

MODELAMIENTO DE RESPUESTAS FARINOGRÁFICAS DE MASAS DE HARINAS COMPUESTAS YUCA-TRIGO ADICIONADAS DEL HIDROCOLOIDE XANTAN

(Modeling farinographic responses of yuca-wheat compound flour doughs added with xanthan hydrocolloid)

Wílmer Peña^{1*} & Nilza Quintero²

¹ Magister Scientiarum en Ingeniería Agroindustrial. Profesor Agregado adscrito al Programa de Ciencias del Agro y del Mar Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social UNELLEZ. Barinas. Venezuela. wjpr58@gmail.com

² Magister Scientiarum en Ingeniería Agroindustrial. Profesora Agregada adscrito al Programa de Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Planificación y Desarrollo Social UNELLEZ. Barinas.

Venezuela.nilzaquintero@gmail.com

*Autor de Correspondencia: wjpr58@gmail.com

Recibido: 17-09-2019 Aceptado: 13-10-2019

RESUMEN

La investigación modeló y optimizó el efecto del hidrocoloide xantan sobre las características farinográficas de las masas de harina compuesta yuca-trigo; se aplicó el Diseño llenado de espacios, método Hipercubo Latino, el cual permitió obtener una muestra aleatoria de formulaciones con nueve (9) tratamientos y nueve (9) niveles; los valores del factor harina de yuca (X_1) van desde 15 % hasta un 100 %, los de la harina de trigo (X_2) varían de 0 % al 85 % y el hidrocoloide (X_3) se fijó entre 0 % y 2 %. La farinografía demostró que el hidrocoloide impactó positivamente la Absorción de Agua (AA), las harinas compuestas aumentaron su valor hasta sustituciones de un 55 %. El Tiempo de Llegada (T_{L1}), de Desarrollo (T_d), Estabilidad (E) y Tiempo de Salida (T_s), aumentaron en las harinas compuestas adicionadas del hidrocoloide al compararlas con la harina de trigo. Se encontró un modelo con excelente bondad de ajuste y la optimización vía simulación (OvS) para las respuestas farinográficas convergió cuando X_1 , X_2 y X_3 alcanzaron valores de 40,01 %, 57,08 % y 2,91 %, respectivamente.

Palabras clave: *harina compuesta, hidrocoloide, farinografía, modelamiento, optimización.*

SUMMARY

The research modeled and optimized the effect of the xanthan hydrocolloid on the farinographic characteristics of cassava-wheat composite flour doughs; the Design filled with spaces, Latin Hypercube method was applied, which allowed to obtain a random sample of formulations with nine (9) treatments and nine (9) levels; the values of the cassava flour factor (X_1) range from 15% to 100%, those of wheat flour (X_2) vary from 0% to 85% and the hydrocolloid (X_3) was set between 0% and 2%. The farinograph showed that the hydrocolloid positively impacted Water Absorption (AA), the compound flours increased their value to substitutions of 55%. Arrival Time (T_{L1}), Development Time (T_d), Stability (E) and Exit Time (T_s), increased in the added composite flours of the hydrocolloid when compared with wheat flour. A model with excellent goodness of fit and optimization via simulation (OvS) was found for the farinographic responses converged when X_1 , X_2 and X_3 reached values of 40.01%, 57.08% and 2.91%, respectively.

