

Panes dulces con harina de fruto de algarrobo: aplicación de tecnología de masas congeladas

Sweet breads with mesquite fruit flour: application of frozen dough technology

Bigne, F.^{1*} , Puppo, M. C.^{1,2} , Ferrero C.¹ 

¹ Universidad Nacional de La Plata, Argentina
Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CIDCA-CONICET-CICPBA),
Facultad de Ciencias Exactas

² Universidad Nacional de la Plata, Argentina
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

* facundobigne@quimica.unlp.edu.ar

Resumen

En este trabajo se evaluó la tecnología de congelación, almacenamiento congelado y horneado de masas para elaborar panes dulces tipo “panettone” con harinas de trigo y de fruto de algarrobo. Se realizaron mediciones durante 12 semanas de almacenamiento congelado, analizando la viabilidad de levaduras, la microestructura mediante Microscopía Electrónica Ambiental de Barrido y la calidad del producto final (altura, estructura y textura de la miga). Las masas mostraron una matriz de gluten de menor calidad al aumentar la proporción de harina de fruto de algarrobo; sin embargo, las formulaciones con mayor contenido de esta harina presentaron menor deterioro estructural tras la congelación. La viabilidad de las levaduras disminuyó en todas las formulaciones. La calidad del producto final resultó menos afectada por el proceso de congelación y almacenamiento en las masas con mayor contenido de harina de fruto de algarrobo. Los panes dulces elaborados con masas congeladas y almacenadas hasta 12 semanas mantuvieron características similares a los obtenidos con masas frescas.

Palabras clave: panettone; almacenamiento congelado; algarroba; calidad panadera.

Abstract

This study evaluated the freezing technology, frozen storage, and baking of doughs for producing sweet breads similar to “panettone,” formulated with wheat flour and mesquite fruit flour. Measurements were taken over 12 weeks of frozen storage, analyzing yeast viability, microstructure through Environmental Scanning Electron Microscopy, and the quality of the final product (loaf height, crumb structure, and texture). The doughs exhibited a weaker gluten matrix as the proportion of mesquite fruit flour increased; however, formulations with higher levels of this flour showed less structural deterioration after freezing. Yeast viability decreased in all formulations. The final product quality was less affected by freezing and frozen storage in doughs with higher mesquite fruit flour content. Sweet breads produced from frozen and stored doughs for up to 12 weeks maintained physical characteristics comparable to those obtained from fresh doughs.

Keywords: panettone; frozen storage; mesquite; bread quality.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de productos panificados recién horneados ha conducido al reemplazo parcial de la elaboración tradicional por tecnologías que permiten una simplificación de la producción y su adecuación al comportamiento de la demanda como es el caso de la utilización de masas congeladas que se hornean en el punto de venta (Luo

ISSN: 3008-9336, Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Argentina

Recibido: 05/02/2026

Aceptado: 10/04/2026

Publicado: 18/05/2026

DOI: <https://doi.org/10.24215/30089336e011>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

et al., 2018). A pesar de sus ventajas comerciales, la congelación y el almacenamiento congelado de la masa puede ocasionar la inhibición parcial de la actividad de las levaduras y la modificación de la estructura de la masa. Estos efectos adversos han sido relacionados con la formación y crecimiento de cristales de hielo capaces de producir daño mecánico a la red de gluten y de reducir la viabilidad de las levaduras durante los mencionados procesos (Bárceñas y Rosell, 2006; Meziani *et al.*, 2012a). La formación de cristales dentro de la levadura puede dañar la membrana ocasionando su muerte mientras que la formación de hielo extracelular aumenta la presión osmótica en el interior conduciendo a la deshidratación y pérdida de viabilidad. Cuanto mayor es el tamaño de los cristales de hielo mayor es el daño que pueden ocasionar por lo que al aplicar la tecnología de congelación de masas se debe controlar el tamaño de los cristales ya sea mediante la incorporación de crioprotectores o bien controlando la velocidad de congelación (Luo *et al.*, 2018).

Meziani *et al.* (2011) estudiaron el efecto de la velocidad de congelación sobre la estructura y reología de masas dulces para panificación. De dicho estudio concluyeron que las velocidades rápidas de congelación disminuyeron los efectos adversos generados por la formación y acción mecánica de los cristales de hielo sobre la estructura y propiedades viscoelásticas de las masas.

La incorporación de ciertos ingredientes ricos en fibra dietaria, como las harinas de leguminosas, podría ejercer un efecto protector sobre la estructura de la masa sometida a congelación, atenuando los efectos adversos sobre la calidad tecnológica de los productos. Diversos autores han asociado esta mitigación del deterioro principalmente a la reducción del contenido de agua libre o congelable y, en consecuencia, a la menor migración y redistribución del agua durante el almacenamiento congelado cuando se incorporan ingredientes tales como harina de garbanzo (Ozulku y Arıcı, 2017), harina y leche de soja deshidratada (Simmons *et al.*, 2012), inulina (Yang *et al.*, 2023) y otras harinas alternativas ricas en fibra dietaria (Jiang *et al.*, 2019). Estos autores vinculan la menor movilidad del agua obtenida con dichos ingredientes con una reducción del daño mecánico por hielo sobre la matriz de gluten, lo que se traduce en un mejor mantenimiento de las propiedades reológicas y texturales de las masas durante el almacenamiento congelado.

La harina de fruto de algarrobo se obtiene moliendo las vainas completas de los árboles de distintas especies del género *Neltuma* (antes clasificados como *Prosopis spp*), que pertenece a la familia de las leguminosas. Esta harina es de sabor agradable y dulce y se utiliza en muchos productos alimenticios tradicionales en diferentes países del continente americano (Campos *et al.*, 2021). En la Argentina esta harina fue incorporada al Código Alimentario Argentino (CAA) como artículo 681 tris “Con el nombre de Harina de fruto (vaina completa con sus semillas) de algarrobo, se entiende el producto de la molienda de los frutos completos limpios, sanos y secos de las especies de algarrobo establecidas en el artículo 681 del presente código”. En el artículo 681 quedan comprendidas las especies de algarrobo blanco [*Neltuma alba* (Griseb), algarrobo negro [*Neltuma nigra* (Griseb)], entre otras (Resolución conjunta SGS y SAGyP N° 25/2025¹). En un estudio previo se evaluó el efecto de la congelación y almacenamiento congelado sobre las propiedades de masas a base de harinas de trigo y de fruto de algarrobo (Bigne *et al.*, 2019). A través de este estudio se pudo verificar una atenuación de los efectos adversos generados por la congelación y almacenamiento congelado sobre las propiedades reológicas y microestructurales de las masas cuando se incorporó la harina de esta leguminosa.

