



Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas
Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Posgrado. Maestría
en Tecnología de los Alimentos

Maestranda
Ing. Cyntia Elizabeth Padoan

Comportamiento de masas de panificados libres de gluten, almacenadas en congelación

Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster
en Tecnología de los Alimentos”

“Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto,
queda sujeto al cumplimiento de la Ley N°26.899”.

Directora
Mgter. Laura Beatriz Milde

Posadas, Misiones 2019



Esta obra está licenciado bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, QUÍMICAS Y
NATURALES
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

*“COMPORTAMIENTO DE MASAS DE
PANIFICADOS LIBRES DE GLUTEN,
ALMACENADAS EN CONGELACIÓN”*

Tesista: Ing. Cyntia E. PADOAN

Directora: Mgter. Laura B. MILDE

Año: 2019

Nosotros Aprobamos la Tesis de Maestría de Cyntia Elizabeth Padoan

_____ / ____ / ____
Dr. Ing. Luis A. Brumovsky
Evaluador Interno – Decano de la Facultad de Ciencias
Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional
de Misiones.

_____ / ____ / ____
Dra. Sandra L. Hase
Evaluador Interno – Facultad de Ciencias Exactas,
Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones.

_____ / ____ / ____
Dra. Martina J. Perduca
Evaluador Externo – Decana de la Facultad de Ingeniería
y Tecnología. Universidad de la Cuenca del Plata.

_____ / ____ / ____
Mgter. Laura B. Milde
Directora de Tesis – Facultad de Ciencias Exactas
Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones.

CALIFICACIÓN: Elaboración de Tesis

CALIFICACIÓN: Defensa de Tesis

AGRADECIMIENTOS

A todos los que hicieron posible la elaboración de esta tesis de Maestría.

Principalmente a Laura Milde, por la guía, la enseñanza, la paciencia, la confianza y el apoyo incondicional.

A las autoridades, profesores y compañeros de la Maestría en Tecnología de Alimentos, y demás personas externas a la facultad que me ayudaron.

A las autoridades de mi actual trabajo, quienes confiaron en mí decisión, y autorizaron los días necesarios para dedicarme a la Maestría.

A mi esposo Jorge y a mis hijas Malena y Paula, por estar siempre, por apoyarme en esta decisión y acompañarme en cada momento.

A Laura Insausti, cuyo trabajo es una bendición.

A mis padres, que supieron transmitir el valor del estudio, la honestidad y la humildad.

DEDICATORIA:

A mi FAMILIA, Jorge, Malena y Paula...

“El éxito no se logra solo con cualidades especiales.
Es, sobre todo, un trabajo de constancia,
de método y de organización”

INDICE

LISTA DE TABLAS	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	VIII
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. Alcances y Justificación	4
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	7
2.1. Almacenamiento Congelado	7
2.1.1. Principios de la congelación de masas para panificados	7
2.1.2. Métodos de congelación.....	8
2.1.3. Importancia del almacenamiento congelado	8
2.2. Alimentos libres de gluten	10
2.3. Elaboración de panificados libres de gluten.....	12
2.4. Ingredientes para la elaboración de panificados libre de gluten del trabajo de tesis	13
2.4.1. Fécula de mandioca	13
2.4.2. Harina de Maíz	16
2.4.3. Harina de Soja.....	16
2.4.4. Huevo	17
2.4.5. Materia grasa	18
2.4.6. Sal	18
2.4.7. Agua	18
2.4.8. Levadura	19
2.5. Almacenamiento congelado de masas. Efecto en las levaduras y en el almidón	20
2.6. Determinación de la calidad de productos horneados	23
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	26
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1.1. Ingredientes para la elaboración de los panificados:.....	26
3.1.2. Equipos e Instrumentos.....	26
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	27

3.2.1.	Descripción de la Metodología de trabajo	27
3.2.2.	Determinación de la calidad de los panificados	29
3.2.2.1.	Parámetros físicos	30
3.2.2.2.	Parámetros de textura	31
3.2.2.3.	Análisis sensorial	32
3.2.2.4.	Análisis estadístico	35
3.3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.3.1.	Parámetros Físicos.....	35
3.3.2.	Parámetros de textura	39
3.3.3.	Análisis Sensorial	41
3.4.	CONCLUSIÓN	47
4.	PROPUESTAS DE TRABAJOS FUTUROS	48
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
6.	ANEXOS	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental de los tratamientos: levado pre y post almacenamiento congelado a diferentes días (7, 14, 21 y 28).....	29
Tabla 2. Atributos sensoriales y definiciones explicadas para el test analítico descriptivo de panes provenientes de masas almacenadas congeladas y el control.	34
Tabla 3. Valores promedios con sus desvíos estándares de los parámetros físicos (volumen específico y porcentaje de pérdida de peso) de panes provenientes de masas con tratamiento levado pre y post almacenamiento congelado; tiempos: 0, 7,14, 21 y 28 días.....	36
Tabla 4. Valores medios y desvíos estándares de los parámetros texturales (firmeza y elasticidad) de panes provenientes de masas con tratamiento levado pre y post almacenamiento congelado; tiempos: 0, 7,14, 21 y 28 días.....	39
Tabla 5. Resultado del análisis sensorial de apariencia, dureza y masticabilidad de panes provenientes de masas con tratamiento pre y post almacenadas congeladas a diferentes tiempos: 7, 14, 21 y 28 días, y (0) control.	42
Tabla 6. Valores medios y desvíos estándares de los resultados del atributo sabor.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nueva nomenclatura y clasificación propuesta de los trastornos relacionados con el gluten según la II Conferencia de Consenso sobre trastornos relacionados con el gluten celebrada en Londres en febrero de 2011. Fuente: Elaboración propia.	11
Figura 2. Proceso productivo de la fécula de mandioca. Fuente: INTI	14
Figura 3. Diagrama de Flujo del tratamiento de masas almacenadas congeladas. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 4. Representación del método de desplazamiento de semillas de sésamo.	30
Figura 5. Parámetros mecánicos en gráfico de doble compresión N: Newton; mm: milímetros	31
Figura 6. Procedimiento del almacenamiento congelado de las masas cuyo panes se utilizarán en la evaluación sensorial, para tratamiento PRE.	32
Figura 7. Preparación y evaluación sensorial de panes, frescos y provenientes de masas almacenadas congeladas.	34
Figura 8. Resultados del análisis sensorial agrupando aceptables del tratamiento levado POST (a) Apariencia (b) Dureza y (c) Masticabilidad	44
Figura 9. Resultados del análisis sensorial agrupando aceptables del tratamiento levado PRE (a) Apariencia (b) Dureza y (c) Masticabilidad.....	44
Figura 10. Gráfico de Interacción de los factores: tratamiento de levado y tiempo de almacenamiento congelado (7, 14, 21 y 28) y control (0) sobre el atributo sabor. 1- Tratamiento PRE; 2- Tratamiento POST.	46
Figura 11. Pan fresco y panes provenientes de masas almacenadas congeladas con tratamiento PRE durante 7, 14, 21 y 28 días.....	46
Figura 12. Pan fresco y panes provenientes de masas almacenadas congeladas con tratamiento POST durante 7, 14, 21 y 28 días.	46

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
% PP	Porcentaje de pérdida de peso
Ve	Volumen específico
f	Firmeza
e	Elasticidad
TPA	Análisis de Perfil de Textura
CAA	Código Alimentario Argentino
mm / s	milímetros por segundo
g	Gramos
cm	Centímetros
mm	Milímetros
N	Newton
cm ³ / g	Centímetro cúbico sobre gramo
DS	Desviaciones Estándares
PRE	Levado previo al almacenamiento congelado
POST	Levado posterior al almacenamiento congelado
AT	Alergia al trigo
SNCG	Sensibilidad no celíaca al gluten
t	tiempo

RESUMEN

“Comportamiento de masas de panificados libres de gluten, almacenadas en congelación”

Palabras clave: masa congelada, sin gluten, tratamiento de levado, levadura deshidratada.