Keywords: *compound flour, hydrocolloid, farinograph, modeling, optimization.*

INTRODUCCIÓN

Intentar sustituir la harina de trigo por cualquier otra materia prima amilácea que no forme gluten genera importantes retos reológicos; se afecta la aptitud de la masa panadera y por ende la calidad de los productos terminados. Como consecuencia de la reducida cantidad de proteína y la calidad funcional de esta en la harina de yuca se afirma que no tienen propiedades formadoras de gluten (Sciarini, Steffolani y León, 2016, pp.66-67). Esta dificultad puede ser abordada utilizando hidrocoloides que ayuden a corregir las debilidades que presentan las masas cuando se reduce la participación del trigo en ellas. El estudio de la reología de la masa se puede realizar con instrumentos empíricos para evaluar su comportamiento de flujo (farinógrafo, mixógrafo y extensógrafo), Steffe (citado por Rodríguez, Fernández y Ayala, 2005, p.75). Se han realizado estudios con pan suave utilizando diferentes mezclas de harina compuesta yuca-trigo con la finalidad de determinar los niveles máximos de sustitución de la harina de trigo por la de yuca. Sánchez (2013, p. 57) reemplazó 6,25; 12,5; 18,75 y 25 %; utilizó una muestra control de 100 % de harina de trigo; concluyó que” el aumento de la sustitución acrecentó el debilitamiento de la masa, la absorción de agua y estabilidad y disminuyó el tiempo de desarrollo”. En este mismo orden de ideas, Henao y Aristizábal (2009, pp.42-44), destacan que... en las harinas compuestas, con sustituciones hasta el 15 %, (...). aumenta la Absorción de Agua; por otra parte también sostienen que el Tiempo de Desarrollo de las masas alcanza la mitad del requerido para la

harina de trigo y la Estabilidad disminuye al aumentar el reemplazo.

Con la finalidad de abordar las debilidades presentadas por las harinas distintas a la del trigo en el comportamiento reológico de las masas, se han realizado ensayos utilizando hidrocoloides. Lazaridou, Duta, Papageorgiou, Belc & Biliaderis (2007, pp. 1033-1047) aseveran que los hidrocoloides pectina, carboximetilcelulosa (CMC), agarosa, xantan y β -glucano de avena ejercen un efecto sobre la reología de las masas en formulaciones sin gluten de harina de arroz, con almidón de maíz y caseinato de sodio (control); adicionados del 1 % y 2 % p / p (con base a la harina de arroz). Encontraron que la adición de xantan a la formulación sin gluten generó una curva de farinógrafo típica de las masas de harina de trigo. En este mismo sentido, Linlaud (2014, p. 71) demostró que los hidrocoloides aumentan la absorción de agua farinográfica de las mezclas con harina de trigo, respecto a la harina control y el efecto era dependiente del tipo y concentración del hidrocoloide.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación es evaluativa, se valoran los resultados farinográficos que producen los factores harina de yuca, harina de trigo e hidrocoloide (Hurtado, 2012, p.86). El diseño es de fuente experimental; la unidad de estudio, constituida por la masa de harina compuesta, se sometió a la manipulación intencional de tres (3)

variables: % de harina de yuca, % de harina de trigo y % de hidrocoloide.

Diseño experimental

Se recurrió a un arreglo *Space Filling Latin Hipercube*, en el cual los niveles de cada factor son igual al número de tratamientos, se establecieron las mezclas experimentales que abarcan una exploración eficiente de los factores en la región operativa. El diseño posee tres (03) factores, harina de yuca, harina de trigo y goma xantán (X_1 , X_2 y X_3), para estudiar y simular un proceso multirrespuesta constituídos por la A.A, T_{L1} , T_d , E y T_s (Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 y Y_5) respectivamente. Se sometieron a experimentación las nueve (09) formulaciones arrojadas por el arreglo de tratamientos, mediante el Farinógrafo Brabender, Modelo FA-MV100. Serial 27450, se determinó: AA, T_{L1} , T_d , E y T_s , aplicando el método de la AACC 54-21., fundamentado en los resultados se optimizó, a fin de establecer formulaciones que permitieran la mejor relación entre los factores participantes.

