

Efecto de la granulometría de la harina de arroz en el volumen y alveolado del pan de molde libre de gluten

Jennifer Cajas Locke²; María Ana Loubes^{1, 2} y Marcela Tolaba²

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

²Departamento de Industrias - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales -
Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
mtolaba@di.fcen.uba.ar



Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la distribución de tamaño de partícula (DTP) de las harinas de arroz sobre el volumen (VP) y el porcentaje del área alveolar (A) de panes de molde libres de gluten. Se determinó la DTP mediante el método de tamizado, observándose distribuciones multimodales (105 μm , 150 μm y 250 μm), bimodales (53 μm y 149 μm) y monomodales (125 μm). Sobre la base de estas harinas fueron elaborados panes de molde en un horno eléctrico ATMA, incluyendo en la formulación el agregado de goma xántica y almidón de mandioca como sustituto del gluten. El análisis de imágenes mostró que los panes obtenidos con la harina de menor granulometría presentaron una significativa reducción en la capacidad de retención de aire, en relación con los panes elaborados con la harina de mayor granulometría. Se encontraron correlaciones lineales y significativas entre A y la mediana de la DTP ($r = 0,97$); y entre el VP y el índice de dispersión de la DTP ($r = 0,95$).

Palabras clave: pan sin gluten, harina de arroz, tamaño de partícula, análisis de imágenes, calidad del pan.

Introducción

Los cereales constituyen la base de la alimentación para una gran parte de la población mundial. No obstante, existe un grupo de personas que presenta intolerancia a la prolamina, constituyente del gluten, la cual provoca un trastorno crónico de mala absorción intestinal, que se conoce como enfermedad celíaca. El gluten se encuentra presente en un conjunto de cereales identificados como TACC: trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y centeno (*Secale cereale*) o en cualquiera de sus variedades e híbridos (Astiasarán y Martínez, 2005).

La creciente demanda de alimentos libres de gluten ha favorecido el desarrollo de numerosos productos a base de harina de arroz, buscando imitar los atributos de sus homólogos elaborados con trigo. Sin embargo, la eliminación del gluten en las formulaciones origina defectos de calidad, debido a que éste le confiere a las masas extensibilidad. En las formulaciones de pan, la ausencia del gluten produce masas líquidas, que generan panes compactos con textura disgregable. Para corregir estos defectos se requiere la incorporación de ingredientes poliméricos, que emulen la funcionalidad del gluten durante el proceso de panificación.

Numerosas publicaciones se han centrado en el impacto de los hidrocoloides y en el de las mezclas de harina de arroz con otras harinas y almidones, o bien con otras proteínas, las que confirman la importancia de las propiedades de la harina y el resto de los ingredientes en las características de los productos obtenidos (Molina-Rosell, 2013). Sin embargo, la influencia que tiene la granulometría de la harina de arroz sobre la calidad panadera, evaluada en términos del volumen del pan y cantidad del alveolado, ha sido poco estudiada (Bean y Nishita, 1985).

Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo fue investigar el efecto de la distribución de tamaño de partícula de la harina de arroz en la elaboración del pan de molde, para ello se determinaron el volumen, por desplazamiento de semillas y el alveolado, por procesamiento digital de imágenes.

Materiales y métodos

Materiales

Los ensayos fueron realizados con tres harinas de arroz comerciales: Santa María (Ana Hernández Productos Alimenticios S.R.L., La Plata, Argentina), Kapac (Alimentos Especificos S.A., Buenos Aires, Argentina) y Señor de Sipan (Productos libres de gluten S.R.L., Buenos Aires, Argentina). Además se empleó una harina elaborada a partir de arroz pulido, de grano largo fino (Dos Hermanos, Argentina), en un molido planetario de bolas (PM100, Retsch GmbH, Alemania) con accesorios de óxido de circonio a una velocidad de rotación de la jarra de molienda de 550 rpm y durante 40 minutos usando el protocolo propuesto por Loubes y Tolaba (2014), el cual comprendió ciclos de molienda (5 min, con inversión de giro cada 30 s) y pausa (40 min) hasta completar el tiempo total de molienda.

