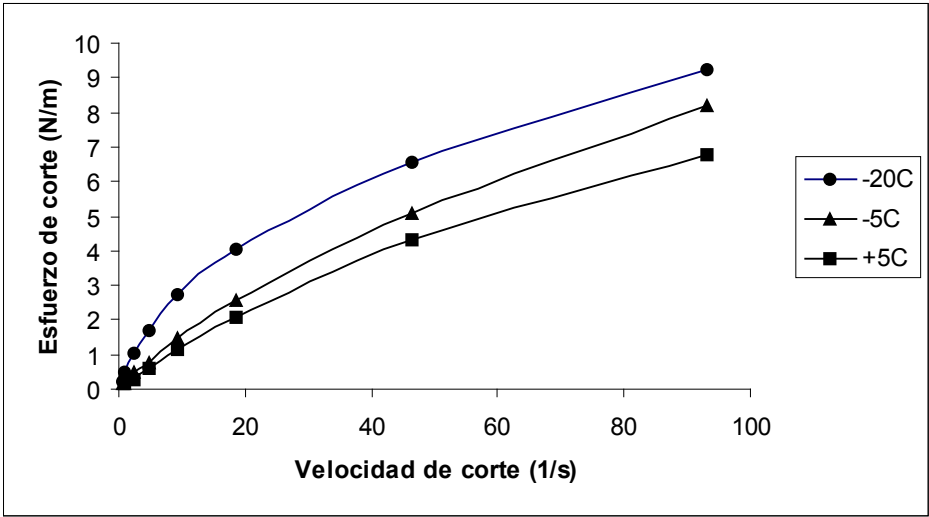


Figura 3

Viscosidad aparente de las harinas procedentes de parénquima precocido y reposado a 5, -5 y 20°C. Medida con aguja No. 21

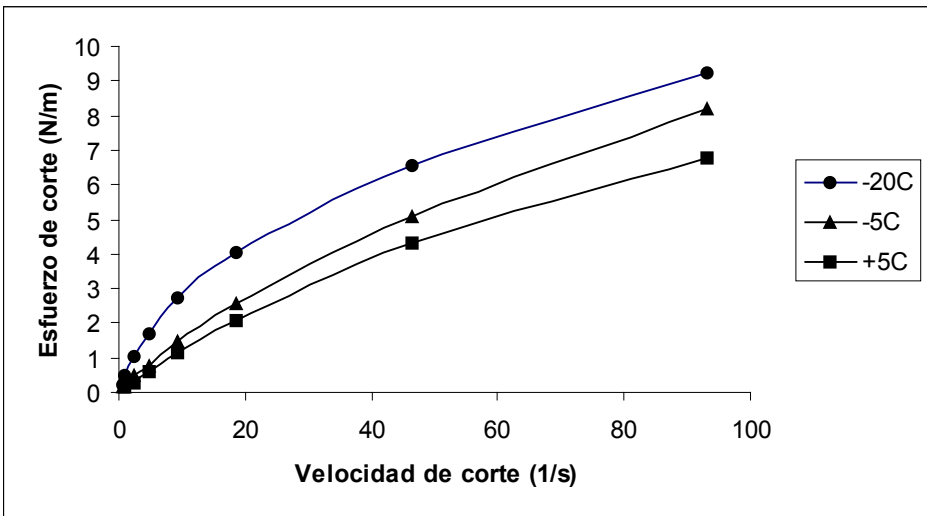


Figura 4

Relación entre la velocidad de corte y el esfuerzo cortante de las suspensiones preparadas con las harinas procedentes de parénquima precocido y reposado a 5, -5 y -20°C

En suspensiones de almidón gelatinizado se ha encontrado que a bajas concentraciones de almidón el comportamiento reológico del fluido sigue la ley de potencia sin un esfuerzo de fluencia en un amplio rango de velocidades de corte. Las pastas de almidón con un calentamiento previo a temperaturas por encima de 90°C son generalmente fluidos pseudoplásticos (Rao, 1999; Rao y Tattiyakul, 1999; Chen y Ramaswamy, 1999; González-Parada y Pérez-Sira, 2003).

