

Calidad y estructura de un pan sin gluten: efecto del tipo de hidrocoloide, proteína y harina pregelatinizada

P. Osorio-Díaz^{1*}, M. A. Hernández-Aguirre¹, G. Bravo-Rivera¹ y M. E. Sánchez-Pardo².

1 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Desarrollo Tecnológico, Instituto Politécnico Nacional, Calle Ceprobi No. 8, Col. San Isidro, 62731 Yauatepec, Morelos, México. **2** Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, 07738, Ciudad de México. *posorio@ipn.mx

RESUMEN: El efecto de hidrocoloides, proteínas y harinas de fuentes alternas en panes sin gluten ha sido motivo de estudio para mejorar la calidad. Las interacciones de los componentes influyen en la calidad de los productos horneados. El objetivo del trabajo fue analizar el efecto del tipo de hidrocoloide, proteínas de huevo y presencia o ausencia de harina de plátano inmaduro pregelatinizada (HPI-pre) en la calidad y estructura de un pan sin gluten. Para ello se usó HPI, HPI-pre (0 y 25%), carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), clara de huevo (CH) y huevo entero (HE). Se determinó el volumen específico, dureza y se analizó la miga mediante un análisis de imagen. Los mayores volúmenes específicos fueron obtenidos en panes elaborados con HPMC y HE. La dureza se disminuyó con la adición de HPI-pre. El análisis de imagen mostró que la miga fue diferente por efecto del tipo de goma, proteína y la ausencia o presencia de HPI-pre. El tipo de hidrocoloide, proteína y contenido de HPI-pre influyó en la calidad y estructura de los panes elaborados a partir de HPI.

Palabras clave: Calidad panadera, pan, sin gluten.

ABSTRACT: The effect of hydrocolloids, proteins and flours from alternate sources on the quality of gluten-free breads has been studied. The interactions between components have an effect on the baked product's quality. Therefore, the aim of this work was to analyze the effect of the type of hydrocolloid, egg proteins and the presence or absence of pregelatinized unripe banana flour (UBF-pre) in the quality and structure of a gluten-free bread. For this, UBF, UBF-pre (0 and 25%), carboxymethylcellulose (CMC) and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), egg white (EW) and complete egg (E) were used. The specific volume, hardness was determined, and the crumb was analyzed by an image analysis. The highest specific volumes were obtained in breads made with HPMC and E. The hardness was decreased with the addition of HPI-pre. The image analysis showed that the crumb was different by effect of the hydrocolloids, protein and the absence or presence of UBF-pre. The type of hydrocolloid, protein and HPI-pre content influenced the quality and structure of the breads made from UBF.

Keywords: Bakery quality, bread, gluten-free.

Área: Desarrollo de nuevos productos

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, ha aumentado el consumo de productos sin gluten a nivel mundial, debido al incremento de personas diagnosticadas con la enfermedad celiaca (EC), la intolerancia al gluten, alergias al trigo y enfermedades estomacales relacionadas con el consumo de trigo, avena, cebada y centeno (O'shea *et al.*, 2014). El remplazo del gluten en los productos alimenticios representa un reto tecnológico significativo, debido a que el gluten presenta un papel importante en las propiedades en el proceso, la textura, la digestibilidad y la calidad de los productos (Marti y Pagani, 2013). De hecho, muchos productos horneados, de venta en el mercado, exhiben un volumen específico bajo, un color claro y una miga que se desmorona fácilmente; tienen bajo contenido en nutrientes como minerales, proteínas y fibra dietética en comparación con los panes elaborados con trigo (Matos y Rosell, 2013).

Para contrarrestar los problemas de calidad de producto sin gluten, se han utilizado harinas y almidones de fuentes alternas, como cereales sin gluten (arroz, maíz, sorgo, principalmente), pseudocereales (amaranto, trigo sarraceno, quínoa), leguminosas y almidones de fuentes alternas tanto en estado nativo como pregelatinizados, con la finalidad de proporcionar fibra, minerales, antioxidantes, polifenoles y con la finalidad de mejorar la calidad de los productos (Capriles y Areas, 2014; Witzcak *et al.*, 2016). Para imitar las propiedades viscoelásticas del gluten, se ha reportado el uso de proteínas como albumina de huevo, empleada tanto en los procesos de horneado como en pastas, aportando propiedades de calidad similares a los productos que contienen gluten (Capriles y Areas, 2014; Marti *et al.*, 2014), otros componentes usados son las gomas e hidrocoloides (Gallagher *et al.*, 2004). Un gran número de industrias emplean hidrocoloides derivados de celulosa debido a las características de éstos, siendo la carboximetilcelulosa (CMC) la más usada en el mundo, seguido por la metilcelulosa (MC) y la hidroximetilcelulosa (HPMC), esta última ampliamente usada debido a su actividad interfacial y habilidad de formación de geles durante el calentamiento (O'shea *et al.*, 2014).

