

EVALUACIÓN REOLÓGICA DE MEZCLAS DE HARINA DE YUCA Y ALMIDÓN DE MAÍZ

*Marta Álvarez-González^{*1}, Gwendolyne Hernández-Rodríguez¹*

*¹Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Carretera al Guatao km 3½,
CP 17100, Cuba. E-mail: marta@iiaa.edu.cu*

Recibido: 22-10-2025 / Revisado: 05-11-2025 / Aceptado: 15-11-2025 / Publicado: 30-12-2025

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la reología de mezclas sustitutas de la harina de trigo para producir alimentos para enfermos que requieren una alimentación baja en proteínas, se estudió el comportamiento de mezclas de harina de yuca y almidón de maíz en relación 10:90, 30:70, 50:50 y 90:10 empleando el equipo Mixolab 2 con el protocolo de trabajo *Chopin Estándar* (AACC 54-60.01). Todas las premezclas mostraron una hidratación elevada en relación a lo que se plantea para la harina de trigo y se observó que al aumentar el porcentaje de harina de yuca fue mayor la consistencia en las primeras etapas de mezclado y calentamiento, pero disminuyó la viscosidad máxima (C3), la estabilidad del gel (C4) y también la retrogradación (C5).

Palabras clave: reología, harina de yuca, almidón, mixolab

ABSTRACT

Rheological evaluation of cassava flour and corn starch mixtures.

With the aim of evaluating the rheology of wheat flour substitute mixtures for producing food for patients requiring a low-protein diet, the behavior of cassava flour and corn starch mixtures was studied in ratios of 10:90, 30:70, 50:50, and 90:10 using the Mixolab 2 equipment with the *Chopin Standard* working protocol (AACC 54-60.01). All premixes showed high hydration compared to that expected for wheat flour. It was observed that increasing the percentage of cassava flour resulted in greater consistency in the initial stages of mixing and heating, but decreased maximum viscosity (C3), gel stability (C4), and retrogradation (C5).

Keywords: rheology, cassava flour, starch, mixolab

INTRODUCCIÓN

Existe un grupo de personas que padecen de algunos trastornos metabólicos hereditarios que afectan la ruptura de ciertos aminoácidos presentes en las proteínas de los alimentos, así por ejemplo los que padecen de aciduria metilmalónica o la propiónica no pueden fraccionar la metionina, la treonina, la valina y la isoleucina. Los aminoácidos que el organismo no puede descomponer forman sustancias peligrosas que se acumulan y pueden producir grandes alteraciones como son el daño cerebral, trastornos del movimiento, insuficiencia renal, inmunodeficiencia funcional, pérdida de la visión y hasta llegar a ser potencialmente mortales si no se tratan (1). Estos enfermos por tanto requieren de alimentos especiales con proteínas sintéticas que no contengan los aminoácidos perjudiciales, también pueden evitar consumir alimentos ricos en proteínas y consumir alimentos especialmente elaborados para ellos con bajo contenido de proteínas (2).

En la línea de diseñar alimentos con bajo contenido de proteínas en algunos productos horneados, se pudiera utilizar en lugar de la harina de trigo (que es la habitual, pero que contiene un nivel de proteínas inaceptables para estos trastornos) mezclas de almidones con otras harinas, como la de yuca, de muy bajo contenido de proteínas. Dado que la composición de la harina de trigo difiere sustancialmente de esos otros ingredientes, es de esperar que estas mezclas puedan tener un comportamiento reológico diferente lo que influye en su comportamiento tecnológico (3).