4. CONCLUSIONES

La presente investigación explica la influencia que tiene la etapa de reposo a baja temperatura sobre el parénquima de yuca precocido, lo cual incide en las características físicas de las harinas de yuca que se obtengan.

La reducción de los índices de absorción y de solubilidad y la leve recuperación de la viscosidad en la curva de empastamiento de las harinas de yuca elaboradas con parénquima precocido y reposado a baja temperatura se puede explicar probablemente porque parte del material solubilizado, entre los que se destacan moléculas de amilosa, interaccionan entre sí para formar otra estructura que cambia sus características físicas.

Las suspensiones de las harinas preparadas con trozos de yuca precocidos sin y con reposo a baja temperatura tienen un comportamiento reológico propio de un fluido pseudoplástico. Al comparar los valores de la viscosidad aparente de las suspensiones de harina precocida sin reposo con los valores reportados para las suspensiones de harina elaboradas con parénquima precocido y reposado a baja temperatura, se observa una marcada reducción de estas últimas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Chemonics por la financiación de este proyecto, a Teresa Sánchez del CIAT por los análisis de RVA, y a Jimena Hernández por su colaboración durante la experimentación.

REFERENCIAS

- ANDERSON, R.A., CONWAY, V.F., PFEIFER, V.F. y GRIFFIN, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. *Cereal Science Today*. 1969, Vol. 14, p 4-12.
- BERBARI, S. *Desenvolvimento de tecnologia para obtenção de produto cromatado e congelado de mandioca (Manihot esculenta Crantz)*. Campinas, 2001, 119 p. Trabajo de grado (Doctorado en Tecnología de Alimentos). Universidad de Campinas. Facultad de Ingeniería de Alimentos FEA.

- BILIADERIS, C.G. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Technology*. (1992); Vol 46, No. 6, p. 98-109,145.
- BOURNE, M. C. *Food texture and viscosity: Concept and measurement*. San Diego: Academic Press, 2 ed. 2002. 73-87 p.
- BULÉON, A., COLONNA, P., PLANCHOT, V. y BALL, S. Starch granules: Structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 23, (1998); p. 85-112.
- CAMIRE, M.E., CAMIRE, A., KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical reviews in food science and nutrition*. Vol. 29, N° 1 (1990); p.35 – 57.
- CHAN, W.S. y TOLEDO, R.T. Dynamics of freezing and their effects on the water-holding capacity of gelatinized starch gel. *Journal of Food Science*. Vol. 41, (1976); p. 301-303.
- CHEN, C.R. y RAMASWAMY, H.S. Rheology of tapioca starch. *Food Research International*. Vol. 32, (1999); p. 319-325.
- FERNÁNDEZ, A. *Effects of processing procedures and cultivar on the properties of cassava flour and starch*. Nottingham, 1996, 241 p. Trabajo de grado (Doctorado en Ingeniería de Alimentos). Universidad de Nottingham. Escuela de Agricultura. Departamento de Bioquímica Aplicada y Ciencia de los Alimentos.
- FRENCH, D. Organization of starch granules. *Starch: Chemistry and Technology*. (Eds.) Whistler R.L., Bemiller J.N. Y Paschall E.F. Florida: Academic Press Inc., 2 ed. (1984), pp.184-247.
- GONZÁLEZ-PARADA, Z.M. y PÉREZ-SIRA E. Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot Esculenta Cranz*) pregelatinizados y calentados con microondas. *Acta Científica Venezolana*. Vol 54, (2003); p. 127-137.
- HENAO, S. *Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación*. 2004, 154 p. Trabajo de grado de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Palmira, Valle del Cauca.
- HERMANSSON, A.M., SVERGMARK, K. Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 7, (1996), p. 345-353.
- HOPKINS, S. y GORMLEY, R. Rheological properties of pastes and gels made from starch separated from different potato cultivars. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. Vol 33, (2000); p. 388-396.
- HUANG, D.P, ROONEY, L.W. Starches for snack foods. *Snack foods processing*. Eds. Lusas, E.W., Rooney, L. W. Lancaster, Pennsylvania. Technomic Publishing Company, Inc. (2001); 115-130 p.
- HURTADO, J. *Valorización de las amiláceas "no – cereales" cultivadas en los países andinos: Estudio de las propiedades fisicoquímica y funcionales de sus almidones y de la resistencia a diferente tratamientos estresantes*, 1997,164 p. Trabajo de grado (Ingeniería de Alimentos). Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ingeniería de Alimentos, Santafé de Bogotá,
- JENKINS, P.J. y DONALD, A.M. Gelatinisation of starch: A combined SAXS/WAXS/ DSC and SANS study. *Carbohydrate Research*. Vol. 308, (1998); p. 133-147.