En cuanto al uso de harina de frutos con la finalidad de aumentar el valor nutrimental de los productos sin gluten, se ha reportado que la harina de plátano en estado inmaduro (HPI) incrementa la cantidad de almidón resistente en los productos elaborados a partir de ésta. La harina de plátano en estado inmaduro es rica en almidón resistente y polisacáridos no amiláceos (Ovando-Martínez *et al.*, 2009; Tiboobun *et al.*, 2011). Sin embargo, no se ha reportado la elaboración de pan sin gluten, únicamente con HPI. Hasta ahora, la mayoría de los estudios sobre alimentos sin gluten están enfocados en la formulación, la sustitución del gluten por proteínas de fuentes alternas, la adición de gomas o hidrocoloides, para sustituir las propiedades viscoelásticas del gluten, y su efecto en la calidad. Por lo que, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de los ingredientes en un pan sin gluten elaborado únicamente con HPI. Para ello se emplearon proteínas de huevo y dos gomas derivadas de celulosa (CMC y HPMC), así como la presencia o ausencia de HPI pregelatinizada, se determinó la calidad (volumen, textura) y se realizó un análisis de imagen de la miga, se observó que los volúmenes específicos más altos fueron obtenidos en panes elaborados con HPMC y huevo entero fresco. La dureza se disminuyó con la adición de HPI-pre. El análisis de imagen mostró que la miga fue diferente por efecto del tipo de goma, proteína y la ausencia o presencia de HPI-pre. El tipo de hidrocoloide, proteína y contenido de HPI-pre influyó en la calidad y estructura de los panes elaborados a partir de HPI.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de los panes se empleó harina de plátano en estado inmaduro (HPI) ("Mi Ranchito Bananas" S.P.R. de R.L. Tecomán, Colima, México), se adicionó Huevo entero fresco (HE) y Clara de huevo fresco (CH) (Huevo San Juan, Jalisco, México); los hidrocoloides empleados fueron derivados de celulosa, carboximetilcelulosa (CMC) (Drogas Tacuba, S.A de C.V, México D.F., México) e Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC-K4M) (Rettenmaier Mexicana S. A. de C.V.) grado alimenticio. Azúcar 16% (mercado de Yautepec, Morelos, México), 0.8% de sal (La Fina, México CDMX, México), levadura fresca 2% (La florinda, Grupo la florinda México S.A de C.V., Estado de México, México), agua a 38°C (La Purísima, Refrigeración de Morelos, S.A de C.V, Morelos México).

Preparación de los panes

Las formulaciones empleadas en este experimento se describen en la Tabla I, mediante el procedimiento descrito a continuación. Los ingredientes secos (HPI, goma, azúcar y sal) se homogenizaron en una mezcladora (KidchenAid, Modelo: MK45SSWH, St. Joseph, Michigan, USA) durante 1 minuto a 60 rpm, la levadura se activó con agua a 38°C por 5 min pasado esto tiempo se mezclaron los ingredientes secos y los húmedos en la mezcladora durante 15 min a 125 rpm. Una vez obtenida la masa, se colocó 30g de ésta en cada sección del molde para panqués de aluminio (26.8 cm x 18.8 cm x 3.0 cm) y se fermentó a 40 °C por 60 min. Posterior a este paso las matrices se hornearon a 190 ± 2 °C durante 20 min en un horno eléctrico (horno eléctrico, Oster, modelo: TSSTTVDFL1-013,

México). Una vez transcurrido el tiempo de horneado se sacaron las matrices del horno y se dejaron enfriar una hora para su posterior análisis.

Volumen y volumen específico

Este parámetro se midió mediante el método 10-05 de la AACC (2000), el cual consiste en determinar el volumen del pan sin gluten por medio de desplazamiento de semillas de nabo en un recipiente cilíndrico. En cuanto al volumen específico se determinó mediante la división del volumen (cm³) obtenido entre el peso (g) de la matriz alimenticia horneada.