En la presente tesis se trabajó con una formulación de pan libre de gluten, utilizando fécula de mandioca-harina de maíz en proporción 4:1, azúcar, harina de soja, sal, huevo, grasa vegetal y agua; se utilizó levadura deshidratada.

El objetivo fue analizar el efecto del levado de las masas con tratamientos pre y post almacenamiento congelado, por determinación de parámetros físicos (volumen específico y porcentaje de pérdida de peso), texturales (firmeza y elasticidad) y análisis sensorial del producto final cocido. Las masas fueron almacenadas congeladas (-20 °C) por 28 días, en moldes individuales; descongeladas a los 7, 14, 21 y 28 días y analizadas como panes. Se utilizó un pan elaborado en el día como control (fresco). Se realizó análisis sensorial descriptivo para ambos tratamientos evaluando los atributos: apariencia de la miga, dureza, masticabilidad y sabor.

Los panes obtenidos fueron afectados en su calidad por el almacenamiento congelado. Los parámetros físicos evaluados mostraron menor daño con el tratamiento de levado pre almacenamiento congelado. El mismo resultado se obtuvo con el parámetro firmeza a partir del día 7 de almacenamiento congelado; mientras que la elasticidad no presentó diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento congelado en ambos tratamientos. En cambio, en la evaluación de los atributos sensoriales, apariencia de la miga y sabor, con el tratamiento de levado post almacenamiento congelado, se obtuvieron respuestas más favorables a los diferentes días.

Teniendo en cuenta que la evaluación sensorial se utiliza en el control de calidad de los productos alimenticios, y determina su aceptación, se optaría por el levado post almacenamiento congelado para extender la vida útil de la formulación estudiada.

ABSTRACT

“Behavior of gluten-free bakery doughs in frozen storage”

Keywords: frozen dough, gluten free, fermented treatment, dry yeast.

In this Thesis a formulation of gluten free bread, cassava starch and corn flour (4:1) and ingredients such as sugar, soybean flour, salt, egg, vegetable fat and water; dry yeast was used. The aim of this work was to analyze the effect to ferment treatments of the dough pre and post frozen storage, by determining the physical parameters (specific volume and weight loss percentage), textural parameters (firmness and elasticity) and sensory analysis of the final cooked product. The doughs were stored frozen (-20 °C) for 28 days, in individual molds; thawed at 7, 14, 21 and 28 days and analyzed as loaves.

An elaborated bread during the day was used as control (fresh). A descriptive sensory analysis was carried out for both treatments, evaluating the attributes: appearance of the crumb, hardness, chewiness and taste.

The loaves obtained were affected in their quality by frozen storage. The physical parameters evaluated showed less damage with the ferment treatment of the dough before frozen storage. The same result was obtained with the firmness parameter from day 7 of frozen storage; while the elasticity did not present significant differences during the frozen storage time in both treatments.

On the other hand, in the sensory attributes evaluation, appearance of the crumb and flavor, with the ferment treatment of the dough after frozen storage, more favorable responses were obtained to the different days.

Taking into account that the sensory evaluation is used in the quality control of food products, and determines its acceptance, we would choose the fermented of the dough after frozen storage to extend the useful life of the formulation studied.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición del problema de investigación

El pan es un alimento que se consume desde épocas antiguas y que forma parte de la dieta tradicional de la mayoría de la población localizada en América, Europa, Medio Oriente e India (Ribotta y Tadini, 2009); es uno de los productos de mayor consumo en el mundo (Leray y col., 2010; Wang y col., 2015).

El pan es el producto obtenido por la cocción de una masa, elaborada a partir de la mezcla de harina, agua, levadura y sal (Gutkoski y col., 2005). Para su elaboración se utiliza harina de trigo ya que es el único cereal capaz de formar una masa panificable de calidad, debido a la presencia de gluten (Sciarini y col., 2016). El gluten es un complejo lipoproteico formado durante el proceso de amasado de la harina de trigo, y que confiere a la masa sus propiedades elásticas, y concede consistencia y esponjosidad al pan (Wang y col., 2015).

Los productos panificados tienen un corto período de comercialización, debido a su alta actividad de agua y al envejecimiento originado por el fenómeno de la retrogradación del almidón (Luo y col., 2018). Con el fin de extender la vida útil se recurre al almacenamiento de las masas de panificados congeladas (Ribotta y Tadini, 2009), lo que también reduce los costos de producción logrando una expansión del producto en el mercado (Gutkoski y col., 2005).

El consumo de gluten, provoca en personas con predisposición genética, una enfermedad llamada celiaquía, la que se define como una intolerancia total y permanente a ciertas fracciones proteicas del gluten, llamadas prolaminas; la ingesta de estas proteínas causa una lesión severa de la mucosa intestinal, con graves consecuencias para la salud y el desarrollo del individuo (Ciclitira y col., 2005; Mahmoud y col., 2013), impide la absorción de vitaminas, minerales y otros nutrientes necesarios para mantenerse saludables, y el único tratamiento consiste en una dieta estricta libre de gluten y de por vida.

Para las personas celíacas y para aquellas intolerantes o alérgicas al trigo, se deben formular alimentos donde se reemplace el gluten por distintos ingredientes o aditivos que asemejen su función; ello determina que, según algunos autores (Gallagher y col., 2003; Mahmoud y col., 2013; Sciarini y col., 2016), la calidad de los panificados existentes en el mercado sean inferior a los de trigo, ya que tienen poco volumen, presentan miga seca, frágil y se endurecen rápidamente durante el almacenamiento. En estos productos alimentarios, el almidón se convierte en el principal ingrediente formador de estructuras (Witczak y col., 2016), y de acuerdo con lo expresado por Milde y col., (2009; 2014), el almidón de mandioca es una opción adecuada para la preparación de panes libres de gluten.