El pan dulce es un pan formulado con harina de trigo, masa madre o levadura fresca, huevos, manteca y azúcar al que se le suele agregar pasas de uva, frutas confitadas, frutos secos o chocolate. Su origen es italiano (panettone milanés) pero ha sido adoptado en numerosos países, especialmente en Hispanoamérica, y consumido tradicionalmente en Navidad (Pagani *et al.*, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la factibilidad de la aplicación de la tecnología de masas congeladas en formulaciones con reemplazo parcial de harina de trigo por harina de fruto de algarrobo para la obtención de panes dulces tipo “panettone” de calidad comparable a los obtenidos a partir de masas sin almacenamiento congelado.

¹ Recuperado de: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/325005/20250508>

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Se utilizó Harina de trigo (HT) refinada tipo 000 (según tipificación del artículo 661 del CAA) (Molino Campodónico SA, La Plata, Argentina) con una composición (g/100 g \pm DE): 12.11 \pm 0.03 de proteínas; 1.32 \pm 0.04 de lípidos; 13.74 \pm 0.11 de humedad; 0.70 \pm 0.01 de cenizas y 3.74 \pm 0.03 de fibra dietaria total. La harina de fruto de algarrobo (HA) se adquirió de productores locales (INTI ATUN, Santiago del Estero, Argentina) de la provincia de Santiago del Estero y presentó la siguiente composición (g/100 g): 7.8 \pm 0.1 de proteínas; 1.3 \pm 0.1 de lípidos, 10.3 \pm 0.1 de humedad, 2.7 \pm 0.2 de cenizas, 21.9 \pm 0.6 de fibra dietaria total, 45.0 \pm 2.0 de sacarosa, 3.2 \pm 0.7 de fructosa y 1.0 \pm 0.3 de glucosa. La composición de las harinas se determinó en nuestros laboratorios de acuerdo con los métodos aprobados por la AACC 46-12, 44-19, 8-1 y 32-05 para proteínas, humedad, cenizas y fibra dietaria total, respectivamente (AACC, 2000); los lípidos se determinaron mediante extracción utilizando un dispositivo Soxhlet. Los azúcares solubles se extrajeron suspendiendo 1 g de harina en 25 ml de mezcla etanol: agua MiliQ 80:20 con agitación a 25 °C durante 1h a 650 rpm, luego se centrifugó a 1200 rpm y el sobrenadante fue ultracentrifugado a 13000 rpm y filtrado a través de filtros de 0.45 μ m de tamaño de poro. Se realizaron diluciones y las muestras se analizaron utilizando un HPLC Waters 1525 (Millipore Corp., Milford, EE. UU.) equipado con un detector de índice de refracción. Se empleó una columna Hypersil Gold Amino 250 mantenida a 35 °C. Se utilizó un sistema de acetonitrilo:agua 80:20 como fase móvil, con un caudal de 1.2 ml/min. Otros ingredientes utilizados fueron azúcar (sacarosa) (Ledesma, Buenos Aires, Argentina), margarina (Dánica, Buenos Aires, Argentina), levadura fresca (Calsa, Buenos Aires, Argentina), huevos frescos y cloruro de sodio (Celusal, Vicente López, Argentina).

2.2. Formulaciones

En la Tabla 1 se resumen las formulaciones utilizadas para la elaboración de masas de panes dulces sin harina de fruto de algarrobo (HA0) y con 15, 25 y 35% de reemplazo de harina de trigo por harina de fruto de algarrobo (HA15, HA25 y HA35 respectivamente). Dichas formulaciones se ajustaron a través de ensayos preliminares (Bigne *et al.*, 2018). La cantidad de azúcar para las formulaciones se redujo de acuerdo con el incremento en el nivel de reemplazo de HT por HA debido al elevado contenido de azúcares que provee la HA.

Tabla 1. Formulaciones de pan dulce con distintos niveles de reemplazo de harina de trigo (HT) por harina de fruto de algarrobo (HA).

Componente	Formulación (g/100 g de harina total)			
	HA0	HA15	HA25	HA35
HT	100	85	75	65
HA	0	15	25	35
Agua	24	24	24	24
Azúcar	25	16,8	11,3	5,8
Margarina	20	20	20	20
Huevo líquido	17	17	17	17
Sal	1	1	1	1
Levadura fresca	3	3	3	3

2.3 Elaboración de las masas

Para cada formulación se prepararon 2 lotes independientes, cada uno de ellos a partir de una cantidad base de 1100 g de harina/mezcla de harinas. La levadura fresca se suspendió en 100 ml de agua a 30 °C con 10 g de azúcar. La harina (o mezcla de harinas), sal, margarina fundida y el resto del azúcar se premezclaron durante 1 min en una amasadora planetaria (Kenwood, Treviso, Italia). Luego se añadió la suspensión de levadura, el huevo líquido y el resto del agua y se mezcló durante 30 min a 90 rpm. La masa se dividió en porciones de 200 g que se envasaron en bolsas de plástico individuales aptas para congelar.

2.4. Selección del método de congelación y almacenamiento de las masas

Para la congelación de las masas se evaluaron dos métodos: a) congelación en cámara a -30 °C con desplazamiento forzado de aire y b) congelación en freezer a -20 °C. En ambos casos se registró el descenso de temperatura con termocuplas tipo K a 1 cm del borde de las piezas y en el centro de éstas. A partir de los datos obtenidos se calculó el tiempo necesario para alcanzar al menos -15 °C en toda la masa (temperatura inferior al punto de fusión del agua en las muestras). Estas medidas se realizaron con masas sin agregado de harina de fruto de algarrobo.

Con base en los resultados se seleccionó el método de mayor velocidad de enfriamiento (ver inciso 3.1). En consecuencia, la congelación de las masas se llevó a cabo en una cámara con circulación de aire forzado a -30 °C durante 120 min (suficiente para alcanzar una temperatura inferior a los -15 °C en el centro de cada pieza). Las bolsas conteniendo las masas se almacenaron en freezer a -20 °C durante 12 semanas.

2.5. Microscopía Ambiental Electrónica de Barrido (ESEM)

Las masas preparadas como se indicó en 2.3 pero sin agregado de levadura (para evitar modificaciones durante las mediciones debidas a su desarrollo) fueron caracterizadas por ESEM a tiempo 0 (masa fresca sin congelar) y luego de 12 semanas de almacenamiento congelado. La descongelación de las masas se llevó a cabo dentro de las bolsas plásticas a 25 °C durante 2 horas.