Análisis de textura

Se realizó un análisis del perfil de textura (APT) a los panes sin gluten completas, usando un texturómetro (TA-XT2i, Texture Technology Corp., Scarsdale, NY, US). En el cual se determinó los siguientes parámetros de textura: dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad y masticabilidad, empleando una celda de carga: 25 kg, a una velocidad de ensayo de 1 mm/s. El resultado mostrado en estos resultados es el parámetro de Dureza (N).

Análisis de imagen

Se realizó un análisis de imagen a la miga siguiendo la metodología propuesta por Sánchez-Pardo *et al.*, (2008). Se emplearon seis panes, a los cuales se les hizo un corte transversal en el centro con un cuchillo eléctrico (CEK-40, Cuisinart, US). Las imágenes fueron recortadas en un campo de visión (CDV) que representó aproximadamente el 36.5% de la superficie de miga. Se empleó el software ImageJ (National Institutes Health, Bethesda, Md, USA) para su análisis. Se seleccionaron: número total de alveolos con área>0.007 mm², área total de alveolos con área>0.007 mm², área media de alveolos con área>0.007 mm², número de alveolos/cm², fracción de área alveolar/área total y factor de forma, para determinar el efecto de los tratamientos.

Tabla I. Diseño experimental para la selección del tipo de hidrocoloide, proteína y presencia o ausencia de almidón pregelatinizado					
	Variables independientes			Nomenclatura	Variables dependientes
	Tipo de goma	Tipo de proteína	Estado del almidón de la HPI		
Niveles	CMC	CHF	Pregelatinizado	CMC-HEF-pre	Volumen (cm ³) Volumen específico (cm ³ /g) Dureza (N) Estructura alveolar de la miga
			Nativo	CMC-HEF-nat	
		HEF	Pregelatinizado	CMC-CHF-pre	
			Nativo	CMC-CHF-nat	
	HPMC	CHF	Pregelatinizado	HPMC-HEF-pre	
			Nativo	HPMC-HEF-nat	
		HEF	Pregelatinizado	HPMC-CHF-pre	
			Nativo	HPMC-CHF-nat	

CMC=carboximetilcelulosa, HPMC=hidroxipropilmetilcelulosa, HEF=huevo entero fresco, CHF= clara de huevo fresco, HPI= harina de plátano inmaduro, HPI-nat= harina de plátano inmaduro nativa, HPI-pre=harina de plátano inmaduro pregelatinizado

Análisis estadístico

Se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía con $\alpha=0.05$ y una prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) (Sigma-Stat versión 11.0).

RESULTADOS

El volumen y volumen específico para el diseño se muestran en la Tabla II, donde se observó que tanto el volumen y volumen específico presentaron la misma tendencia. Siendo la variable de mayor

influencia el tipo de hidrocoloide, seguido por el tipo de proteínas (HEF o CHF) presentes en las matrices y por último la presencia o ausencia de HPI-pre en las formulaciones. Las formulaciones con HPMC y HEF fueron las que mayor volumen y volumen específico obtuvieron, no se observó influencia por la presencia o ausencia de HPI-pre. Sin embargo, cuando se cambió el tipo de proteína en la formulación a CHF la presencia o ausencia de HPI-pre afectó los parámetros de volumen, volumen específico para las matrices elaboradas con HPMC. En cuanto a la dureza de los panes (Tabla II), se observó que la variable que afectó principalmente a ésta fue la presencia o ausencia de HPI-pre en las formulaciones. Panes elaborados con HPI-pre, mostraron una disminución significativa de la dureza, tanto para los elaborados con HEF y CHF. Mientras que para los panes con CMC, este efecto se observó únicamente en los hechos con CHF. Los panes con HPMC-CHF-HPI-nat presentaron los menores valores de volumen específico y la mayor dureza.

Tabla II. Parámetros de calidad de las matrices hornadas sin gluten

Muestra	Volumen (cm ³)	Volumen específico (cm ³ /g)	Dureza (N)
CMC-HEF-pre	30.1±1.2 ^f	1.5±0.1 ^d	42.1±7.2 ^b
CMC-HEF-nat	32.0±0.6 ^e	1.6±0.0 ^d	40.1±9.2 ^b
CMC-CHF-pre	44.0±1.1 ^d	2.2±0.1 ^c	14.1±3.0 ^c
CMC-CHF-nat	43.6±1.4 ^d	2.3±0.1 ^c	42.1±7.2 ^b
HPMC-HEF-pre	70.7±0.7 ^b	3.6±0.1 ^b	9.2±1.1 ^d
HPMC-HEF-nat	68.4±0.8 ^c	3.7±0.7 ^b	42.1±7.2 ^b
HPMC-CHF-pre	78.7±1.3 ^a	4.5±0.1 ^a	6.8±2.9 ^e
HPMC-CHF-nat	26.1±0.8 ^g	1.3±0.0 ^e	222.9±7.9 ^a

Los valores son la media ± desviación estándar, n=4. Letras diferentes en columna significa diferencia estadística. CMC=carboximetilcelulosa, HPMC=hidroxipropilmetilcelulosa, HEF=huevo entero fresco, CHF= clara de huevo fresco, HPI= harina de plátano inmaduro, HPI-nat= harina de plátano inmaduro nativa, HPI-pre=harina de plátano inmaduro pregelatinizado.