Tratamiento y análisis de los datos

Los datos de la farinografía se trataron mediante un proceso de optimización vía simulación (OvS). El proceso de modelamiento de cada variable respuesta (Y_i), se realizó utilizando el módulo de Análisis *Screening* del Programa *SAS JMP 8*. Decidido a priori el uso de modelos lineales aditivos generales de alto orden, se detectaron términos no significativos en este modelo inicial, se sustituyeron por términos de más alto orden. Los modelos lineales aditivos de alto orden (MLAAO) para cada una de las respuestas no generaron excelente bondad de

ajuste; ello impulsó la exploración de otro tipo de modelaje que explicara mejor las respuestas, se procedió a ajustar modelos no lineales del tipo Redes Neuronales Artificiales (RNA).

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la ejecución del *software SAS JMP 8*, este arreglo representa el volumen del espacio que permite una exploración eficiente del sistema.

Tabla 1. Arreglo de tratamientos experimentales. Nueve tratamientos con nueve niveles.

Tratamiento	Harina		Aditivo
	Yuca	Trigo	Goma xantán
1	68,125	53,125	2,00
2	78,750	42,500	0,00
3	36,250	10,625	1,75
4	25,625	63,750	1,50
5	89,375	74,375	1,00
6	100,000	21,250	1,25
7	57,500	0,000	0,75
8	46,875	85,000	0,25
9	15,000	31,875	0,50

Fuente: JMP 8. Space Filling Latin Hypercube.

El farinograma generado por la harina de trigo es el distintivo del comportamiento de estas harinas (Figura 1). El porcentaje de AA se asemeja al reportado por Sandoval, Álvarez, Paredes y Lascano (2012) de 63,7 %; al igual que el T_{L1} , T_d y E.

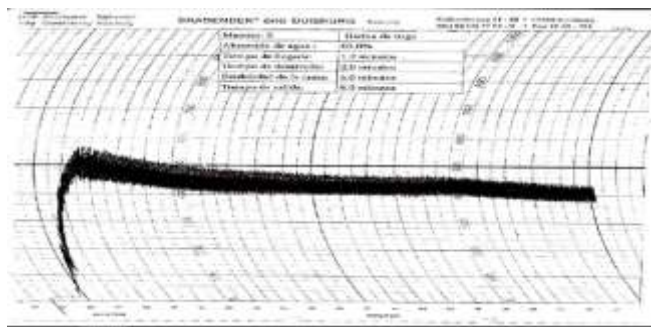


Figura 1. Farinograma de la harina de trigo. CIEPE. 2018.

Con la harina de yuca no se pudo determinar ningún valor a partir de la gráfica generada (Figura 2), estos resultados se asemejan a los encontrados por Lascano (2010), para las harinas puras de cebada, maíz, quinua y papa, debido a que “en su composición no se encuentran las proteínas que al hidratarse formen el gluten, que bajo condiciones apropiadas de trabajo mecánico, origina una masa elástica y cohesiva”.

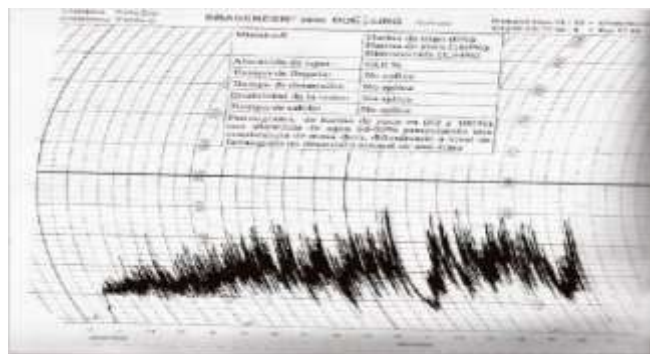


Figura 2. Farinograma de la harina de yuca. CIEPE. 2018.