Se colocaron porciones de masa de aproximadamente 0.1 g sobre soportes específicos para su observación en un microscopio FEI Quanta 200 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, EEUU), equipado con detector gaseoso de electrones secundarios, a 10 °C y 4,14 Torr de presión. Se adquirieron micrografías de varios campos de cada muestra a diferentes aumentos (entre X800 y X5000).

2.6. Viabilidad de levaduras

El recuento de levaduras fue evaluado por duplicado en las masas frescas sin congelar y luego de 2, 4, 8 y 12 semanas de almacenamiento congelado, después de ser descongeladas por 45 min a 30 °C. Para ello, se tomó 1 g de muestra y se realizaron diluciones decimales seriadas empleando agua peptona 0,1%. Seguidamente, se sembraron 100 µl de las diluciones sobre placas de agar YGC (Yeast Glucosa Cloranfenicol) empleando perlas de vidrio para su dispersión en la superficie. Las placas fueron incubadas a 25 ± 1 °C durante 5 días, luego del cual se contaron las colonias y los resultados se expresaron en *log* de unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g).

2.7. Elaboración de los panes

Las masas almacenadas en freezer se dejaron descongelar a temperatura ambiente durante 2 h para ser leudadas y cocidas, mientras que las masas frescas sin congelar se dejaron reposar durante 10 min a temperatura ambiente antes de proceder a su leudado y cocción.

Las piezas de masa de 200 g se colocaron en moldes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 15 cm de alto y se llevaron a cámara de fermentación (Brito Hnos., Los Polvorines, Argentina) a 30 °C durante tiempo óptimo de leudado para cada formulación, determinado en ensayos previos (Bigne *et al.*, 2018). Dichos tiempos fueron 320.5 min, 293.7 min, 285.7 min y 231.1 min para las masas sin harina de fruto de algarrobo y con 15, 25 y 35% de reemplazo de harina de trigo por harina de fruto de algarrobo. Luego del proceso de fermentación, las masas

leudadas en sus respectivos moldes se hornearon durante 40 min a 180 °C en horno eléctrico (Ariston, Fabriano, Italia).

2.8. Evaluación de la calidad panadera

Para los ensayos de evaluación de calidad panadera se obtuvieron 4 panes de cada formulación (2 de cada lote independiente) para cada tiempo de almacenamiento.

Luego del horneado las piezas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 1 h, se desmoldaron y se midieron la altura, estructura de miga, textura de miga y humedad de miga según se describe a continuación.

2.8.1. Altura de los panes

Para evaluar el incremento de volumen de las piezas se midió la altura desde la base de los panes hasta el centro de la parte superior de estos.

2.8.2. Estructura de la miga

Se fotografiaron rodajas de la parte media de los panes, se seleccionaron imágenes de 5 cm x 5 cm de cada rodaja y se analizaron con el software ImageJ 1.48q para obtener el tamaño medio, el área ocupada y la circularidad de los alvéolos (Bigne *et al.*, 2018). Para estas medidas, se fijó un límite inferior para el tamaño de alvéolo de 0,2 mm². Los alvéolos con tamaños superiores a 30 mm² fueron descartados para el cálculo del tamaño medio y la circularidad.

2.8.3. Humedad de la miga

Las muestras de miga se secaron en estufa a 103 °C hasta peso constante según el método oficial AACC 44-15A (AACC, 2000).

2.8.4. Textura de la miga

El análisis de textura de la miga se basó en el descripto por Bigne *et al.* (2018) con modificaciones. Se utilizó un analizador de textura Brookfield CT3-100 (Brookfield Engineering Laboratories, EE. UU.) equipado con una celda de carga de 25 Kg. Se cortaron discos de miga de 30 mm de diámetro y 20 mm de espesor y se sometieron a dos compresiones consecutivas (5 s de tiempo de recuperación entre compresiones) hasta el 40% de la altura inicial, utilizando una sonda plana TA25/1000 con una velocidad de compresión de 0,5 mm/s. Se registraron medidas de fuerza en función del tiempo y se analizaron los perfiles de textura para obtener los parámetros de dureza (fuerza máxima en el primer pico), elasticidad (relación entre la distancia correspondiente a la segunda compresión y la distancia de compresión original), cohesividad (área del segundo pico con respecto al área del primer pico) y masticabilidad (calculado como el producto de dureza, cohesividad y elasticidad).

2.9. Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos se utilizó el software Statgraphics Centurion XV v15.2.06 (StatPoint Inc.). Se aplicaron pruebas de Fisher-LSD para determinar las diferencias significativas entre medias con un nivel de confianza del 95% y Análisis de Varianza de 2 vías.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación del método de congelación

En la Fig. 1 se muestran las curvas típicas de descenso de temperatura en el centro de las masas en función del tiempo en cámara a -30 °C con movimiento forzado de aire y en freezer a -20 °C. En ambos casos se observa un semi-plateau de temperatura cercano a -9.2 °C que corresponde a la congelación del agua libre de las muestras. El acentuado descenso crioscópico para la temperatura de congelación del agua en estas muestras es atribuible principalmente a su elevado contenido de azúcares solubles. Meziani *et al.* (2012a) informaron temperaturas de congelación cercanas a -7.5 °C para masas dulces con 200 g de azúcar cada 1000 g de harina. Es presumible un descenso mayor para la temperatura de congelación en las masas aquí evaluadas donde el contenido de azúcares es de 240 g cada 1000 g de harina.

Teniendo en cuenta estas observaciones se tomó la temperatura de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ como aquella para asegurar una congelación de la mayor parte del agua presente en las muestras a almacenar. Los datos de temperatura en función del tiempo una vez superado el semi-plateau se ajustaron con ecuaciones de decaimiento exponencial. A partir de ellas se calcularon los tiempos necesarios para alcanzar la temperatura de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los tiempos promedio (\pm DE) fueron de 165 ± 14 min para el enfriamiento en freezer y 95 ± 14 min para el enfriamiento en cámara con ventilación forzada de aire.