Sobre la base de lo informado en el rotulado de las harinas de arroz comerciales y del arroz entero pulido utilizado para la elaboración de la harina por molienda de alto impacto, puede observarse en la tabla 1 que todas las muestras presentaron una composición similar, con aproximadamente un 80% de carbohidratos, 6% de proteínas y 1% de lípidos.

Tabla 1. Composición de las harinas de arroz

| Cantidad por 100g | SM | K | SP | HM 550 |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|
| Carbohidratos | 80 g | 82 g | 76,5 g | 80 g |
| Proteínas | 8 g | 4,2 g | 6,5 g | 6,2 g |
| Grasas totales | 1,2 g | 1,6 g | 0,3 g | 0,4 g |
| Fibra alimentaria | 2,4 mg | 1,6 g | 0,1 g | 1,4 g |

SM: Santa María, K: Kapac; SP: Señor de Sipan, HM 550: harina molienda 550 rpm-40 min

Distribución de tamaño de partícula de las harinas

La harina (200 g) se tamizó durante 20 minutos en un agitador mecánico Zonytest EJR200 (Rey & Ronzoni, Argentina), utilizando una serie de once tamices ASTM (Estándar EE. UU.) con malla N°: 35 (500 µm), 40 (420 µm), 45 (350 µm), 60 (250 µm), 80 (177 µm), 100 (149 µm), 120 (125 µm), 140 (105 µm), 200 (74 µm), 270 (53 µm), 325 (44 µm). La masa de las once fracciones se registró en una balanza analítica de precisión ($\pm 0,5$ g). A partir de estos datos se calculó el porcentaje en masa

retenido en cada uno de los tamices en relación con la masa total y se obtuvo la distribución de tamaño de partícula y la distribución acumulada. Además, se determinó el índice de dispersión (ID) de la distribución de tamaño de partícula según la ecuación (1), donde D10, D50 y D90, representan los diámetros por los que pasa el 10%, el 50% y el 90% de la muestra, valores que se obtienen a partir de la distribución acumulada de los porcentajes pasantes.

$$ID = \frac{(D90-D10)}{D50} \quad (1)$$

Elaboración del pan de molde

Para la elaboración de los panes de molde se optó por una formulación de la Guía para Celíacos (Martínez, 2010) con algunas modificaciones. Los panes se obtuvieron en un horno eléctrico (ATMA HP4040, Argentina) seleccionando el programa N°1, el cual consistió en el amasado de los ingredientes secos: harina de arroz (384 g), almidón de mandioca (16 g), leche en polvo (84 g), huevo en polvo (10 g), sal (8 g), goma xántica (8 g), azúcar (12 g) y levadura (8 g); junto con los líquidos: agua (448 ml) y aceite de girasol (40 ml), seguido de etapas de fermentación y cocción.

Determinación del volumen del pan de molde

El volumen (ml) del pan fue establecido por desplazamiento de semillas de acuerdo con la metodología descrita por Sánchez y colaboradores (2008) con algunas modificaciones. Se determinaron la masa del pan y del pan sumergido en un lecho de semillas contenido en un recipiente. El volumen del pan (VP, ml) se calculó mediante la ecuación (2).

$$\text{Volumen del pan (ml)} = \text{Volumen total (ml)} - \frac{\text{Masa de semillas (g)}}{\text{Densidad aparente de semillas (g/ml)}} \quad (2)$$

Medición de alveolado

Con el propósito de obtener el área correspondiente a los alveolos, se analizaron las imágenes según la metodología propuesta por Loubes y Tolaba (2013). Las rodajas de pan fueron colocadas sobre una impresora multi-

Industria Alimenticia y Farmacéutica

- carbonato de calcio pesado USP
- carbonato de calcio liviano USP
- carbonato de calcio CD
- citrato de calcio CD