Análisis farinográfico de las harinas compuestas adicionadas con la goma xantan

Absorción de Agua

En la Figura 3 se muestran los valores obtenidos correspondientes a AA, T_{L1} , T_d , E y $T_{s.}$, el resultado de la AA para las formulaciones M1, M2 y M4, es

mayor, por lo que estas mezclas de harinas tienen mayor rendimiento de producción que la harina de trigo. Este comportamiento puede tener su explicación en las interacciones sinérgicas de las propiedades hidrofílicas de la goma xantan y las proteínas formadoras de gluten. Las muestras M3, M5, M6 y M7, tienen porcentajes de AA inferiores. Esta menor AA puede estar correlacionada con la pérdida de capacidad sinérgica del hidrocoloide xantan y con el debilitamiento de las proteínas formadoras de gluten, las cuales se encuentran disminuidas por el incremento de la harina de yuca.

Tiempo de llegada

Todas las formulaciones con harinas compuestas tienen valores superiores al de la harina de trigo (Figura 3), este aumento del tiempo, asociado a la cantidad de agua absorbida, obedece a la presencia del hidrocoloide, no está asociado al aumento de proteínas como sucede con la harina de trigo.

Tiempo de desarrollo

El T_d de las masas de harinas compuestas es superior al de la harina de trigo, en las masas obtenidas con harina de trigo el T_d está relacionado con el tiempo necesario para el desarrollo del gluten, de tal manera que mientras más fuerte es la harina, mayor es este valor. Sin embargo, cabe resaltar que en el caso de la harina de yuca, sin adición de xantan, tienden al debilitamiento de la mezcla y, en consecuencia, dan como resultado una disminución en el T_d , ello indica que el hidrocoloide ha incidido en forma clara en este comportamiento. Por otra parte, es destacable lo que plantea Lascano (2010),