A partir de estos datos y privilegiando un enfriamiento rápido de las masas, para prevenir daños en la estructura causados por la formación de cristales de hielo de mayor tamaño (Meziani *et al.*, 2011), se seleccionó el enfriamiento en cámara a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ con ventilación forzada de aire durante 120 min para asegurar que las masas alcancen una temperatura inferior a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ antes de ser almacenadas en freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

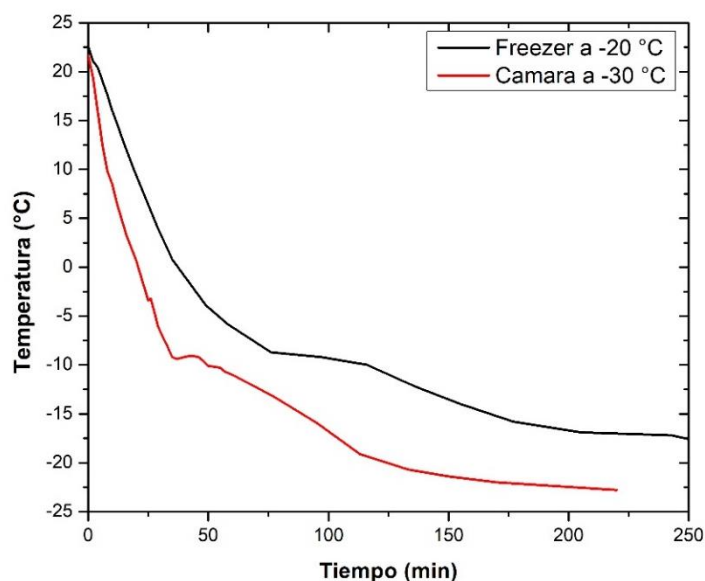


Figura 1. Curvas típicas para la congelación de las masas en freezer y cámara con ventilación forzada.

3.2. Caracterización microestructural de las masas

En la Fig. 2 se muestran las micrografías obtenidas por ESEM para las masas antes del tratamiento de congelación (A, C, E y G) y luego de 12 semanas de almacenamiento congelado (B, D, F y H) sin HA y con 15, 25 y 35% de reemplazo de HT por HA, respectivamente.

Es posible apreciar algunas diferencias estructurales entre las masas sin congelar con diferentes niveles de reemplazo de HT por HA, HA0, HA15 HA25 y HA35 (Fig. 2A, C, E y G respectivamente). Cuando se incrementó el contenido de HA, la red de gluten resultó menos uniforme, observándose una menor proporción de gránulos de almidón recubiertos por películas de gluten y un aspecto más discontinuo. El desarrollo de una red de gluten adecuada, caracterizada por la formación de películas y un alto grado de entrecruzamiento de proteínas, es la causa de las propiedades elásticas de la masa de trigo (Correa *et al.*, 2014).

En las micrografías de la Fig. 2B, D, F y H, se muestran las masas correspondientes a HA0-HA35 después de 12 semanas de almacenamiento congelado. En las formulaciones con menor contenido de HA (HA0 y HA15) pueden observarse cambios más evidentes entre las masas frescas y las congeladas/almacenadas. En las formulaciones con mayores niveles de HA las masas frescas ya presentan una mayor disgregación en la matriz que contribuiría a que el efecto de la congelación/almacenamiento sea menos evidente. Para HA0, se puede observar agregación de proteínas en forma de fibras gruesas (Fig. 2B) en contraste con la apariencia de la masa fresca (Fig. 2A) donde las películas cubrían una gran parte de la superficie de los gránulos de almidón. También son visibles fibras

gruesas similares en las masas con combinación de harinas después de la congelación/almacenamiento (Fig. 2D, E y H).

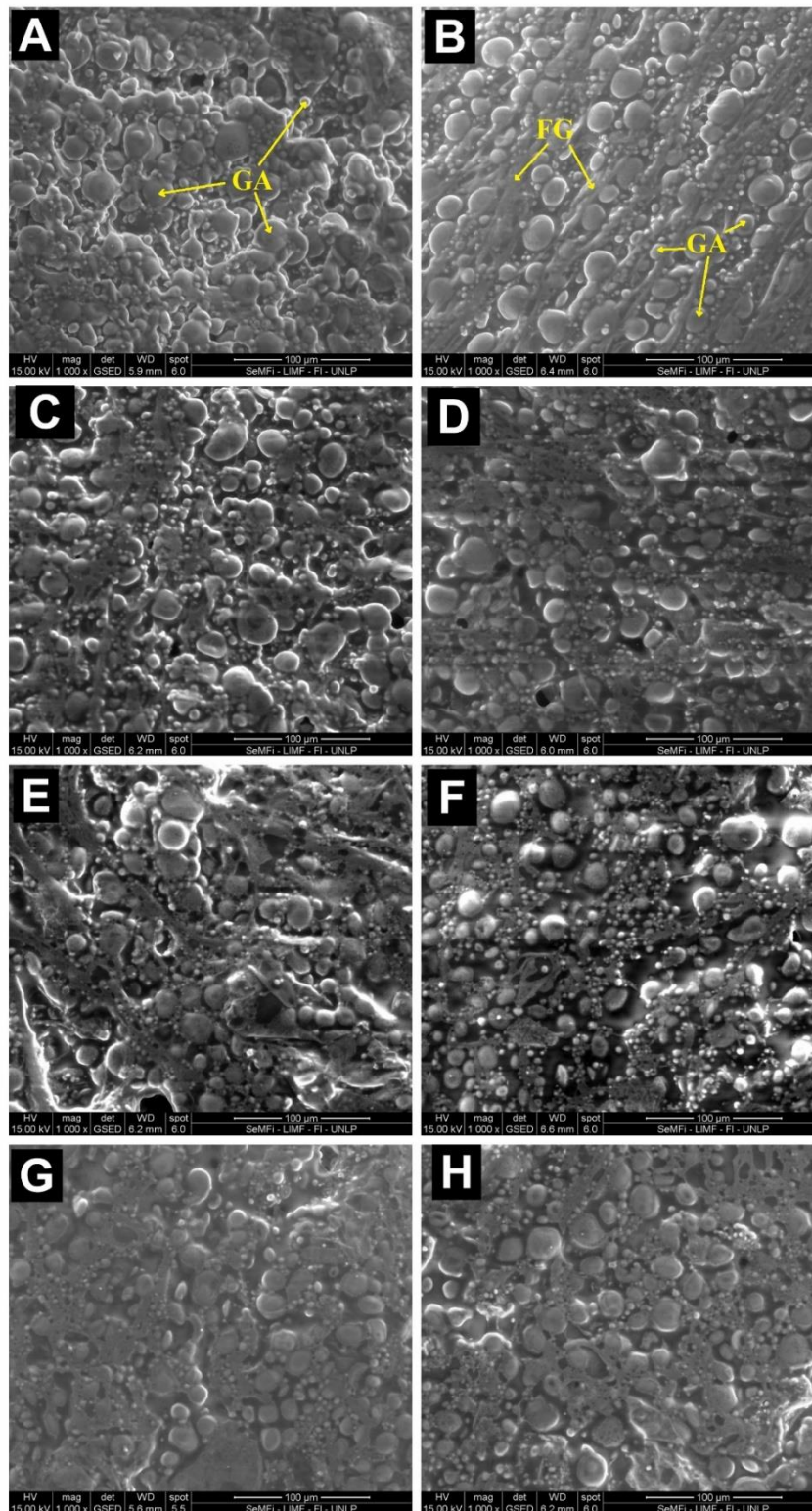


Figura 2. Micrografías obtenidas por ESEM de masas frescas (A, C, E y G) y luego de 12 semanas de almacenamiento congelado (B, D, F y H). A, B: sin HA; C, D: con 15% de HA; E, F: con 25% de HA; G, H: con 35% de HA. GA: gránulo de almidón; FG: fibras de gluten.