- Certificación GMP – Good Manufacturing Practice
- Certificación ANMAT – Ingredientes Farmacéuticos Activos

calcio
calcio
calcio

CARBOFARMA®

www.carbofarma.com.ar

CAFUNE S.A.: (54 11) 4918-2677 / 2680 - carbofarma@carbofarma.com.ar

función (HP PSC 1610, Brasil) junto con una escala de referencia y se escanearon individualmente. Las imágenes se procesaron con el programa ImageJ versión 1.42q (National Institutes of Health, EE. UU.), obteniéndose imágenes digitales de cada muestra en formato TIFF, con una resolución de 200 dpi en escala binaria. Para establecer el porcentaje del alveolado se realizaron tres a cuatro recortes digitales de la imagen de cada rodaja eliminando la región de la corteza. A partir de las réplicas (recortes), se informaron los valores promedios del porcentaje del área alveolar (A, %) según:

$$A (\%) = \frac{\text{área del alveolado}}{\text{área de la rodaja recortada}} \times 100 \quad (3)$$

Análisis estadístico

Las diferencias significativas entre los parámetros de las muestras fueron determinadas por análisis de varianza simple (ANOVA), utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion versión XVI (Statistical graphics Corporation, EE. UU.), comparando las medias por el test de mínima diferencia significativa de Fisher (LSD), con un nivel de confianza del 95%. Además, se aplicó el análisis de correlación de Pearson para establecer posibles relaciones (lineales) entre los diferentes atributos evaluados.

Resultados y discusión

Distribución de tamaño de partícula de las harinas

En la figura 1 se visualiza la distribución de tamaño de partícula (DTP) de las harinas de arroz comerciales: Santa María (SM), Kapac (K) y Señor de Sipan (SP), y de la harina obtenida por molienda alto impacto (HM 550). Las muestras K y SP exhibieron una distribución multimodal similar, con máximos en 105 μm, 150 μm y 250 μm. En cambio, la harina SM presentó una distribución monomodal extendiéndose entre 53 μm y 177 μm, con un pico en 125 μm; mientras que la distribución de MH

Figura 1. Distribución de tamaño de partícula de las harinas de arroz

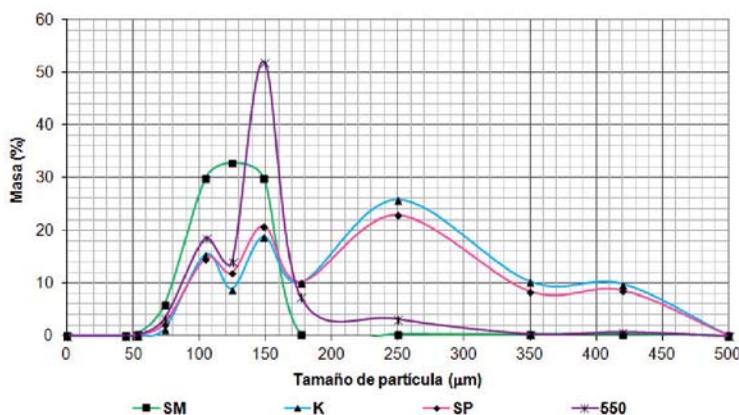


Tabla 2. Parámetros característicos de la distribución de tamaño de partícula de las harinas de arroz

| Harinas | D10 (μm) | D50 (μm) | D90 (μm) | ID |
|---------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| SM | 109 ^a | 135 ^a | 163 ^a | 0,400 ^a |
| K | 117 ^a | 220 ^c | 418 ^b | 1,368 ^b |
| SP | 116 ^a | 177 ^b | 406 ^b | 1,638 ^c |
| HM 550 | 114 ^a | 155,5 ^{ab} | 181,5 ^a | 0,434 ^a |

SM: Santa María, K: Kapac; SP: Señor de Sipan, HM 550: harina molienda 550 rpm-40 min. D10, D50 y D90: diámetros de partícula correspondientes al volumen acumulado al 10%, 50% y 90% respectivamente. ID: índice de dispersión. Valores en la misma columna con la misma letra no difieren significativamente (p<0,05)

Tabla 3. Volumen del pan de molde en función de la harina empleada

| Muestra | Volumen (ml) |
|---------|--------------------------|
| HM 550 | 1037 + 52 ^a |
| SM | 1098 + 55 ^{a,b} |
| SP | 1332 + 67 ^{b,c} |
| K | 1362 + 68 ^c |

SM: Santa María, K: Kapac; SP: Señor de Sipan, HM 550: harina molienda 550 rpm-40 min. Valores en la misma columna con la misma letra no difieren significativamente (p<0,05).