- LAMBERTI, M., GEISELMANN, A., CONDE-PETIT, B. y ESCHER, F. Starch transformation and structure development in production and reconstitution of potato flakes. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. Vol 37, (2004); p. 417-427.
- LIU, Q., CHARLET, G., YELLE S, ARUL J. Phase transition in potato starch-water system I. Starch gelatinization at high moisture level. *Food Research International*. Vol. 35, (2002), p. 397-407.
- MUZANILA, Y.C., BRENNAN, J. G. y KING, R.D. y MACDOUGALL, D.B. Texture of reconstituted cassava flakes. *Topical Science*. Vol. 41, (2001); p. 55-59.
- NAVARRO, A.S., MARTINO, M.N. y ZARITZKY, N.E. Effect of freezing rate on the rheological behaviour of systems based on starch and lipid phase. *Journal of Food Engineering*. Vol. 26, (1995); p. 481-495
- NUMFOR, F.A., WALTER, W.M. y SCHWARTZ, S.J. Emulsifiers effect the texture of pastes made from fermented and non-fermented cassava flours. *International Journal of Food Science and Technology*. Vol. 33, (1998); p. 455-460.
- OORAİKUL, B., PACKER, G.J.K. y HADZIYEV, D. Starch and pectin substances as affected by a freeze-thaw granule process. *Journal of Food Science*. Vol. 39, (1974); p. 358-364.
- OSPINA, B., ALONSO, L., FERNÁNDEZ, A., RODRÍGUEZ, E. y HERNÁNDEZ, J. Desarrollo de una harina precocida de yuca para la elaboración de masas preformadas tipo croqueta. *Cuarto Informe de avance* (Comunicación Interna). Cali: Consorcio Latinoamericano CLAYUCA-Universidad del Valle. 2004.
- PÉREZ, E., BREENE, W.M. y BAHNASSEY, Y.A. Gelatinization profiles of peruvian carrot, cocoyam and potato starches as measured with Brabender Viscoamylograph, Rapid Visco-Analyzer, and Differential Scanning Calorimeter. *Starch/Stärke*. Vol.50, N° 1, (1998); p. 14-16.
- PIELICHOWSKI, K., TOMASIK, P., SIKORA, M. Kinetics of gelatinization of potato starch studied by non-isothermal DSC. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 35, (1998), p. 49-54.
- PONGSAWATMANIT, R., THANASUKARN, P. y IKEDA, S. Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. *Science Asia*. Vol. 28, (2002); p. 129-134.
- RAO, M.A. *Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications*. Maryland: Aspen publications, 1ra. ed. 1999, 176, 184-185 p.
- RAO, M.A. y TATTIYAKUL, J. Granule size and rheological behavior of heated tapioca starch dispersions. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 38, (1999); p. 123-132.
- STEFFE, J. *Rheological methods in food process engineering*. Michigan: Freeman Press, 1996, 23 p.
- TESTER, R.F., DEBON, S.J. Annealing of starch: A review. *International journal of biological macromolecules*. Vol. 27 (2000); p. 1-12.
- WAIGH, T.A., GIDLEY, M.J., KOMANSHEK, M.U., DONALD, A.M. The phase transformations in starch during gelatinisation: A liquid crystalline approach. *Carbohydrate Research*. Vol. 328 (2000), p.165-176.