Los cambios estructurales pueden estar relacionados con cambios en la distribución del agua durante el almacenamiento congelado y después de la descongelación. En este sentido, Esselink y van Duynhoven (2003) demostraron que el gluten se deshidrata durante la congelación y almacenamiento congelado, provocando cambios en la distribución del agua después de la descongelación. Baier-Schenk *et al.* (2005) indicaron que el crecimiento de cristales de hielo conduce a la redistribución del agua congelada, con una deshidratación parcial de la matriz polimérica de la masa (particularmente del gluten), que afecta las propiedades de la red proteica y, en consecuencia, el rendimiento de horneado de la masa.

3.3. Viabilidad de levaduras con el almacenamiento congelado

En la Tabla 2 se presentan los datos de viabilidad de las levaduras en las masas frescas y en las masas congeladas/almacenadas. Se obtuvieron pérdidas de alrededor de un orden logarítmico luego del tratamiento de congelación/almacenamiento con respecto a los valores de viabilidad en las masas frescas sin congelar, que puede asumirse que se debe fundamentalmente al efecto de la congelación. Los valores de viabilidad de las levaduras se mantuvieron prácticamente constantes o con leves diferencias (aunque significativas en algunos casos) durante el almacenamiento congelado. Cabe remarcar que las diferencias registradas entre las masas a lo largo del almacenamiento congelado fueron menores a medio orden logarítmico.

Tabla 2. Recuento de levaduras viables en las masas frescas y luego de distintos tiempos de almacenamiento congelado.

Almacenamiento congelado (semanas)	Viabilidad de levaduras [log (UFC/g)]			
	HA0	HA15	HA25	HA35
Masa fresca	7.8 ^D	7.9 ^C	8.1 ^B	8.0 ^C
2	6.4 ^A	6.2 ^A	6.5 ^A	6.6 ^A
4	6.8 ^C	6.6 ^B	6.9 ^A	6.8 ^B
8	6.7 ^{BC}	6.7 ^B	6.8 ^A	6.7 ^B
12	6.6 ^B	6.7 ^B	6.8 ^A	6.7 ^B
DEC	0.5	0.6	0.6	0.5

Las letras indican diferencias significativas ($p < 0,05$) dentro de cada formulación. DEC: Desviación Estándar Combinada.

Durante el proceso de producción de masas congeladas se somete a las levaduras a estrés por congelación (por formación de cristales de hielo) y estrés osmótico (por aumento en la concentración de sustratos al reducirse la cantidad de agua disponible para solubilizarlos), que es incluso mayor en masas dulces congeladas por el contenido de azúcares solubles (Meziani *et al.*, 2011). El estrés osmótico conduce a la deshidratación de las levaduras y consecuente daño celular que limita su crecimiento y capacidad de producción de CO₂ (Cabrera *et al.*, 2020). La cantidad de células viables luego de la aplicación de ciclos de congelación-descongelación es dependiente del tipo de cepa y del estado fisiológico de la levadura (Codón *et al.*, 2003). Diferentes autores han indicado una correlación negativa entre el tiempo de almacenamiento congelado y el número de levaduras viables en masas panarias congeladas y almacenadas (Ribotta *et al.* 2003; Meziani *et al.*, 2012b). Nuestros resultados indican que la mayor pérdida de viabilidad de las levaduras se produce por la congelación, mientras que el almacenamiento congelado no incrementa de forma considerable la pérdida de células viables.

3.4. Calidad de los productos obtenidos

En la Fig. 3 se observa el aspecto típico de los panes obtenidos con distintos grados de reemplazo de harina de trigo por harina de fruto de algarrobo. Los valores promedio de altura, área media de alveolos, porcentaje de área ocupada por alveolos y circularidad alveolar para los panes dulces obtenidos a partir de masas frescas y de masas congeladas/almacenadas durante 12 semanas se resumen en la Tabla 3.