500 fue bimodal, con la primera moda (149 μm) más significativa que la segunda (53 μm). A su vez, la distribución de tamaño de partícula de K y de SP fueron similares a las de las harinas utilizadas por Sánchez y colaboradores (1999) para la elaboración de pan sin gluten.

A partir de la distribución acumulada de cada una de las muestras (Figura 2) se obtuvieron los parámetros característicos (D10, D50 y D90) y el índice de dispersión de la distribución de tamaño de partícula (ID), cuyo valor bajo es indicativo de una DTP más homogénea, los cuales se representan en la tabla 2.

Las muestras SM y HM 550 presentaron una menor granulometría, como lo indican los menores valores de la mediana (D50) en relación a SP y K. Asimismo, estas dos últimas muestras fueron más heterogéneas.

Efecto de la granulometría en el volumen y el alveolado del pan de molde

Tanto el volumen como el alveolado en la miga del pan son índices comunes de calidad, que reflejan la capacidad de la masa para ocluir aire. La figura 3 reproduce los panes elaborados a partir de las harinas de arroz de diversa granulometría. K exhibió el mayor volumen (Tabla 3) seguido de SP, mientras que SM y HM 550 evidenciaron un menor volumen y manifestaron además una base irregular.

Figura 2. Distribución de tamaño de partícula acumulativa, de las harinas de arroz

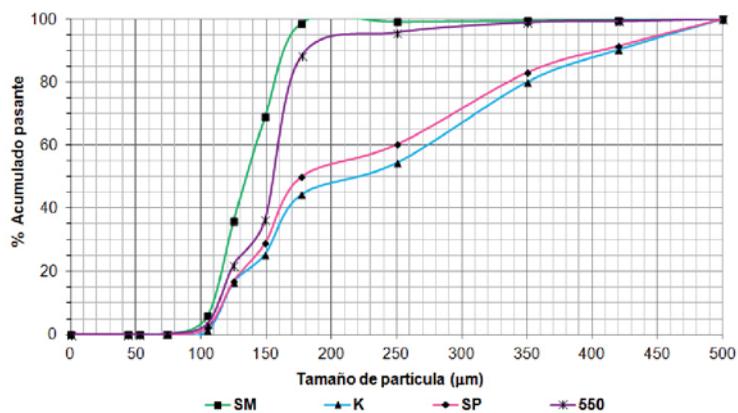
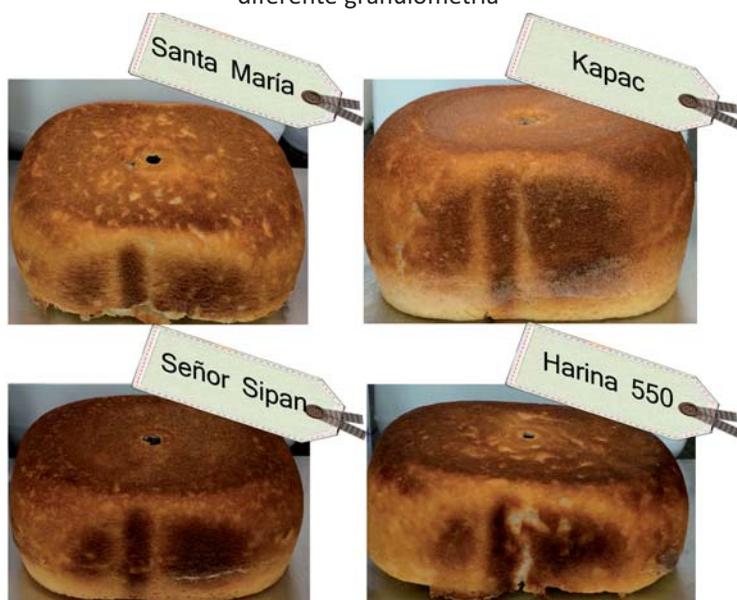


Figura 3. Panes elaborados con harinas de arroz de diferente granulometría



En cuanto al alveolado, se visualizó que las rodajas de pan escaneadas para el análisis de imágenes (Figura 4) de K y SP revelaron una cantidad de alveolos más elevada que las de SM y HM 550, como también se observó en las muestras binarizadas (Figura 5). Mediante el análisis de imágenes se determinaron los porcentajes del área alveolar de las rodajas (Tabla 4), estos valores reflejaron que K tuvo el mayor porcentaje seguido de SP. En contraste, SM y HM 550 no presentaron diferencias significativas y ambas fueron considerablemente inferiores a las ya mencionadas.