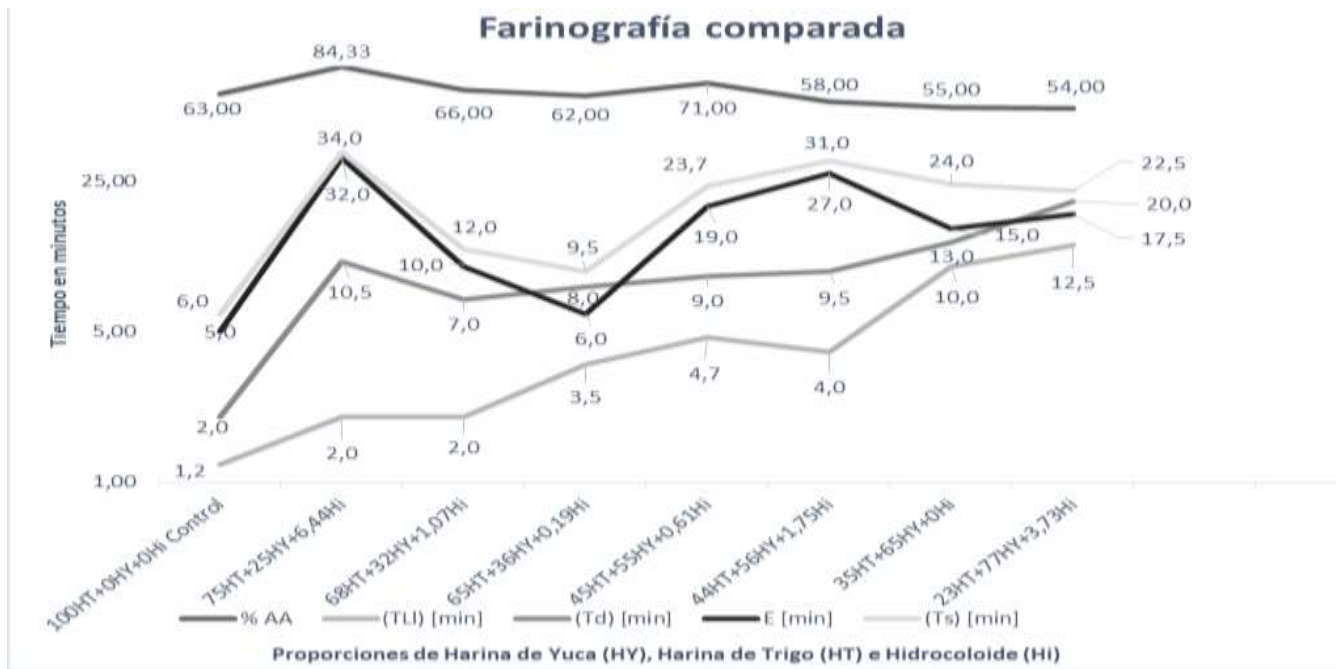


Figura.3. Comparación de las farinografías de las muestras de masas de harinas compuestas Yuca-Trigo, adicionadas de hidrocoloide xantan.

quien sugiere que “este aumento en el tiempo de desarrollo puede atribuirse a la dificultad de las mezclas de harinas en formar una masa viscoelástica, por lo que, se requiere de un mayor tiempo de amasado para absorber el agua y formar una red”.

Estabilidad

Los resultados de la estabilidad son altos para todas las formulaciones en comparación con la harina de trigo (Figura 3). Los valores altos de E pueden explicarse por la presencia del hidrocoloide xantan en las formulaciones, debido a que lo que se espera es que al reducirse la formación de gluten como consecuencia de la participación de la harina de yuca, las masas tiendan a reflejar valores bajos de E, ya que existe una relación directamente proporcional, en el caso de la harina de trigo, entre

la calidad de la proteína y la E de la masa (Jardine, 1982) citado por Avellaneda y Pardo (2015).

Tiempo de Salida

Estos resultados son altos comparados con el T_s de la harina de trigo (Figura 3), lo cual es positivo, se comporta como una harina fuerte, soporta un mayor tiempo de amasado sin que pierda su esponjosidad.

Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Sánchez (2013, p. 57) quien reemplazó 6,25; 12,5; 18,75 y 25 %, sin usar hidrocoloides; en cuanto a que” el aumento de la sustitución acrecentó el debilitamiento de la masa y la estabilidad. Sin embargo, difieren porque el tiempo de desarrollo aumentó. Las muestras M1, M2, M3, M4, M5, M6, y M7, presentan un comportamiento que imita la curva típica de las harinas de trigo.

Optimización vía Simulación (OvS) del efecto de la goma xantan sobre la variabilidad de las respuestas

farinográficas de las masas elaboradas con harina compuesta yuca-trigo

optimizada, la cual se muestra en la Figura 4, se logra cuando los factores X₁, X₂ y X₃ alcanzan los valores 40,01 %, 57,08 % y 2,91 %, respectivamente.

En la Tabla 2, se presentan los modelos de predicción ajustados no lineales del tipo RNA, con tres factores (X_i) y cinco (5) respuestas (Y_i).

Tabla 2. Metamodelo de simulación no lineal de RNA y su bondad de ajuste.

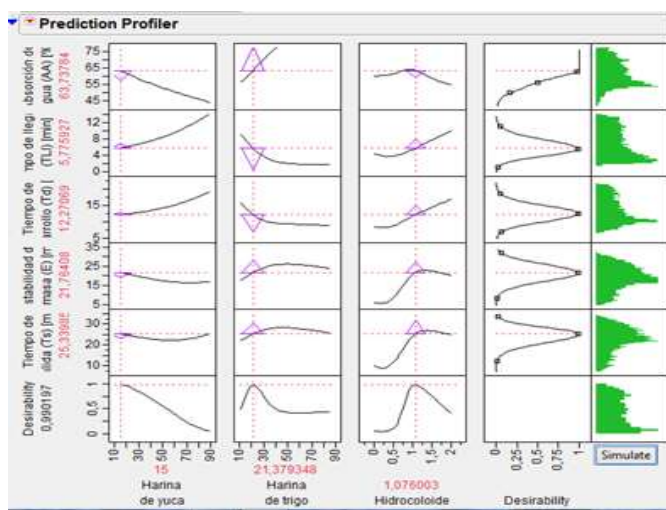
Variable respuesta	Ecuación	R ²
Absorción de agua (AA) [%]	= 64.33+10.70*(-3.34 -0.61*H1+ 3.27 *H2 + 2.38* H3 -0.05* H4)	0,9893
Tiempo de llegada (TLI) [min]	=5.53+4.10*(-0.90+2.36*H1-0.19 *H2+0.20 *H3+2.67*H4)	0,9854
Tiempo de desarrollo (Td) [min]	= 11+ 4.41*(-1.97 + 1.83 *H1+ 0.72 *H2+1.128 *H3+3.21*H4)	0,9883
Estabilidad (E) [min]	= 9.08*(-2.32+1.50 *H1+0.63*H2 + 3.40 *H3-1.27 *H4)	0,9967
Tiempo de salida (Ts) [min]	= 22.39+9.01*(-2.40 + 2.42 *H1 + 0.40 *H2 + 3.47*H3-1.174 *H4)	0,9817