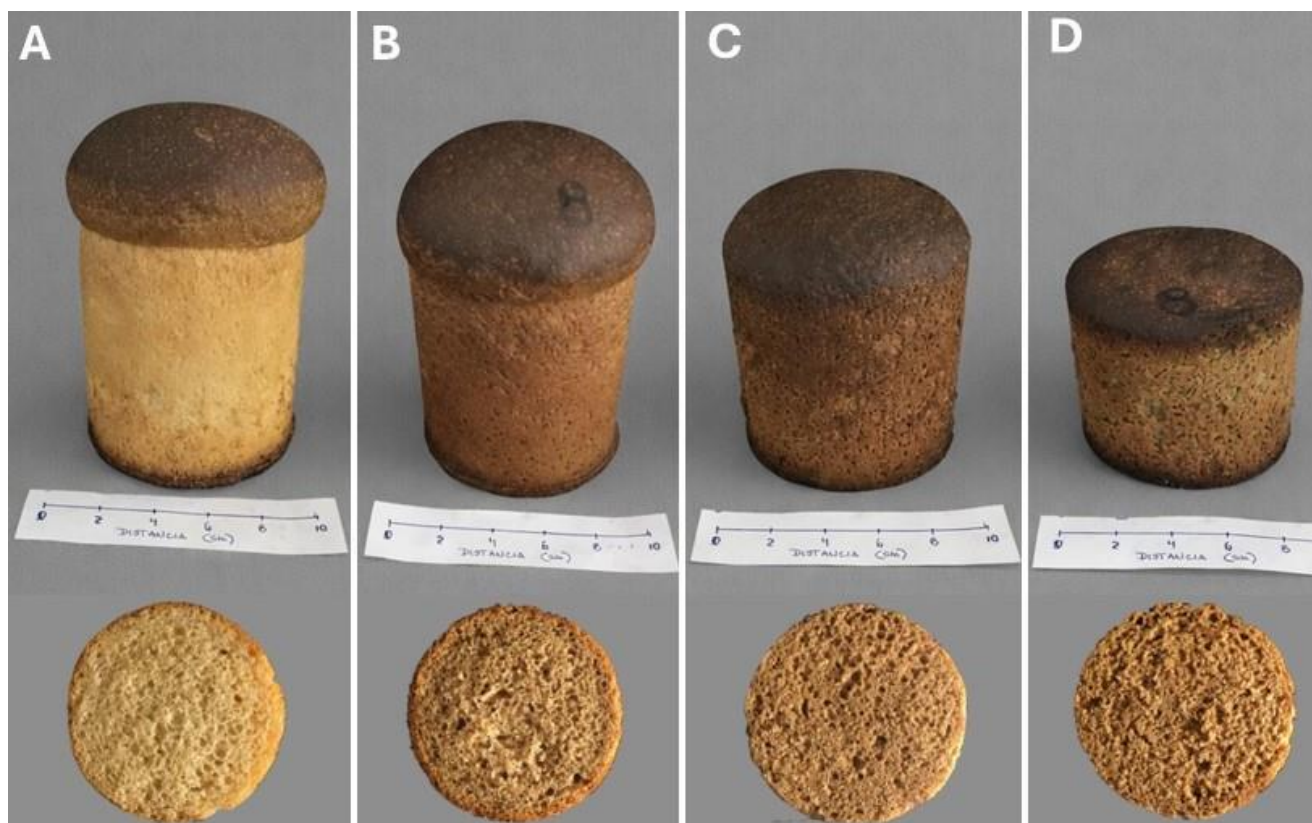


Figura 3. Aspecto típico de los panes dulces y sus migas obtenidos con masas frescas con 0, 15, 25 y 35% de reemplazo de harina de trigo por harina de fruto de algarrobo (A, B, C y D, respectivamente).

Tabla 3. Parámetros de calidad evaluados en panes obtenidos a partir de masas frescas y masas congeladas/almacenadas.

Formulación	HA0		HA15		HA25		HA35	
Almacenamiento (semanas)	0	12	0	12	0	12	0	12
Altura (cm)	12.5 ^{dB}	9.5 ^A	10.2 ^{cB}	9.0 ^A	8.7 ^{bA}	8.6 ^A	6.7 ^{aA}	6.9 ^A
Área media alveolar (mm ²)	1.5 ^{cB}	1.1 ^A	1.4 ^{cB}	1.0 ^A	1.1 ^{bA}	1.1 ^A	0.8 ^{aA}	0.8 ^A
% Área ocupada por alveolos (-)	44 ^{cA}	38 ^A	41 ^{bB}	37 ^A	40 ^{bA}	40 ^A	38 ^{aA}	37 ^A
Circularidad (-)	0.57 ^{bA}	0.55 ^A	0.58 ^{bB}	0.55 ^A	0.53 ^{aA}	0.53 ^A	0.52 ^{aA}	0.53 ^A

Letras minúsculas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre formulaciones para los panes obtenidos con masa fresca (0 semanas); letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) dentro de cada formulación entre los panes obtenidos a partir de masas frescas y congeladas/almacenadas.

La altura se redujo de forma significativa ($p < 0,05$) a medida que se incrementó el reemplazo de HT por HA para los panes dulces obtenidos con las masas frescas. Con la congelación y almacenamiento de las masas se observaron 2 tendencias diferentes de acuerdo al grado de reemplazo de HT por HA: en las formulaciones HA0 y HA15 se registró una disminución de la altura en los panes luego de la congelación/almacenamiento de la masa ($p < 0,05$), respecto a los obtenidos con masa fresca, mientras que en las formulaciones con mayor contenido de

HA (HA25 y HA35) la altura de los panes obtenidos no arrojó diferencias significativas ($p>0.05$) tras la congelación/almacenamiento de las masas con respecto a la de los panes obtenidos con masas frescas.

Tendencias similares se observaron en la estructura de la miga de los panes. Para las piezas obtenidas a partir de masas frescas (sin congelación) el tamaño medio, el porcentaje de área ocupada y la circularidad de los alvéolos se redujo al incrementar el reemplazo de HT por HA. Para las formulaciones con mayor contenido de HA (HA25 y HA35), luego del proceso de congelación/almacenamiento y cocción de las masas, los 3 parámetros estructurales de miga analizados permanecieron inalterados ($p>0.05$), respecto a los de los panes obtenidos a partir de masas frescas. En las formulaciones HA0 y HA15 el tamaño, área ocupada y circularidad de los alvéolos tendió a disminuir con la congelación/almacenamiento, aunque las diferencias no fueron significativas en todos los casos.

La humedad de miga fue mayor cuanto mayor fue el contenido de HA en la formulación. El aumento de la proporción de HA en la mezcla obligó a una reducción de la cantidad de sacarosa agregada en la formulación, ya que la propia HA contiene una cantidad apreciable de azúcares. Como el agua agregada se mantuvo constante se llegó a una mayor proporción agua/sólidos, lo que explica la mayor humedad de miga observada en el producto final. Para las migas de los panes obtenidos con las masas congeladas/almacenadas no se registraron tendencias claras que indiquen un efecto del tratamiento sobre este parámetro. Los valores de humedad de miga mínimos y máximos registrados fueron: 32.7-34.3%; 34.1-35.5%; 35.3-36.7% y 37.1-38.3% para las formulaciones HA0, HA15, HA25 y HA35 respectivamente.

Los valores registrados en dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad de la miga se presentan en la Fig. 4.