En los panificados libres de gluten la ausencia de una red tridimensional, determina que el mantenimiento de la viabilidad de las levaduras durante el almacenamiento congelado sea uno de los factores que más influyen sobre la calidad de las masas, ya que de ello depende la potencia en la producción de dióxido de carbono para llevar a cabo el proceso de fermentación. Existen trabajos que determinaron el impacto del almacenamiento congelado en masas de panificados sin gluten utilizando levadura comprimida (Mezaize y col., 2010; Milde y col., 2014; Milde y col., 2016) o sin levaduras (Leray y col., 2010); sin embargo, de acuerdo con lo expresado por Ronda y Ross (2011), se ha encontrado escasa bibliografía acerca del efecto del almacenamiento congelado en panes libres de gluten con la utilización de levadura deshidratada.

1.2. Alcances y Justificación

Según datos obtenidos del Ministerio de Agroindustria (Cluster de la Mandioca Misionera, 2017) el cultivo de mandioca está muy ligado y arraigado a la agricultura regional.

Es un producto característico de la zona de Misiones, donde hay una gran disponibilidad de su derivado industrial principal que es la fécula de mandioca, pero a pesar de ello su utilización en las industrias y beneficios tecnológicos están poco difundidos, utilizándose principalmente para recetas regionales.

A fin de aprovechar la disponibilidad de este ingrediente, se lo utilizó en la formulación de pan libre de gluten logrando ampliar la oferta de estos productos, a la vez que se otorga un valor agregado a la fécula y genera mano de obra en agricultores (Milde y col., 2009).

Existen datos del consumo de alimentos libres de gluten en Estados Unidos e Inglaterra que revelan que sus ventas han ido incrementándose a lo largo de los años y se espera que continúen en aumento. Esto se debe al creciente diagnóstico de personas con celiaquía en las cuales el consumo de gluten causa una intolerancia alimentaria, siendo su único tratamiento la eliminación obligatoria del gluten en la dieta. También puede deberse a que actualmente existen personas no celíacas, pero con intolerancia o alergia al trigo, y otras que optan por eliminar el gluten de la dieta ya que consideran que su restricción trae beneficios a la salud y ayuda a la pérdida de peso entre otras ventajas (Witczak y col., 2016).

La tecnología de congelación es cada vez más usada para la conservación de masas para panificados; en la última década se incrementó la producción de masa congelada, impulsado principalmente por la ventaja económica que otorga en el proceso de fabricación y distribución, así como en la estandarización de la calidad del producto (Wang y col., 2015).

Considerando lo expuesto anteriormente, el propósito de este trabajo de tesis fue determinar la influencia del almacenamiento congelado de masas para panificados sin gluten elaborados con fécula de mandioca como materia prima principal, utilizando levadura deshidratada.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del tratamiento de levado en masas libres de gluten en almacenamiento congelado, sobre la calidad de sus panes.

1.3.2. Objetivos Específicos

❖ Analizar los parámetros físicos (volumen específico y porcentaje de pérdida de peso), de productos cocidos provenientes de masas congeladas máximo 28 días, levadas pre almacenamiento congelado.

❖ Analizar los parámetros texturales (firmeza y elasticidad), de productos cocidos provenientes de masas congeladas máximo 28 días levadas pre almacenamiento congelado.

❖ Analizar los parámetros físicos (volumen específico y porcentaje de pérdida de peso), de productos cocidos provenientes de masas congeladas máximo 28 días, levadas post almacenamiento congelado.

❖ Analizar los parámetros texturales (firmeza y elasticidad), de productos cocidos provenientes de masas congeladas máximo 28 días levadas post almacenamiento congelado.

❖ Realizar la evaluación sensorial con jueces experimentados de los panes provenientes de masas elaboradas con levadura deshidratada, congeladas máximo 28 días (t=0) con levado pre y post almacenamiento congelado.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Almacenamiento Congelado

2.1.1. Principios de la congelación de masas para panificados

La masa para panificados es una estructura compleja, y su congelamiento incluye principalmente el cambio de estado del agua de líquido a sólido; sin embargo, para entender el proceso de congelación en su conjunto, hay que tener en cuenta la composición y el comportamiento de los diversos componentes de la masa durante la congelación y el almacenamiento congelado.

Durante la congelación transcurren, básicamente, los siguientes procesos:

1. Transferencia de calor: cuando la masa de pan, a temperatura ambiente o ligeramente inferior, es colocada en una cámara fría, el calor se transfiere de la masa a la atmósfera ambiente que resulta en un descenso de la temperatura de la misma (Welty y col., 1984).

2. Transición de fase: en la masa la fase acuosa no es pura, es decir, que la temperatura en que esa transición se iniciará, no es igual a la temperatura de congelación del agua pura (Ribotta y Tadini, 2009). La formación de cristales de hielo incluye la formación de cristales (nucleación) y el aumento posterior del tamaño del cristal (crecimiento), el cual depende principalmente de la velocidad de congelación. Este proceso implica una serie de modificaciones fisicoquímicas que disminuyen la calidad de los alimentos (Kennedy, 2000).

3. Velocidad de congelamiento: la velocidad a la que se elimina el calor depende de factores directamente relacionados con el objeto a congelar (tamaño, área de superficie, propiedades térmicas) y factores que son característicos de la fuente de congelación, como la temperatura y coeficiente de transferencia de calor del medio de enfriamiento (Kennedy, 2000).

2.1.2. Métodos de congelación

En función a la fuente de refrigeración, los sistemas de congelación se pueden clasificar de dos maneras: mecánica (proceso lento) o criogénica (proceso rápido).

En general, la congelación de alimentos de manera rápida, mantiene la calidad del producto en comparación con la congelación de manera lenta (Kennedy, 2000).

En panificados, donde se utiliza levaduras, un enfriamiento rápido produce cristales de hielo pequeños que se forman dentro de las células y tienden a recrystalizar durante el almacenamiento congelado. Las investigaciones realizadas hasta el presente (Selomulyo y Zhou, 2007; Ban y col., 2016; Ayati y col., 2017), sugieren que el efecto letal en un enfriamiento rápido de las células de levadura es el crecimiento de los cristales intracelulares en lugar de la formación inicial de cristales grandes (proceso lento); según, Casey y Foy (1995) el daño ocurre porque la recrystalización produce suficiente fuerza para romper la membrana plasmática o las membranas de organelas como la mitocondria.

La congelación lenta permite tiempo suficiente para que el agua fluya fuera de las células para formar hielo extracelular, causando la deshidratación de las células de levadura (Nakamura y col., 2009).

Estudios recientes (Silvas García y col., 2016) han demostrado que una congelación lenta es más beneficiosa para la microestructura de la masa congelada que la congelación rápida, observado después del almacenamiento durante varias semanas.

2.1.3. Importancia del almacenamiento congelado

El almacenamiento congelado es uno de los métodos utilizados actualmente para la preservación de productos con el fin de extender su vida útil (Luo y col., 2018).

La congelación implica la eliminación de calor acompañado de un cambio de fase, convirtiendo el agua en hielo, hasta que el centro del producto alcanza los $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$; de esta manera, la actividad del agua del producto disminuye, deteniendo el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos, y retarda las reacciones bioquímicas y enzimáticas, las que continuarán de manera más lenta durante el almacenamiento congelado (Kennedy, 2000; Badui, 2006).