Siendo: H1, H2, H3 y H4 las funciones de activación de la RNA. A partir de estos modelos

CONCLUSIONES

El hidrocoloide xantan viabiliza el aumento de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de yuca en las masas yuca-trigo, al compararlo con investigaciones anteriores. La optimización vía simulación permite afirmar que los niveles de reemplazo, adicionando hidrocoloide xantan, pueden ir hasta el 40,01 % para lograr una masa que imite las características farinográficas de la de harina de trigo para la elaboración de pan.

Figura 4. Optimización de la deseabilidad global de las respuestas farinográficas ajustados y de los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio para cada una de las variables respuestas, se obtiene la deseabilidad global



El Tiempo de Llegada (T_{LI}), Tiempo de desarrollo (T_d), Estabilidad (E) y Tiempo de Salida (T_s) aumentan en las harinas compuestas yuca-trigo adicionadas de xantan.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento al CIEPE y a la Caja de Ahorro de los Profesores de la UNELLEZ (CAPROF) por su apoyo técnico y financiero en la realización de los ensayos de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avellaneda, T. S. y Pardo, M. R. (2015). “Evaluación de la calidad de pan de molde enriquecido con torta desgrasada extruída de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)”. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/1988>
- Henao, S. y Aristizabal, J. (2009). Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Ingeniería e Investigación*, ISSN 0129-5608, 29 (1), 39-46. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012056092009000100005&script=sci_abstract&tlng=es
- Hurtado, J. (2012). *Cómo formular objetivos de investigación*. Caracas. Venezuela. Fundación CIEA-Sypal.
- Lascano, A. (2010). “Estudio reológico de mezclas de harina de cereales: Cebada (*Hordeum vulgare*), Maíz (*Zea mays*), Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculo: Papa (*Solanum*

tuberosum) nacionales con trigo (*Triticum vulgare*) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas alimenticias”. (Tesis de pregrado, UTA). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/867>

- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. & Biliaderis, C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79 (3), 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- Linlaud, N. (2014). *Efecto de distintos hidrocoloides sobre la microestructura de la masa y su relación con la calidad de productos de panificación*. (Tesis Doctoral, CIDCA-UNLP-CONICET). Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/41172/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Rodríguez, E., Fernández, A. y Ayala, A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Revista de ingeniería e investigación*, (57), 72 – 78. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/643/64325110.pdf>
- Sánchez, C. (2013). *Sustitución parcial de harina de trigo por harina de yuca en el pan suave*. Tesis de pregrado, Universidad de La

Habana). Recuperado de
https://docplayer.es/63372021-Sustitucion-parcial-de-harina-de-trigo-por-harina-de-yuca-en-el-pan-suave.html#tab_1_1_2

prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *AGRISCIENTIA*. 33 (2), 61-74.
Recuperado de
<http://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v33n2/v33n2a01.pdf>

Sciarini, S., Steffolani, E. y León, E. (2016). El Rol del gluten en la panificación y el desafío de