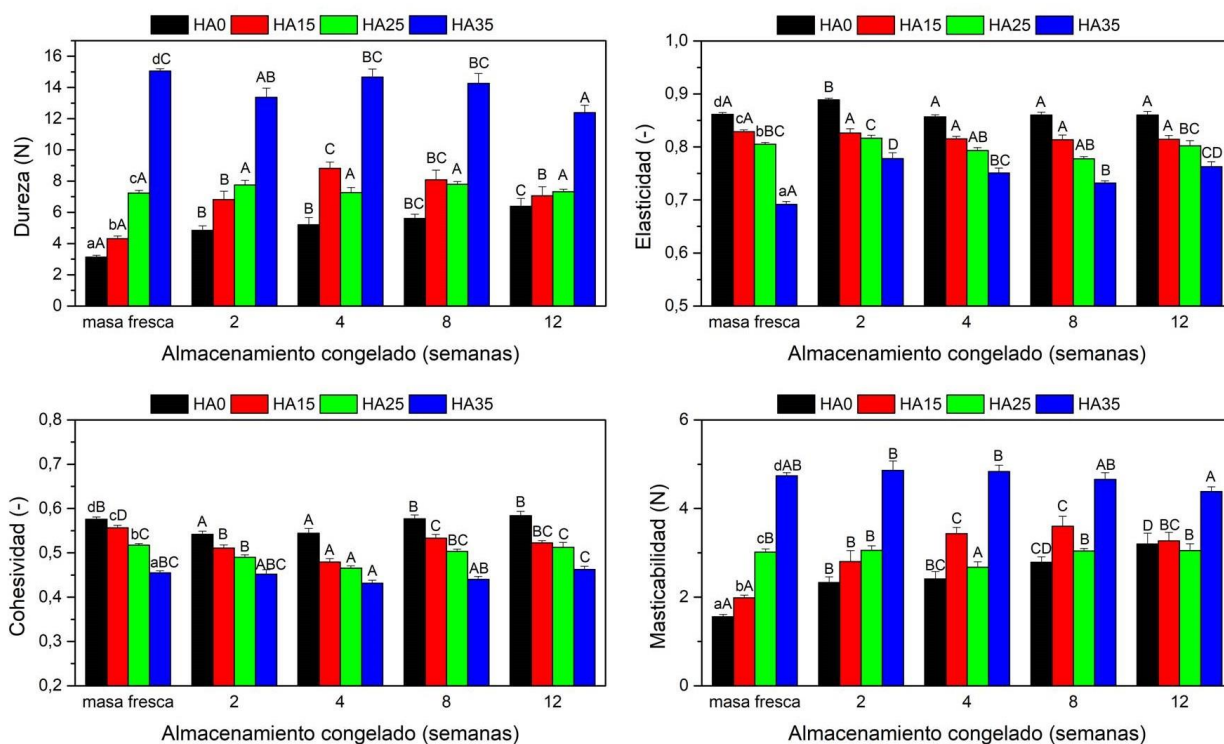


Figura 4. Parámetros texturales de la miga de panes obtenidos a partir de masas frescas y masas congeladas/almacenadas. Letras minúsculas indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre formulaciones para los panes obtenidos con masas frescas; letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p<0.05$) dentro de cada formulación entre diferentes tiempos de almacenamiento congelado.

El ANOVA de 2 vías indicó que tanto el efecto de la formulación, el efecto de la congelación/almacenamiento congelado de las masas y la interacción entre dichos factores resultaron significativos ($p < 0.05$) sobre los parámetros de dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad de miga de los panes obtenidos. Esto indica que los parámetros texturales analizados están condicionados por la combinación de ambos factores y que la evolución de estos al avanzar el tiempo de almacenamiento congelado fue diferente en los panes obtenidos con las diferentes formulaciones.

En los panes obtenidos a partir de las masas frescas la dureza y la masticabilidad incrementaron de forma significativa y progresiva con el grado de reemplazo de HT por HA ($p < 0.05$), mientras que la elasticidad y la cohesividad disminuyeron significativa y progresivamente con el reemplazo de harina ($p < 0.05$).

Los valores de dureza se correlacionaron con la inversa de la altura de dichos panes ($R^2 = 92.3$), resultado esperable ya que la altura de las piezas es una medida indirecta de la aireación de la miga que influye sobre la dureza, como ha sido previamente descrito por Bigne *et al.* (2016) en panificados con combinación de HT y HA.

La elasticidad es una medida de la recuperación de la estructura luego de una perturbación mecánica, mientras que la cohesividad de miga se relaciona con la integridad de ésta, la capacidad de los componentes de mantenerse unidos (Cauvain, 2004). En los productos panificados a base de HT ambos parámetros se ven influenciados por la estructura de la matriz de gluten, de mejor calidad en las formulaciones con menor contenido de HA como se observó y discutió para las micrografías de la Fig. 2.

La masticabilidad (calculada como dureza*elasticidad*cohesividad) es un parámetro asociado a la energía necesaria para disgregar el alimento y se ve principalmente influenciada por los valores de dureza, que en valores absolutos cambia en mayor grado que los otros parámetros entre las diferentes formulaciones, y por lo tanto sigue la misma tendencia que la dureza.

En los panes con menor contenido de HA (HA0 y HA15) se observó un incremento significativo ($p < 0.05$) de dureza de miga con el tiempo de almacenamiento congelado de las masas. Por otro lado, esta tendencia no se observó en las formulaciones con mayor grado de reemplazo de harina (HA25 y HA35). Si bien para HA35 se registraron disminuciones significativas ($p < 0.05$) en algunos tiempos de almacenamiento, la variación de dureza fue menor al 17.7%, respecto del pan obtenido con masa fresca, mientras que las variaciones de dicho parámetro en HA0 y HA15 fueron de hasta 104%. Los valores de masticabilidad a lo largo del almacenamiento congelado siguieron la misma tendencia que los de dureza, con cambios más pronunciados para las formulaciones con menor contenido de HA.

En la elasticidad y cohesividad de miga se registraron algunas diferencias significativas ($p < 0.05$) para los diferentes tiempos de almacenamiento congelado en las 4 formulaciones, sin poder encontrarse tendencias claras. A pesar de ello, las variaciones máximas de dichos parámetros estuvieron en torno al 11% para elasticidad y 13% para cohesividad, siempre realizando comparaciones dentro de cada formulación para los diferentes tiempos de almacenamiento congelado, es decir que se trata de cambios leves.

Los resultados de dureza y masticabilidad de la miga se condicen con lo observado para la altura y las características microestructurales descritas para las masas frescas y las congeladas/almacenadas con diferente contenido de HA, las masas HA0 y HA15 fueron las que mayores modificaciones mostraron con la congelación/almacenamiento congelado.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores respecto a la atenuación del efecto negativo de la congelación y almacenamiento congelado sobre las masas cuando se incorpora harina de leguminosa. Simmons *et al.* (2012) estudiaron el efecto de la incorporación de harina de soja desgrasada y de leche de soja en polvo en masas para panificación. Estos autores hallaron que la masa con incorporación de productos de soja retuvo mejor las características de calidad durante el almacenamiento congelado probablemente por la formación de fuertes uniones entre las proteínas de trigo y de soja que no se vieron afectadas por la congelación como sí lo fueron las uniones entre proteínas de trigo. Resultados similares fueron informados por Ozulku y Arici (2017) sobre las propiedades reológicas de la masa y el volumen específico de los productos finales en mezclas de garbanzo-trigo.