En masas para panificados también reduce los costos de producción, permitiendo la fabricación central de la misma, y facilitando la llegada a mercados más distantes, donde la masa se hornea y distribuye, obteniendo un producto de calidad constante; además, el volumen ocupado por la masa de pan congelado presenta un menor costo de transporte y almacenamiento que el pan pre-cocido, ya que el volumen de la masa es menor que el de los panes listos para el consumo (Ribotta y Tadini, 2009).

Dada la importancia del pan en la dieta occidental y su gran consumo para llegar a toda la población, la industria desarrolló distintas formulaciones de panes sin gluten (Nunes y col., 2009; Milde y col., 2009; Mahmoud y col., 2013; Ziobro y col., 2013) a fin de satisfacer las diferentes demandas (Witczak y col., 2016). Sin embargo, de acuerdo con estudios de Ribotta y Tadini (2009); Gallagher y col., (2004), estos productos presentan una disminución en su vida útil, ya que endurecen a mayor velocidad que los panes con gluten, debido a que están elaborados a base de almidón, que se refleja en una disminución en la calidad de los productos horneados.

Una alternativa para extender la vida útil de panificados libres de gluten es recurrir a la congelación de las masas, y de ésta manera poner a disposición pan fresco en comercios minoristas, después de la cocción, o un producto congelado que el consumidor puede hornear en su hogar cuando lo necesita (Mezaize y col., 2010).

Sin embargo, el proceso de congelación y el almacenamiento congelado causa daños físicos y químicos tanto a la masa como al pan horneado, independientemente de la materia prima utilizada, con o sin gluten. Tales daños

pueden deberse a diferentes factores: formulación de la masa; parámetros de procesamiento (Rouillé y col., 2000); tratamiento de levado (Le Bail y col., 2010), la velocidad de congelación (Havet y col., 2000); temperatura de almacenamiento y tiempo de almacenamiento (Le Bail y col., 1999; Phimolsiripol 2008; 2009); método de descongelación (Selomulyo y Zhou, 2007); y una disminución en la actividad de la levadura que se refleja en la pérdida de la capacidad de producir gas (Inoue y Bushuk 1992; Ribotta y col., 2003).

Estos daños son responsables de defectos en la calidad del pan (Giannou y Tzia, 2007), y serían más significativos en panes provenientes de masas libres de gluten almacenadas en congelación (Milde y col., 2014).

El mantenimiento de la viabilidad de las levaduras, es un factor determinante en la calidad de productos panificados y normalmente se recomienda una congelación lenta como forma de preservar la actividad de las mismas (Havet y col., 2000).

2.2. Alimentos libres de gluten

El gluten es un material mayormente proteico que se puede separar de la harina, cuando el almidón y otros componentes menores de la misma, se eliminan por lavado con agua (Gallagher y col., 2004); contiene 90 % de proteínas, 8 % de lípidos y 2 % de carbohidratos (Belitz, 2009). Está presente en algunos cereales como trigo, cebada y centeno. Años atrás, se pensaba que la avena también contenía gluten; actualmente algunos estudios aseveran que la presencia de gluten en la misma se origina a través de contaminaciones cruzadas por prácticas agrícolas inadecuadas (Hernando y col., 2008; Koerner y col., 2011). Según estudios aportados por La Vieille y col., (2016), la avena no contaminada puede ser ingerida por la mayoría de las personas intolerantes al gluten con un seguimiento médico.

El gluten está compuesto por dos proteínas de almacenamiento principales: gliadinas y gluteninas, las cuales forman durante el amasado, una red viscoelástica continua dentro de la masa. Es ampliamente utilizado en la

industria de panificados, debido a sus propiedades únicas, que permite obtener una masa viscoelástica y cohesiva capaz de retener el gas producido durante la fermentación, permitiendo obtener el volumen y textura deseados (Sciarini y col., 2016).

Por lo tanto, al usar ingredientes libres de gluten, los panificados son compactos y con una corteza ligera propensa al desmoronamiento (Gallagher y col., 2003).

Todos los alimentos elaborados sin gluten pueden ser consumidos por la población en general, pero son particularmente necesarios para aquellas personas que presenten enfermedad o intolerancia ante su presencia, como las personas que tienen celiaquía. Asimismo, se han identificado otras patologías producidas por la ingesta de gluten de trigo, las cuales son entidades independientes, identificadas como la alergia al trigo (AT) y la sensibilidad no celiaca al gluten (SNCG), como puede observarse en la Figura 1.

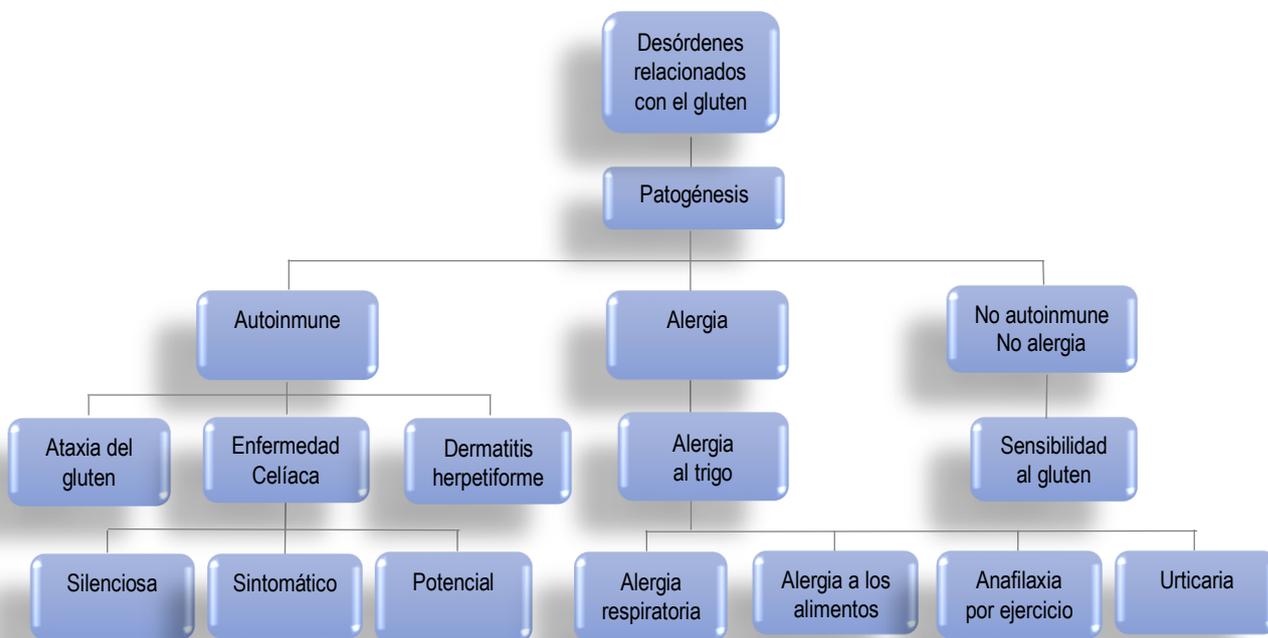


Figura 1. Nueva nomenclatura y clasificación propuesta de los trastornos relacionados con el gluten según la II Conferencia de Consenso sobre trastornos relacionados con el gluten celebrada en Londres en febrero de 2011. Fuente: Elaboración propia.