En cuanto al análisis de imagen de las matrices horneadas (Tabla III) se observó que los panes con HPMC no presentaron diferencia significativa en el número total de alveolos, densidad alveolar y factor de forma. Para las formulaciones elaboradas con CMC no se observó una influencia por efecto de la adición de HPI-pre, pero sí por el tipo de proteínas empleadas en la elaboración, obteniendo mayor número de alveolos, de menor tamaño en panes hechos con CHF. El área media de alveolos se presentó desde 0.2±0.1-0.7±0.2 mm² siendo de menor tamaños las formulaciones adicionadas con CHF. Los panes con menor número de alveolos totales y por ende menor valor en la fracción del área alveolar/área total fueron los elaborados con HPMC-CHF-nat. El factor de forma mostró que los panes presentaron alveolos con formas elípticas, lejanas a la forma de un círculo.

Tabla III. Análisis de imagen de la miga de rebanas centrales de las matrices horneadas sin gluten

Muestra	Número total de alveolos con área>0.007 mm ²	Área total de alveolos con área>0.007 mm ²	Área media de alveolos con área >0.007 mm ²	Número de alveolo/cm ²	Fracción de área alveolar/área total	Factor de forma
CMC-HEF-pre	280.8±50.1 ^{cde}	180.2±14.9 ^a	0.7±0.2 ^a	54.9±9.8 ^c	0.4±0.0 ^a	0.5±0.0 ^a
CMC-HEF-nat	289.2±48.9 ^{cde}	195.1±18.2 ^a	0.7±0.1 ^a	56.6±9.6 ^c	0.4±0.0 ^a	0.5±0.0 ^a
CMC-CHF-pre	670.0±121.1 ^a	162.9±52.0 ^{ab}	0.3±0.1 ^b	131.0±23.7 ^a	0.3±0.1 ^{ab}	0.5±0.0 ^a
CMC-CHF-nat	604.4±209.9 ^{ab}	202.78±52.3 ^a	0.4±0.2 ^{ab}	118.2±41.1 ^{ab}	0.4±0.1 ^a	0.5±0.0 ^a
HPMC-HEF-pre	361.8±108.6 ^{bcd}	205.2±19.3 ^a	0.6±0.2 ^a	70.7±21.3 ^{bc}	0.4±0.0 ^a	0.5±0.0 ^a
HPMC-HEF-nat	563.6±106.4 ^{ac}	174.9±33.0 ^a	0.3±0.1 ^b	110.2±20.8 ^{ab}	0.3±0.1 ^{ab}	0.5±0.0 ^a
HPMC-CHF-pre	461.8±237.3 ^{ac}	162.9±26.6 ^{ab}	0.5±0.3 ^{ab}	90.3±46.4 ^{ac}	0.3±0.1 ^{ab}	0.5±0.0 ^a
HPMC-CHF-nat	500.4±118.3 ^{ad}	92.4±44.7 ^b	0.2±0.1 ^b	97.9±23.1 ^a	0.2±0.1 ^b	0.5±0.0 ^a