El equipo Mixolab de *Chopin Technologies* fue diseñado para brindar información sobre el comportamiento reológico de una masa durante el proceso de mezclado a temperatura constante, así como durante períodos de calentamiento y enfriamiento y mide el torque (en Nm) producido por la masa entre dos cuchillas mezcladoras (4). Este equipo se puede emplear tanto en investigación como en el control de calidad. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento

reológico empleando en el Mixolab de mezclas de harina de yuca con almidón de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Planta de Cereales del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA). La harina de yuca (HY) se obtuvo según la metodología descrita por Ochoa y colaboradores (5) con 14 % de humedad y una granulación con un porcentaje de partículas inferiores a 280 μ de 76 %. El almidón de maíz con 14,68 % de humedad fue suministrado por la empresa GydeMa de Cuba.

Se prepararon mezclas de HY y almidón de maíz en relación 10:90, 30:70, 50:50 y 90:10. Para analizar el comportamiento reológico de las mezclas se utilizó el equipo Mixolab 2 de acuerdo a lo establecido en el protocolo de trabajo (6) *Chopin Estándar* (Método 54-60.01). Los análisis se realizaron por duplicado y se determinaron los valores medios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores promedios obtenidos de los análisis realizados en el Mixolab a las mezclas de HY y el almidón. En la Figura 1 aparecen los gráficos de cada una de las mezclas.

Para lograr que en todas las mezclas los valores de C1 (consistencia máxima inicial) se encontraran entre 1,05 y 1,15 Nm, que es el grado de ajuste recomendado por el método, fue necesario modificar la cantidad de agua a añadir (hidratación) hasta lograr el torque deseado.

Tabla 1. Resultados promedio de las mediciones del Mixolab en modo estándar (n=2)

HY/almidón (%)	Hidratación (%)	C1 (Nm)	Cs (Nm)	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)
10/90	72,2	1,140	0,852	0,309	1,685	1,60	2,278
30/70	77,1	1,115	0,860	0,322	1,674	1,594	2,232
50/50	75,0	1,146	1,066	0,354	1,466	1,346	2,057
70/30	77,8	1,094	1,083	0,311	1,396	1,116	1,727
90/10	74,0	1,106	1,037	0,376	1,397	1,020	1,589