Además, según Tovoli y col. (2015) en los últimos años, ha surgido una corriente de alimentación libre de gluten. Estudios realizados sobre la población de Estados Unidos, estimaron que el 65 % de los consumidores compran este tipo de productos porque los consideran sanos: el 27 % para bajar de peso, el 11 % por razones de salud (inflamación, depresión), y un 20 % debido a otras razones (Witczak y col., 2016).

El Código Alimentario Argentino (CAA) define en su Artículo 1383 - (Res. Conj. SPReI N° 131/2011 y SAGyP N° 414/2011): *Se entiende por “alimento libre de gluten” el que está preparado únicamente con ingredientes que por su origen natural y por la aplicación de buenas prácticas de elaboración -que impidan la contaminación cruzada- no contiene prolaminas procedentes del trigo, de todas las especies de Triticum, como la escaña común (Triticumspelta L.), kamut (Triticumpolonicum L.), de trigo duro, centeno, cebada, avena ni de sus variedades cruzadas. El contenido de gluten no podrá superar el máximo de 10mg/kg. Para comprobar la condición de libre de gluten deberá utilizarse metodología analítica basada en la Norma Codex STAN 118-79 (adoptada en 1979, enmendada en 1983; revisada en 2008) enzimoimmunoensayo ELISA R5 Méndez y toda aquella que la Autoridad Sanitaria Nacional evalúe y acepte.*

2.3. Elaboración de panificados libres de gluten

Para la elaboración de panificados libres de gluten, se utiliza una mezcla de harinas diferentes del trigo y féculas, fibras e ingredientes lácteos, diferentes aditivos, para que todo el conjunto proporcione la funcionalidad necesaria a la masa, intentando sustituir las propiedades del gluten, y mejorar la calidad de los productos.

Estos ingredientes tienen una mayor capacidad de absorción de agua en relación a la harina de trigo, por lo que el contenido de agua de las masas libres de gluten es generalmente mayor (masas fluidas), implicando que las tecnologías empleadas para la obtención de panes libres de gluten sean distintas a las convencionales (Sciarini y col., 2016).

Según Witczak y col. (2016) solo las harinas que contienen almidón, como maíz, patata, mandioca, arroz entre otras, podrían utilizarse como reemplazo de la harina de trigo, siendo el almidón la principal materia prima que participa en los productos sin gluten, convirtiéndose en el principal ingrediente formador de estructuras.

Han surgido diferentes enfoques para superar las dificultades tecnológicas que impone la producción de productos sin gluten de buena calidad, y en este aspecto se recurre a ingredientes que tienen la capacidad de imitar sus propiedades, con la ayuda de aditivos (Storck y col., 2013). Numerosos autores investigaron panificados elaborados con harinas de cereales distintos del trigo (Gujral y col., 2003; Schober y col., 2005), con derivados lácteos, proteínas, hidrocoloides (Moore y col., 2004; Lazaridou y col., 2007; Cappa y col., 2013) para mejorar el volumen, la textura de la miga y la calidad global y la aceptabilidad.

Otros autores trabajaron en la formulación de panes libres de gluten utilizando la fécula de mandioca como principal materia prima, la cual proviene de otra fuente, no cereal (Milde y col., 2009; Milde y col., 2012).

2.4. Ingredientes para la elaboración de panificados libre de gluten del trabajo de tesis

Cada ingrediente tiene una funcionalidad diferente en los panificados sin gluten, y los mismos son:

2.4.1. Fécula de mandioca

La mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) es una planta originaria de América Tropical. Debido al alto contenido de hidrato de carbono de sus raíces, constituye la materia prima para la obtención de la fécula de mandioca (INTI, 2015). Según el país, se la denomina comúnmente como yuca, aipim, mandioca, guacamota, casabe o cassava.

La extracción de la fécula de mandioca es un proceso más simple y sencillo que la extracción de almidón de maíz, trigo u otros cereales; en la Figura 2 se pueden observar las etapas del proceso para su obtención.

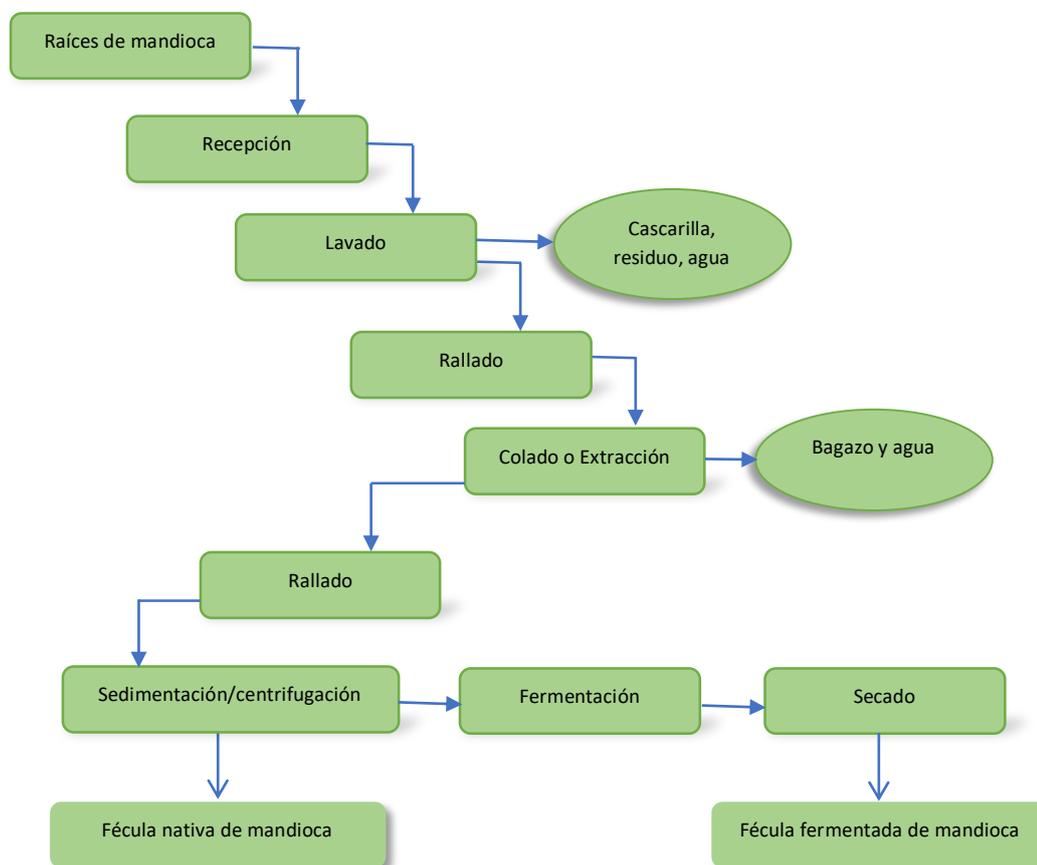


Figura 2. Proceso productivo de la fécula de mandioca. Fuente: INTI

La fécula de mandioca es la segunda fuente de almidón en el mundo después del maíz, pero por delante de la papa y el trigo. Se utiliza principalmente como almidón nativo, aunque también es modificado mediante diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades físico-químicas y de esta manera poder usarlo en diferentes aplicaciones industriales que requieren ciertas propiedades particulares (Aristizábal y col., 2007).