4. CONCLUSIONES

El método de congelación en cámara de -30°C con ventilación forzada resultó ser el más rápido y fue el seleccionado en busca de minimizar los daños por hielo en la estructura y propiedades de la masa.

Los principales problemas derivados de aplicar la tecnología de congelamiento de masas fueron la pérdida de viabilidad de las levaduras y el daño en la matriz de gluten. Respecto a la viabilidad de las levaduras, la mayor pérdida se registró por la congelación, pero no hubo cambios importantes durante el almacenamiento. Cuanto mayor fue el reemplazo de harina de trigo por harina de fruto de algarrobo (25 y 35%) menores cambios se evidenciaron a nivel microestructural de la masa por formación de hielo, probablemente por tener una red de gluten menos estructurada y organizada que en las masas con menor reemplazo.

La formulación fue el factor determinante de las características de los panes dulces obtenidos con masas congeladas y almacenadas. En los panes provenientes de formulaciones con altos contenidos de harina de fruto de algarrobo los cambios de textura de la miga no fueron significativos después del período de almacenamiento respecto a las características de panes obtenidos a partir de masas frescas. Los panes con menor reemplazo por harina de fruto de algarrobo se vieron más afectados en su altura y dureza de miga, lo que se pudo relacionar con cambios a nivel de microestructura de las masas.

Estos resultados indican que es factible la aplicación de la tecnología de masas congeladas en formulaciones harina de trigo-harina de fruto de algarrobo para obtener panes dulces tipo “panettone” de calidad similar a los obtenidos a partir de masas frescas, especialmente en formulaciones con altos contenidos de harina de fruto de algarrobo.

In memoriam

A nuestra colega la Dra. Leda Giannuzzi, quien realizó los estudios microbiológicos de este trabajo, por su compromiso y enseñanzas que siempre serán recordados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y a la Universidad Nacional de La Plata por el soporte económico recibido.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. (10^a ed.). AACC.
- Baier-Schenk, A., Handschin, S. y Conde-Petit, B. (2005). Ice in prefermented frozen bread dough—an investigation based on calorimetry and microscopy. *Cereal Chemistry*, 82(3), 251-255. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0251>
- Bárcenas, M. E. y Rosell, C. M. (2006). Effect of frozen storage time on the bread crumb and aging of par-baked bread. *Food Chemistry*, 95(3), 438-445. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.023>
- Bigne, F., Ferrero, C. y Puppo, M. C. (2019). Effect of freezing and frozen storage on mesquite–wheat dough for panettone-like breads. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2853-2861. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00206-4>
- Bigne, F., Puppo, M. C. y Ferrero, C. (2018). Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a “panettone-like” bread. Applicability of part-baking technology. *LWT-Food Science and Technology*, 89, 666-673. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.029>
- Bigne, F., Puppo, M. C. y Ferrero, C. (2016). Fibre enrichment of wheat flour with mesquite (*Prosopis* spp.): Effect on breadmaking performance and staling. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 1008-1016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.028>
- Cabrera, E., Welch, L. C., Robinson, M. R., Sturgeon, C. M., Crow, M. M. y Segarra, V. A. (2020). Cryopreservation and the freeze–thaw stress response in yeast. *Genes*, 11(8), 835. <https://doi.org/10.3390/genes11080835>

- Campos, N., Felker, P. y Puppo, M. C. (2021). Regional traditional foods from *Prosopis spp.* of the northwest of Argentina. En M. C. Puppo y P. Felker (Comps.), *Prosopis as a heat tolerant nitrogen fixing desert food legume: Prospects for economic development in arid lands* (pp. 253-262). Academic Press.
- Cauvain, S. P. (2004). Improving the texture of bread. En D. Kilcast (Comp.), *Texture in food Volume 2: Solid foods* (pp. 432-450). Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC.
- Correa, M. J., Ferrer, E., Añón, M. C. y Ferrero, C. (2014). Interaction of modified celluloses and pectins with gluten proteins. *Food Hydrocolloids*, 35, 91-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.04.020>
- Esselink, E. F., van Aalst, H., Maliepaard, M. y van Duynhoven, J. P. (2003). Long-term storage effect in frozen dough by spectroscopy and microscopy. *Cereal Chemistry*, 80(4), 396-403. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.4.396>
- Jiang, Y., Zhao, Y., Zhu, Y., Qin, S., Deng, Y. y Zhao, Y. (2019). Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage. *Food Chemistry*, 297, 124902. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.176>
- Luo, W., Sun, D. W., Zhu, Z. y Wang, Q. J. (2018). Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality-A review of effective methods. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.017>
- Meziani, S., Jasniewski, J., Gaiani, C., Ioannou, I., Muller, J. M., Ghoul, M. y Desobry, S. (2011). Effects of freezing treatments on viscoelastic and structural behavior of frozen sweet dough. *Journal of Food Engineering*, 107(3-4), 358-365. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.015>
- Meziani, S., Ioannou, I., Jasniewski, J., Belhaj, N., Muller, J. M., Ghoul, M. y Desobry, S. (2012b). Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network integrity of sweet dough. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.017>
- Meziani, S., Jasniewski, J., Ribotta, P., Arab-Tehrany, E., Muller, J. M., Ghoul, M. y Desobry, S. (2012a). Influence of yeast and frozen storage on rheological, structural and microbial quality of frozen sweet dough. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 538-544. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.026>
- Ozulku, G. y Arıcı, M. (2017). Characterization of the rheological and technological properties of the frozen sourdough bread with chickpea flour addition. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1493-1500. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9528-z>
- Pagani, M. A., Lucisano, M. y Mariotti, M. (2014). Italian Bakery Products. En W. Zhou, Y. H. Hui, I. De Leyn, M. A. Pagani, C. M. Rosell, J. D. Selman y N. Therdthai (Comps.), *Bakery Products Science and Technology, Second Edition* (pp. 685-721). John Wiley & Sons, Ltd.
- Ribotta, P. D., León, A. E. y Añón, M. C. (2003). Effects of yeast freezing in frozen dough. *Cereal Chemistry*, 80(4), 454-458. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.4.454>
- Simmons, A. L., Smith, K. B. y Vodovotz, Y. (2012). Soy ingredients stabilize bread dough during frozen storage. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 232-238. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.05.007>
- Yang, H., Wang, Y., Li, Q., Shuang, Y., Song, J., Pan, X., Ding, W., Ding, B. y Wang, X. (2023). Role of inulin in dough and bread during freezing storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1795-1802. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16299>