Estos resultados indican la harina comercial Kapac y en menor medida Señor de Sipan -ambas con mayor heterogeneidad y tamaño de partícula en relación con Santa María y la harina de arroz obtenida por molienda de alta energía- presentan los mayores volúmenes de pan, asociados a un elevado porcentaje de alveolado.

Correlaciones entre los diferentes atributos

Con el propósito de explicar el efecto de la granulometría sobre la calidad panadera, se hallaron correlaciones significativas y positivas entre el volumen del pan y el índice de dispersión de la DTP (VP-ID, $r = 0,95$; $p < 0,05$) así como entre el porcentaje del área alveolar y la mediana de la DTP (A-D50, $r = 0,97$; $p < 0,03$). En la figura 6 se representa la relación lineal encontrada entre el porcentaje del área alveolar y la mediana de la DTP.



DIVISIÓN FRUTIHORTÍCOLA

en permanente incorporación de tecnología e innovación para el sector



- Líneas completas para el procesamiento de frutas: frutillas, arándanos, etc.
- Sistemas de lavado para frutas, verduras y hortalizas
- Túneles de congelado IQF para frutas y verduras, enteras o cubeteadas
- Líneas de clasificación, tamañado y empaque de fruta congelada
- Túneles hidrocóoling para procesamiento de frutas y hortalizas
- Equipos para escaldado por vapor o agua caliente
- Plantas para elaboración de pulpas y néctares de frutas
- Concentración de jugos y néctares

Asema S.A. Ruta Prov. N° 2 - altura 3900 (km.13) - Tel/Fax: 54-(0)342-4904600 (rot) - CP3014 Monte Vera Pcia. Santa Fe - Argentina - asema@asema.com.ar - www.asema.com.ar

Tabla 4. Porcentaje del área alveolar de los panes, obtenido mediante análisis de imágenes

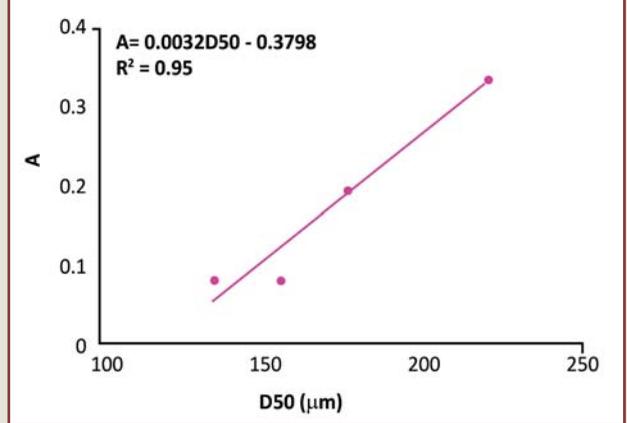
| Muestra | A (%) |
|---------|-------------|
| SM | 8,1 ± 0,4a |
| K | 33,4 ± 1,5c |
| SP | 19,4 ± 1,5b |
| HM 550 | 8,1 ± 1,3a |

SM: Santa María, K: Kapac; SP: Señor de Sipan, HM 550: harina molida 550 rpm-40 min. A: porcentaje del área alveolar. Valores en la misma columna con la misma letra no difieren significativamente ($p < 0,05$).

Conclusiones

Los resultados obtenidos demostraron que la calidad del pan de molde depende significativamente de la granulometría de la harina, obteniéndose los mejores resultados con las harinas que presentan distribuciones multimodales de gran dispersión. El análisis digital de imágenes permitió cuantificar satisfactoriamente el porcentaje alveolar, constituyendo un método rápido y fácil de implementar que puede resultar de interés para la industria panadera.