El almidón es un carbohidrato formado por dos polisacáridos, amilosa (lineal) y amilopectina (ramificada), cuya proporción varía en función al origen botánico del almidón (Badui, 2006).

Según un informe del Ministerio del Agro y Producción de la Provincia de Misiones (Cluster de la Mandioca Misionera, 2017), la superficie cultivada de mandioca en la Argentina es de 80.000 hectáreas, donde la mitad de la superficie se localiza en Misiones siendo la principal productora. La producción anual de raíces de mandioca es de alrededor de 180.000/200.000 toneladas, de las cuales una parte se destina al mercado interno para consumirla fresca y la otra a la actividad industrial fundamentalmente para la obtención de fécula /almidón. La producción anual de fécula es alrededor de 12.500 toneladas.

Sus características fisicoquímicas principales son: alta viscosidad, formación de geles claros y estables con tendencia a retrogradarse, buena estabilidad en soluciones, particularmente en condiciones estresantes como medios ácidos y bajas temperaturas durante el almacenamiento; alta capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación, alto poder de expansión cuando está fermentada, sabor limpio y suave que no enmascara otros sabores.

Estas características le otorgan propiedades como aglutinante, gelificante, absorbente y agente ligante de agua; a pesar de ello, es un producto subutilizado en la elaboración de panificados, pastas y alimentos en general (INTI, 2015).

Al no tener gluten en su composición también se la utiliza como sustituto de la harina de trigo, mezclada en bajas proporciones con otras harinas, de arroz y maíz, para productos panificados sin gluten (Sánchez y col., 2002; Onyango y col., 2011).

La utilización de fécula de mandioca en la elaboración de panes sin gluten representa una identidad territorial y cultural, además de fortalecer la generación de nuevas investigaciones, técnicas y análisis, como el desarrollo de productos que aportan mayor valor agregado.

2.4.2. Harina de Maíz

La fécula de maíz es la principal fuente de almidón; mundialmente se producen alrededor de 11.000 Toneladas de Almidón de Maíz al año (INTI, 2015).

En el año 2011 fueron industrializadas 4.125.244 toneladas de maíz. El 64 % se empleó para la elaboración de balanceado, el 30,4 % ingresó al proceso de molienda húmeda y el 5,5 % restante se sometió a las operaciones que comprende la molienda seca (Lezcano, 2012).

Uno de los productos obtenidos de la molienda seca es la harina fina de maíz que se genera al realizar la molienda de los trozos pelados y desgerminados para la obtención de sémolas. Se trata de harinas de baja granulometría, con un contenido de grasa superior a las sémolas.

Se las utiliza comúnmente en mezclas con harina de trigo y para elaborar panes de maíz, así como en la fabricación de galletitas y de pastas secas.

Al no tener gluten en su composición, se puede utilizar junto a otras harinas aptas para elaborar alimentos destinados a personas con intolerancia a su presencia.

Las harinas y féculas aportan básicamente el almidón para formar la estructura.

2.4.3. Harina de Soja

La soja es una fuente rica de proteínas, fibra, minerales y compuestos saludables para el corazón (Fukushima, 2000; Anderson y col., 2000). Las proteínas de soja se clasifican en globulinas (90 %) y albúminas (10 %).

La harina de soja está disponible comercialmente, es una de las principales harinas que se utilizan en la panificación como suplementarias, o en

combinación con otras harinas en la panificación de productos libres de gluten (Ziobro y col., 2013). Algunas de sus funciones son:

- ❖ Aumenta el contenido de proteínas y las propiedades estructurales de los productos sin gluten (Ngemakwe y col, 2015).
- ❖ Mejora el volumen y la miga del pan sin gluten (Sanchez y col., 2002).
- ❖ Aporta proteínas de buena calidad biológica (Pascualone y Caponio, 2010).
- ❖ Retrasa el envejecimiento del pan (Lodi y Vodovotz, 2008).

2.4.4. Huevo

Las proteínas y lipoproteínas de huevo completo, poseen diversas propiedades funcionales en la panificación:

- ❖ Son capaces de formar películas fuertes, cohesivas y viscoelásticas, para la formación de una espuma estable (Moore y col., 2007).
- ❖ La albumina del huevo aumenta las propiedades emulsionantes (Marcoa y Rosell, 2008).
- ❖ Estabilización de burbujas de gas en las masas sin gluten (Houben y col., 2012).
- ❖ Incrementa el volumen del pan y la cantidad de poros por centímetro cuadrado (Moore y col., 2006).
- ❖ En la cocción se produce la coagulación, que es la desnaturalización térmica y agregación de las proteínas del huevo, y forman agregados proteicos que pueden participar en la formación de una estructura proteica similar al gluten (Ngemakwe y col, 2015).
- ❖ Actúan como agente espumante y estabilizador de la miga de panes sin gluten (Ngemakwe y col, 2015).

2.4.5. Materia grasa

Las grasas son los ingredientes que con más frecuencia se emplean en pastelería y en la elaboración de productos de horneado. Las funciones en la panificación son (Houben y col., 2012; Ngemakwe y col., 2015):

- ❖ Estabilizan las burbujas de gas en la masa de pan. Durante el amasado, los cristales de grasa absorben burbujas de gas dentro de la masa, y en la cocción, se derriten y liberan las burbujas de gas.
- ❖ Otorga a la miga una estructura fina y homogénea y aumenta el volumen del pan y la retención de la frescura.

2.4.6. Sal

Es indispensable en la masa de pan, siendo sus funciones las siguientes (Ngemakwe y col., 2015):

- ❖ Disminuye la absorción de agua.
- ❖ Disminuye la hinchazón de las proteínas de la harina
- ❖ Reduce la extensibilidad de la masa
- ❖ Mejora la retención de gases, la miga del pan y las propiedades de rebanado.

2.4.7. Agua

Es uno de los ingredientes fundamentales en la elaboración del pan, su calidad tiene una influencia notable en la tecnología de la panificación y en los productos de ella obtenidos; debe ser neutra o sea aquella que usualmente utilizamos para beber. Funciones en panificación (Wang y col., 2004; Gallagher y col., 2003; Ngemakwe y col., 2015; Schoenlechner y col., 2010):

- ❖ Formación de la masa: hidrata proteínas y carbohidratos para el desarrollo de la masa y por lo tanto actúa como un dispersante y disolvente de los ingredientes solubles.
- ❖ Aporta la humedad necesaria para mantener la frescura del pan; el contenido de humedad regula el volumen del pan y la textura de la miga y la corteza.

- ❖ Disuelve ciertos ingredientes para el desarrollo de la levadura y para su acción en la fase de cocción.