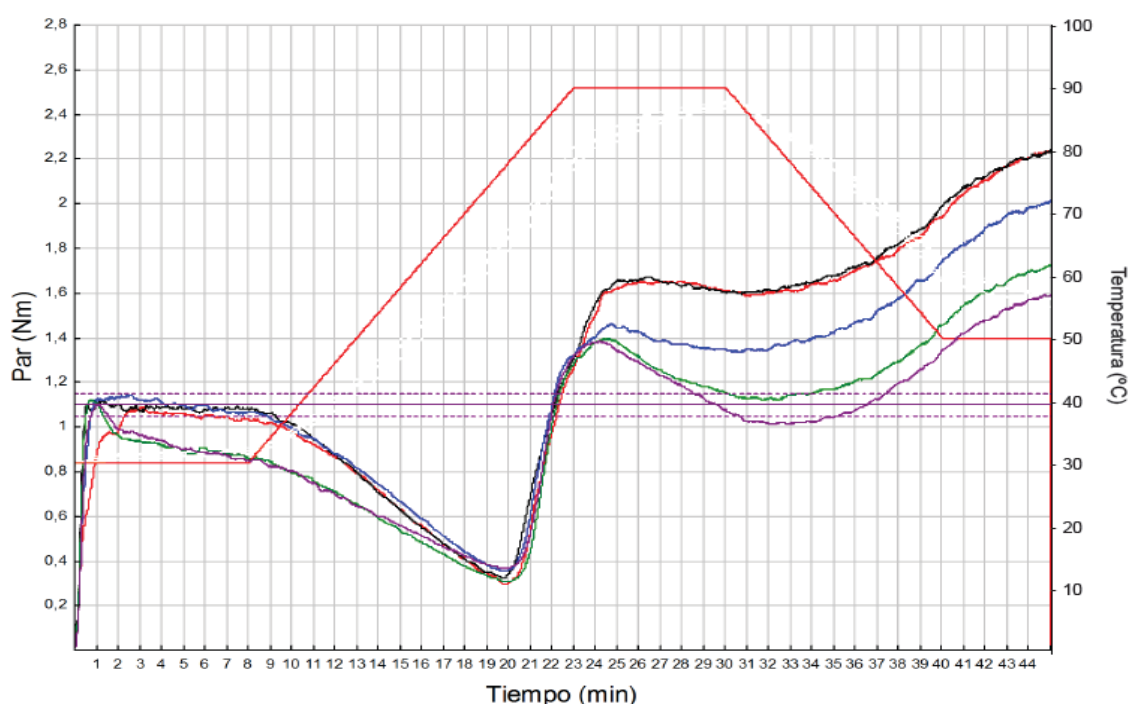


Fig. 1. Gráficos del Mixolab para las diferentes mezclas de harina de yuca y almidón de maíz

---10 % HY/90 % A ---30 % HY/70 % A ---50 % HY/50 % A ---70 % HY/30 % A ---90 % HY/10 % A
 Leyenda: HY: harina de yuca, A; almidón de maíz

No se observó una tendencia definida en la hidratación por el aumento de la proporción de alguno de los componentes de la premezcla. El valor más bajo de hidratación se encontró con el 10 % de HY y el más alto con el 70 %. No obstante, la hidratación de todas las mezclas fue muy superior a la que se

obtiene con una harina de trigo que puede estar en el orden de 50 a 65 % (4). Estos resultados implican que si se van a utilizar estas mezclas en la elaboración de productos alimenticios es necesario añadir más agua durante el mezclado y analizar hasta donde es posible realizar estos incrementos sin que se

afecten otras partes del proceso y se deteriore la calidad del producto final. Estos aumentos en la hidratación pueden ser debidos a varios factores como diferencias en los contenidos de almidones de estas mezclas que son muy superiores a la de la harina de trigo (la HY contiene entre 77 y 80 % (5) y la capacidad que tiene el almidón de absorber agua, especialmente los almidones dañados (7), el contenido de fibra en la harina de yuca (4,8 y 6,7 %) (5) y su alta capacidad de absorber el agua (8) incluso superior a las proteínas (9), la forma de los gránulos de almidón (10, 11) y hasta el tamaño de las partículas de la harina (12, 13, 14).

Al final de los 8 min de amasado (Cs) a temperatura constante de 30°C se observa en las curvas una separación, las de más contenido de HY fueron las que menos se debilitaron y al llegar a C2 (torque mínimo) donde ha continuado el amasado y la temperatura llega entre 64 y 67°C y va a comenzar la gelatinización del almidón no hay grandes diferencias entre los torques, pero se mantuvo que el mayor valor del torque se alcanzó con el mayor contenido de HY (90 %) y el menor con el menor contenido de HY (10 %). Esto indica que en esta etapa la harina de yuca resiste más la deformación por el tiempo de amasado. Nuevamente el tipo de gránulo y el contenido de almidón dañado presente tienen influencia en estas características, a mayor contenido de almidón dañado, mayor poder de hinchamiento a menor temperatura (15). Por otra parte, la relación de amilosa y amilopectina de los almidones de cada mezcla influye también en la diferente absorción, pues la amilopectina absorbe más agua que la amilosa debido a su estructura abierta (16). Aunque los contenidos de amilosa pueden variar tanto en la yuca como en el maíz en dependencia del tipo de cultivar, el suelo donde se cosecha y condiciones climáticas, algunos autores consideran que el rango de amilosa en la yuca normal (no waxy) está entre 14 y 32 % (15,17) y en el almidón de maíz entre 22.4–32.5 % (11) o entre 29 y 55,9 % (17).