Figura 6. Relación entre el área alveolar (A) y la mediana de la distribución de tamaño de partícula (D50)



Agradecimientos

Los autores desean agradecer la asistencia financiera de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires (Proyecto UBACyT 20020130100442BA) y al programa PME-2006-01685 de ANPCYT.

Figura 4. Rodajas de pan seleccionadas para el análisis de imágenes. A) Santa María, B) Kapac, C) Señor de Sipan, D) harina molida 550 rpm

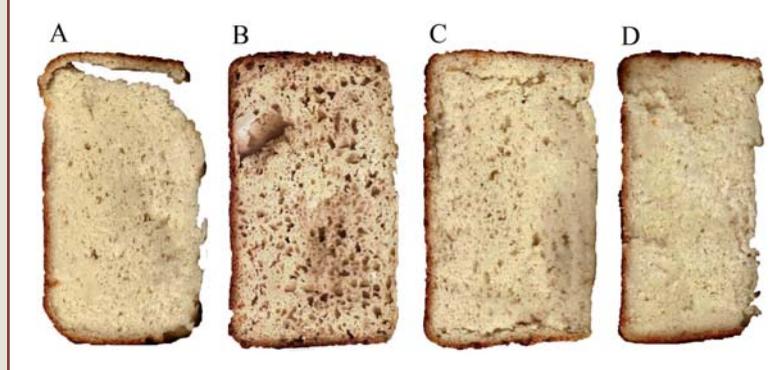
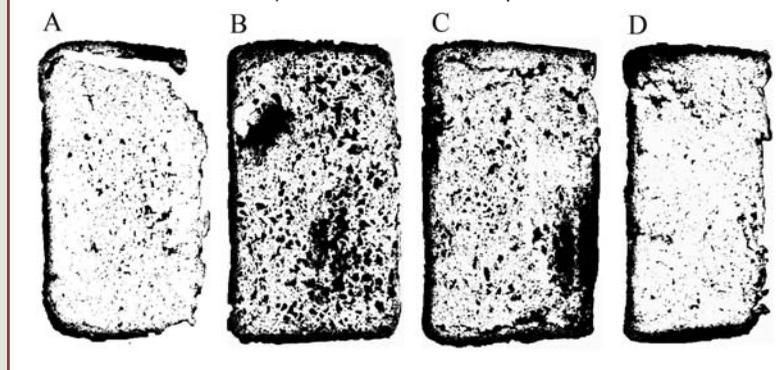


Figura 5. Rodajas de pan binarizadas para el análisis de imágenes. A) Santa María, B) Kapac, C) Señor de Sipan, D) Harina molida 550 rpm



Referencias

Astiasarán, I., y Martínez, J. A. (2005). Alimentos composición y propiedades. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.

Loubes, M. A., y Tolaba, M. P. (2013). Arroz: rendimiento de molienda mediante análisis de imágenes. *La Alimentación Latinoamericana*, 308, 44-49.

Loubes, M. A., y Tolaba, M. P. (2014). Thermo-mechanical rice flour modification by planetary ball milling. *LWT - Food Science and Technology*, 57, 320-328.

Martínez, D. (2010). Guía para celiacos, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Andromeda.

Molina-Rosell, C. (2013). Alimentos sin gluten derivados de cereales. En L., Rodrigo y A. S., Peña (Eds.), *Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca* (pp. 447-461). España: Omnia Publisher.

Nishita, K. D., y Bean, M. M. (1985). *Rice chemistry and technology*. Saint Paul: American Association of Cereal Chemist.

Sánchez, H. D., González, R. J., Osella, R. L., Torres, C. A., y de la Torre, M. A. G. (1999). Comportamiento de variedades de arroz en la elaboración de pan sin gluten. *Archivo latinoamericanos de Nutrición*, 49 (1), 162-165.

Sánchez, H. D., González, R. J., Osella, C. A., Torres, R. L., y de la Torre M. A. G. (2008). Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extrudidas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6 (2), 109-116.