- ❖ Su distribución influye en la textura de la masa y del pan. La adición de agua reduce la viscosidad y aumenta la extensibilidad de la masa y mejora la suavidad de la miga del pan. Si la cantidad de agua agregada es baja la masa se vuelve quebradiza.

2.4.8. Levadura

La levadura se refiere a una variedad de hongos de una sola célula que puede fermentar el azúcar y es ampliamente distribuida en la naturaleza; crece principalmente en ambientes ácidos, húmedos, y que contienen azúcar y puede sobrevivir tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. La temperatura de crecimiento es entre 20 °C y 30 °C, mientras que su viabilidad se inhibirá en gran medida si la temperatura es inferior a 0 °C o superior a 40 °C (Luo y col., 2018).

En el Artículo 1255 del CAA del Capítulo XVI *Correctivos y Coadyuvantes*: se define “*Con la designación de levadura, se entiende el producto constituido a base de hongos microscópicos (Sacaromicetas). Pueden tener diferentes orígenes: obtenerse de la fabricación de cerveza, vino, sidra, etc., u obtenerse especialmente en establecimientos destinados a ese fin, donde se cultiva en mostos especiales. Puede presentarse en varias formas: prensada, seca, para panificación, etc.*”.

Ji y col., (2016) estudiaron la existencia de una nueva cepa de levadura de panadería con fuerte tolerancia a la congelación (*Saccharomyces cerevisiae* AFY), pero normalmente se utiliza la *Saccharomyces cerevisiae* y hay tres tipos disponibles para usar en la producción de masas: levadura fresca, levadura seca y levadura líquida a granel.

- ✓ Levadura fresca o prensada: contiene un 70 % de humedad y un 30 % de sólidos. El Artículo 1256 del CAA, admite hasta un 75 %. Su vida útil es de dos semanas y debe almacenarse refrigerada.

- ✓ Levadura seca: contiene aproximadamente 10% de humedad y 90 % de sólidos. Es la misma levadura fresca que se ha deshidratado. Tiene una vida útil de 6 meses y no es imprescindible refrigerarla. Requiere hidratación para su uso. Esta forma de presentación brinda al consumidor la posibilidad de almacenar el producto por un período prolongado y sin necesidad de mantenerlo refrigerado.
- ✓ Levadura líquida: es una forma de presentación a pedido de las panificadoras industriales.

Las principales empresas productoras de levadura en Argentina son: S.A.F. Argentina S.A. (SAF) y Compañía Argentina de Levaduras S.A. (CALSA) (Lezcano, 2013).

Las funciones de la levadura utilizadas en panadería son (Zobel y Kulp, 1996; Williams y Pullen, 1998; Gray y Bemiller, 2003; Gallagher y col., 2004; Lemmer, 2010):

- ❖ Fermenta la masa de pan con el fin de producir CO_2 , se alimenta de los azúcares de la masa, y los utiliza para producir la energía necesaria para mantenerse viva, provocando el proceso de fermentación, transformando los azúcares en etanol y CO_2 .
- ❖ Contribuye al sabor característico del pan.
- ❖ Influye en la textura del pan que otorga características organolépticas propias de la masa fermentada.

2.5. Almacenamiento congelado de masas. Efecto en las levaduras y en el almidón

La calidad de la masa congelada depende de la capacidad de producción de CO_2 de la levadura y la capacidad de retención del CO_2 después de la fermentación. La disminución de la viabilidad de la levadura y la destrucción de la estructura de la red de masa se consideran dos factores principales que conducen al deterioro de la calidad de la masa, mientras que ambos son causados por cristales de hielo (Luo y col., 2018).

Muchos autores informaron que la viabilidad de la levadura es uno de los factores clave que influye en la calidad de la masa congelada (Akbarian y col., 2015; Meziani y col., 2012); según Luo y col., (2018) la viabilidad de la levadura en masa congelada está directamente relacionada con un mejor volumen, firmeza y porosidad del pan, ya que su reducción puede resultar en una disminución en la producción de CO₂ y su retención en la masa.

Hino y col., (1987), trabajaron con levaduras tolerantes a la congelación y concluyeron que tenían diferentes características en cuanto a la habilidad fermentativa si eran levadas antes o después de la congelación. Según estos autores la fermentación de la masa antes de la congelación desempeña el papel más importante en la estabilidad de la masa.

Según Ribotta y col., (2003), en masas levadas antes de la congelación y posteriormente almacenadas congeladas, la actividad de la levadura se inhibe y muchas mueren. A la misma conclusión llegaron Luo y col., (2018).

Además, la congelación de la levadura que forma parte de una masa, es probablemente más dañina comparada con la congelación directa de la levadura, porque al formar parte de la masa, la misma está sujeta a una alta presión osmótica y se encuentra en un estado de fermentación activa (Tsolmonbaatar y col., 2016).

Para comprender los efectos del almacenamiento congelado sobre los sistemas biológicos, Ribotta y Tadini (2009) observaron que entre temperaturas de -10 °C y -15 °C, el interior de la célula permanece sin congelar, mientras que en el medio externo el hielo está presente. Esto produce una diferencia de presión de vapor entre el agua sub-enfriada dentro de la célula de levadura y el hielo que rodea a la membrana, provocando que la célula pierda agua a través de su membrana. La cantidad de agua que se libera del interior de la célula por deshidratación depende del tiempo en que la misma se mantenga entre -1 °C y -15 °C (período que dura el equilibrio mencionado). Cuando la temperatura es reducida por debajo de -15 °C, puede comenzar la formación de cristales de hielo

dentro del citoplasma; según Acker y McGann (2003), la formación intracelular de cristales de hielo, podrían perforar la membrana celular y conducir a la muerte de la levadura.

Además, Ribotta y Tadini (2009), observaron que la célula está expuesta a una segunda clase de eventos físico-químicos. A medida que la temperatura disminuye, se reduce la cantidad de agua de la célula, los solutos extra e intracelulares se concentran, ocurren cambios de pH, provocando la precipitación de solutos. Cuanto mayor es la etapa de enfriamiento, mayor es el tiempo de exposición de la célula a estos efectos denominados “efectos de solución”. Si la velocidad de congelamiento es rápida, el responsable del daño celular es la congelación intracelular, en cambio cuando es lenta, se debe a los efectos de solución. La velocidad de enfriamiento óptima, debería ser, lo suficientemente baja para prevenir la formación de hielo intracelular, pero lo suficientemente alta para minimizar el tiempo de exposición de la célula a los efectos de solución.

Normalmente, la temperatura de almacenamiento adecuada para la masa congelada es entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kenny y col., 1999; Leray y col., 2010); comercialmente, según Ribotta y Tadini (2009) se acostumbra almacenar a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Con respecto al almidón, Berglund y col., (1991), concluyeron que el mismo se ve afectado por la formación de cristales de hielo, cuando estudiaron panes elaborados con harina de trigo.

Ante la ausencia de la red de gluten, el almidón se convierte en el principal formador de estructura de la masa, que deberá retener los gases producidos durante la fermentación de la levadura (Witczak y col., 2016).

El almidón puede absorber más agua cuando está dañado, redistribuyéndose en la masa, lo que resulta en un aumento de peso y disminución del volumen específico del pan (Sharadanant y Khan, 2003).