Entre C2 y C3 (este último es el torque máximo), los gránulos de almidón se deforman considerablemente y comienza el fenómeno de gelatinización, lo que se traduce en un aumento importante y rápido de la viscosidad, y por tanto del torque registrado por el Mixolab. En la harina de trigo el valor de C3 está muy relacionado con el contenido de amilasa que degrada el almidón y por tanto disminuye la viscosidad. En la HY la amilasa puede también influir, pero no es abundante a no ser que se fermente durante el proceso de elaboración de la harina y los hongos presentes produzcan la amilasa (18).

Otro factor que influye en el valor de C3 es el contenido almidón presente en la mezcla y su relación entre el contenido de amilosa y amilopectina (15). Por tanto, en las mezclas estudiadas el pico de viscosidad que se alcance dependerá del efecto resultante del aumento de viscosidad por las características de gelatinización de los carbohidratos presentes y la ruptura del gel por el efecto mecánico y la temperatura (19). Hubo una tendencia a disminuir C3 con el aumento de HY en la mezcla y también se obtuvo la máxima gelatinización a una temperatura un grado centígrado inferior pues entre 50 y 90 % de HY osciló entre 82 y 83°C y entre 10 y 30 % de HY fue entre 84 y 85°C.

C4 es el torque mínimo alcanzado después del calentamiento. En este punto la gelatinización del almidón se ha completado y C4 mide la estabilidad del gel. La gelatinización del almidón es importante para fijar la estructura de la miga de los productos horneados y esta depende de la proporción amilosa/amilopectina. Poca amilosa da valores más bajos de C3, C4 y C5 y deben llevar a la producción de piezas con poco volumen (20). Hubo una tendencia bien marcada de que a medida que aumentó el porcentaje de yuca C4 se hizo más bajo.

El valor de C5 (torque final) es un indicador de la retrogradación del almidón. En este índice también apareció una clara tendencia a disminuir su valor con el aumento la HY

en la premezcla, lo cual sería beneficioso para disminuir la retrogradación en el almacenamiento y el consiguiente endurecimiento de los productos.

Si se comparan los resultados obtenidos de las mezclas de HY y almidón con los que se presentan por el fabricante del Mixolab (20) como ejemplo ilustrativo del promedio de diferentes tipos de harinas blancas para diferentes usos (Tabla 2) se observa que ninguna mezcla se aproxima a las harinas de trigo, todos los torques que se obtienen con la harina de trigo son superiores a las mezclas de HY y almidón a excepción del valor de C4 en el trigo fuerte. Esto implicará comportamientos tecnológicos diferentes.

Tabla 2. Resultados promedios para diferentes tipos de harinas

Harinas de trigo	C2 (Nm)	C3 (Nm)	C4 (Nm)	C5 (Nm)
Débiles	0,43	2,06	1,68	3,34
Media fuerza	0,45	2,03	1,77	2,57
Fuertes	0,47	1,87	1,5	2,41

Fuente: *Chopin technologies* (2012)

De los resultados obtenidos se puede decir que la HY en las mezclas proporcionó más estabilidad de las mezclas durante el mezclado a 30°C y hasta el punto de inicio de la gelatinización, pero una vez que comenzó la gelatinización, el posterior calentamiento y enfriamiento la HY aportó menos viscosidad o sea los torques de las mezclas fueron menores. Estas características deberán influir en la tecnología de los productos a elaborar por lo que será necesario establecer para una fórmula y tecnología estable los valores que mejor contribuyen a la calidad de los productos terminados y que permitan incorporarse en el control de calidad de las mezclas seleccionadas.

CONCLUSIONES

Todas las premezclas mostraron una hidratación elevada y se observó que al aumentar el porcentaje de harina de yuca fue mayor la consistencia en las primeras etapas de mezclado y calentamiento, pero disminuyó la viscosidad máxima (C3), la estabilidad del gel (C4) y también la retrogradación (C5).

Esta investigación pertenece al proyecto: Desarrollo de alimentos con materias primas de bajo contenido de proteínas, perteneciente al programa sectorial de industrialización de alimentos financiado por el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA) de Cuba.