Los valores son la media \pm desviación estándar, n=4. Letras diferentes en columna significa diferencia estadística. CMC=carboximetilcelulosa, HPMC=hidroxipropilmetilcelulosa, HEF=huevo entero fresco, CHF= clara de huevo fresco, HPI= harina de plátano inmaduro, HPI-nat= harina de plátano inmaduro nativa, HPI-pre=harina de plátano inmaduro pregelatinizado.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Si bien, los hidrocoloides derivados de celulosa se han usado ampliamente en productos sin gluten, el tipo de sustitución y el grado de estos influirán en las interacciones generadas entre los componentes de la matriz, en este sentido, la HPMC siendo un hidrocoloide neutro, sustituido por grupos metilo (hidrofóbico) y hidroxipropilo (hidrofilicos) a lo largo de la cadena de glucosas, presenta características tensoactivas, debido a que tienden a localizarse en las interfaces aire/agua y aceite/agua (Patino *et al.*, 2011), lo que pudo facilitar la encapsulación del aire durante el mezclado y estabilización de la pared alveolar de las matrices durante la fermentación, obteniendo matrices con mayor volumen. Onyango *et al.*, (2010) reportaron para panes sin gluten elaborados con almidón de yuca (sustituyendo hasta un 50% con almidón pregelatinizado), que la dureza de los panes disminuyó conforme de incrementó el contenido de almidón pregelatinizado, siendo significativo a concentraciones mayores a 40%. Los autores explicaron que esto pudo deberse a que al adicionar una cantidad de almidón pregelatinizado se obtuvieron masas más fluidas, comportándose como mezclas para formulaciones de pastel, influyendo en la gelatinización del almidón debido a la concentración extra de agua. Un efecto similar pudo presentarse en panes elaborados con HPI, al adicionar un porcentaje de HPI-pre pudo incrementar la viscosidad de la mezcla y, por ende, incrementar la capacidad de atrapar aire durante la etapa de mezclado. Como se ha reportado las proteínas del huevo presentan la propiedad de generar geles con la temperatura, mientras que las ovoalbúminas juegan un papel importante en la clara de huevo, la fosvitina presente en la yema son fundamentales en la estabilización alveolar de las matrices horneadas elaboradas con HEF. La adición de almidón pregelatinizado afectó la distribución alveolar de panes elaborados con sorgo y almidón de yuca, encontrando que al incrementar el contenido de almidón pregelatinizado se disminuyó el número de alveolos, observando presencia de agua en las rebanadas (Hugo *et al.*, 2000). Si bien los panes con mayor volumen fueron los elaborados con CHF, estos presentaron alveolos de gran tamaño, la distribución alveolar podría estar relacionada con estas características de calidad, y esto pudo deberse a que el almidón nativo pudo no interactuar con la HPMC y CHF; por lo cual, no formaron una pared alveolar capaz de soportar la presión de CO₂ generada por las levaduras durante la fermentación; favoreciendo la coalescencia de los alveolos.

CONCLUSIONES

La HPI pregelatinizada ayudó a disminuir la dureza de las matrices horneadas, la HPMC, HEF y HPI-pregelatinizada conformaron matrices horneadas con buenas características de calidad (volumen, volumen específico y dureza).

BIBLIOGRAFÍA

- AACC. 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists. The Association: St. Paul, MN: 10th
- Capriles, V. D., & Areas, J. A. G. 2014. Novel Approches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13:871-890.
- Hugo, L. F., Rooney, L. W., & Taylor, J. R. N. 2000. Malted sorghum as a functional ingredient in composite bread. *Cereal chemistry*, 77(4), 428-432.
- Marti, A. & Pagani, A. 2013. What can play the role of gluten in gluten free pasta?. *Trends in Food Science & Technology* (31) 63-71.
- Marti, A., Barbiroli, A., Marengo, M., Forgaro, Iametti, S., & Pagani, M.A. 2014. Structuring and texturing gluten-free pasta: egg albumen or whey proteins?. *European Food Research Technology*. 238:217-224.
- Matos, M. E., & Rosell, C. M. 2013. Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics. *Food and Bioprocess Technology*. 6:2331-2341.

- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, G.M. 2010. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. *Journal of Food Engineering* 97:465–470.
- O’Shea, N., Arent, E., & Gallagher, E. 2014. State of the Art in Gluten-Free Research. *Journal of Food Science*, 79(6):R1067-R1075.
- Ovando-Martínez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I., & Bello-Pérez, L. A. 2009. Unripe Banana Flour As An Ingredient To Increase The Undigestible Carbohydrates of Pasta. *Food Chemistry* 113:121–126.
- Patino, R. J. M., & Pilosof, R. A. M. 2011. Protein–polysaccharide interactions at fluid interfaces, *Food Hydrocolloids*, 25(8):1925-1937.
- Sánchez-Pardo, M. E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Pérez, J. J., & Necoechea-Mondragón, H. 2008. Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT-Food Science and Technology*. 41: 620–627.
- Tiboonbun, W., Sungsi-in, M., & Moongngarm, A. 2011. Effect of replacement of unripe banana flour for rice flour on physical properties and resistant starch content of rice noodle. *Journal of Engineering and Technology*. 81:608–611.
- Witczak, M., Ziobro, R., Juszcak, L., & Korus, J. 2016. Starch and starch derivatives in gluten-free systems- A review. *Journal of Cereal Science*. 67:46-57.