REFERENCIAS

1. Fraser JL, Venditti CP. Methylmalonic and propionic acidemias: clinical management update. *Curr Opin Pediatr*. 2016; 28(6):682-93. doi:10.1097/MOP.0000000000000422.
2. NCIMD (National Centre for Inherited Metabolic Disorders). *Metabolic Disorder Information Handbook*. Methylmalonic acidemia, January 2019, Dublin, www.metabolic.ie. Acceso 17 noviembre 2025.
3. Hadnadev TD, Torbica A, Hadnadev M. Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crops assessed by Mixolab. *Procedia Food Science* 2011;1: 328-34. ISSN 2211-601X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11000526> Acceso 17 noviembre 2025.
4. Chopin technologies. *Mixolab Applications Handbook*, february, 2015.
5. Ochoa M, Sardiñas L, Maza N, Lima M, Álvarez M, Falco AS, ET al. Evaluación de harina y almidón de yuca obtenidos de diferentes clones. *Cienc Tecnol Aliment* 2014; 24(2):63-8. Disponible en: <https://revcital.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/466>

6. AACC (American Association of Cereal Chemists). Approved Methods of Analysis. Method 54-60.01. Determination of Rheological Behavior as a Function of Mixing and Temperature Increase in Wheat Flour and Whole Wheat Meal by Mixolab. 2010.
7. Sluimer P. Principles of Breadmaking: Functionality of Raw Materials and Process Steps. Ed. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN; 2005.
8. Hamer RJ, Hoskeney RC. Interactions: The keys to cereal quality. Amer Assn of Cereal Chemists, St. Paul, MN; 1998.
9. Berton B, Scher J, Villieras F, Hardy J. Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. Powder Technology 2002; 128: 326-31.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591002001687>. Acceso 17 noviembre 2025.
10. Tester R, Morrison W. Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. II. Waxy Rice Starches. Cereal Chem. 1990; 67(6):558-63.
11. Singh N, Singh J, Kaur L. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chem 2003; 81, 219-31.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8).
12. Cristiano MC, Froioi F, Costanzo N, Poerio A, Lugli M, Fresta M, et al. Effects of flour mean particle size, size distribution and water content on rheological properties of wheat flour doughs. European Food Research and Technology. 2019; 245: 2053-62.
<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03315-y>.
13. Mirza AA, Peivasteh RL, Tajdar OB, Beikzadeh S, Barani BH, Jazaeri, S. Effect of Flour Particle Size on Chemical and Rheological Properties of Wheat Flour Dough. Iran. J. Chem. Chem. Eng. 2022; 41(2): 682-94.
14. Dziki, D, Krajewska A, Findura P. Particle Size as an Indicator of Wheat Flour Quality: A Review. Processes 2024; 12(11), 2480. <https://doi.org/10.3390/pr12112480>.
15. Oliveira DC, Maieyes HA, Bernardo C, Bellettine IC, Remor BB, Moresco R, Amante ER Evaluation of cassava starch as raw material according to the characteristics of the granules. Research, Society and Development, 2020; 9 (12), e8491210879. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10879>.
16. Jane JY, Chen Y, Lee F, McPherson KS, Wong M. Radosavljevic, and T. Kasemsuwan. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chem. 1999; 76(5): 629-37.
17. Chisenga SM, Workneh TS, Bultosa G, Alimi BA. Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. J Food Sci Technol 2019; 56(6):2799-2813.
18. Essiedu JA, Johnson FS, Ayimbila F. Isolation of amylase producing fungi from cassava flour. Fungal Territory 2021; 4(1): 5-9. <https://doi.org/10.36547/ft.151>.
19. Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Nutritional Value of Cassava for Use as a Staple Food and Recent Advances for Improvement. Comprehensive reviews in food science and food safety, 8 (3), 181-194.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>
20. Chopin technologies. Mixolab comprender mejor la curva. Chopintechnology, 2012. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21005312>. Acceso 2 diciembre 2024.