2.6. Determinación de la calidad de productos horneados

La calidad de los alimentos es el conjunto de cualidades que determinan la aceptabilidad de los mismos.

Hay un acuerdo general de que la calidad tiene una dimensión objetiva y subjetiva; la calidad objetiva se refiere a las características físicas del producto incorporadas en el producto y la calidad subjetiva es la calidad percibida por los consumidores (Grunert, 2005).

El proceso de congelación causa daños sobre la calidad del pan horneado, tales como: disminución en el volumen específico, aumento en la dureza de la miga y descamación de la corteza (Giannou y col., 2007); según Vulicevic y col., (2004), también causa deterioro en el sabor del producto final.

Frecuentemente en panes se estudian las características externas como: volumen, apariencia, color y formación de la corteza; y características internas como: distribución, tamaño y número de alveolos de la miga, color de la miga y textura.

Tecnológicamente, para evaluar las características del producto final (panificado cocido), se realizan pruebas cuantitativas, como volumen específico, absorción de agua o porcentaje de pérdida de peso; distintos parámetros de textura de los panes, como firmeza y elasticidad de la miga (Badui, 2006); y pruebas cualitativas o sensoriales (Schamne y col., 2010).

El volumen específico o razón entre el volumen y la masa, es un parámetro de calidad que indica si la fermentación de la masa fue excesiva –que provoca un volumen específico muy grande–, o si se suscitan problemas en la formación del gluten o en la fermentación –traducido en un volumen específico bajo (Ribotta y Tadini, 2009).

El porcentaje de pérdida de peso determina el porcentaje de agua que se elimina por calentamiento bajo condiciones normalizadas. Existen varias razones

por las cuales se realiza esta determinación, siendo una de ellas el impacto negativo sobre la textura del alimento (Pearson, 1976).

La textura es uno de los atributos clave utilizada para evaluar la calidad y aceptabilidad de un alimento, ya que representa las principales características para el consumidor y son la manifestación de sus propiedades reológicas y estructura física (Buchar y col., 2003). Su medición es una de las técnicas y procedimientos más comunes en la investigación alimentaria; se utilizan instrumentos de medición de textura, llamados analizadores de textura o texturómetros, que proporcionan datos de series de tiempo de la deformación del producto, lo que permite calcular una amplia gama de atributos de textura partir de datos fuerza-tiempo o fuerza-desplazamiento. Un método de uso común en la industria alimentaria, de índole empírico, con el cual se puede determinar el grado de dureza o firmeza de un producto, es por medio del Análisis de Perfil de Textura (TPA- "*Texture Profile Analysis*") en el cual el producto es sometido a una doble compresión con el objetivo de simular el proceso de masticación humana (Chen y Opara, 2013). Es un procedimiento instrumental para medir, cuantificar y desarrollar nuevos parámetros relacionados con la textura, aunque la magnitud de estos parámetros será influenciada por las variables introducidas en las mediciones como la tasa de deformación. Además, para que ellas puedan proveer información objetiva y que se pueda comparar es necesario ejecutar las mediciones bajo condiciones estandarizadas (Peleg, 1976).

Esta técnica (TPA), ha sido usada con la ayuda de paneles sensoriales para establecer escalas de aceptación del producto (Zúñiga y col., 2007).

El análisis sensorial es un auxiliar de suma importancia para el control de la calidad de los alimentos ya que permite la formación de una idea global del producto de forma rápida, informando llegado el caso, de un aspecto de importancia capital: su grado de aceptación o rechazo. Las pruebas sensoriales se clasifican en función a los objetivos que se buscan, en afectivas y analíticas. Las primeras se dirigen hacia los consumidores, e intentan evaluar la aceptación o preferencia de un determinado producto y requiere la participación de un

número elevado de consumidores (más de 100); se utiliza, especialmente durante el desarrollo de nuevos productos o formulaciones. Las pruebas analíticas necesitan catadores adiestrados/entrenados o experimentados en dar respuesta acerca de la calidad sensorial del producto sin tener en cuenta sus gustos o preferencias personales, siendo la más adecuada para la evaluación de la calidad de los alimentos (Torricella Morales y col., 2007).

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1. Ingredientes para la elaboración de los panificados:

Todos los materiales utilizados fueron de origen nacional, libres de gluten.

- ❖ Fécula de mandioca (Montecarlo, Misiones).
- ❖ Harina de Maíz (Indelma[®], Santa Fé).
- ❖ Levadura deshidratada (Calsa[®], Buenos Aires).
- ❖ Sal refinada (Celusal[®], Tucumán).
- ❖ Azúcar granulada (Ledesma[®], Jujuy).
- ❖ Harina de soja (Instituto[®], Misiones).
- ❖ Huevo entero.
- ❖ Grasa vegetal (Margadán[®], Buenos Aires).

3.1.2. Equipos e Instrumentos

- ❖ Balanza (Soehnle[®], Alemania), multifunción, máxima 2000g +/- 2g, para pesar los ingredientes de la mezcla sólida.
- ❖ Balanza digital (ATMA[®], BC7200, China).
- ❖ Cocina domiciliaria año 2006, (Whirlpool[®], Brasil).
- ❖ Multiprocesador año 2005 (Philips[®], Brasil) utilizado como mezclador.
- ❖ Analizador de textura (modelo TA.TX2i.plus, Stable Micro System, Inglaterra).
- ❖ Moldes rectangulares (aluminio) de 22 x 6 x 9 cm.
- ❖ Probeta.
- ❖ Recipiente rectangular de vidrio (24 x 10 x 8) cm.
- ❖ Freezer horizontal marca Gafa[®] modelo 500 para uso doméstico. (Temperatura de congelamiento -20 °C).
- ❖ Heladera Turbo-fresh, Marca Patrick[®] 360.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Descripción de la Metodología de trabajo

Para la elaboración de los panes se procedió de forma artesanal según las técnicas de manufactura de pan optimizados en estudios realizados por Milde y col., 2012. Los ingredientes, cuyo porcentaje se expresa como g /100 g de la mezcla fécula de mandioca-harina de maíz en proporción 4:1, fueron 5 % de levadura deshidratada; 5 % de azúcar, 10 % de harina de soja; 1,4 % de sal, un huevo entero mediano, 10 % de materia grasa y 58 % de agua tibia, que se procesaron hasta obtener una masa homogénea en una multiprocesadora de uso doméstico unos minutos. Luego se procedió al amasado manual durante el tiempo ya optimizado en 10 min y se colocó en moldes previamente enmantecados, según puede observarse en la Figura 3, donde se indica el procedimiento llevado a cabo según el momento de levado.

Los moldes con masa se envolvieron en papel film debidamente rotulados para su correcta identificación con la codificación que se presenta en la Tabla 1, y se almacenaron en freezer a -20 °C a un tiempo máximo de 28 días.

Finalizado el tiempo de almacenamiento congelado correspondiente, se realizó el descongelamiento lento de cada masa colocando el molde 10 horas en heladera a 4 °C y 6 horas sobre mesada a temperatura ambiente.

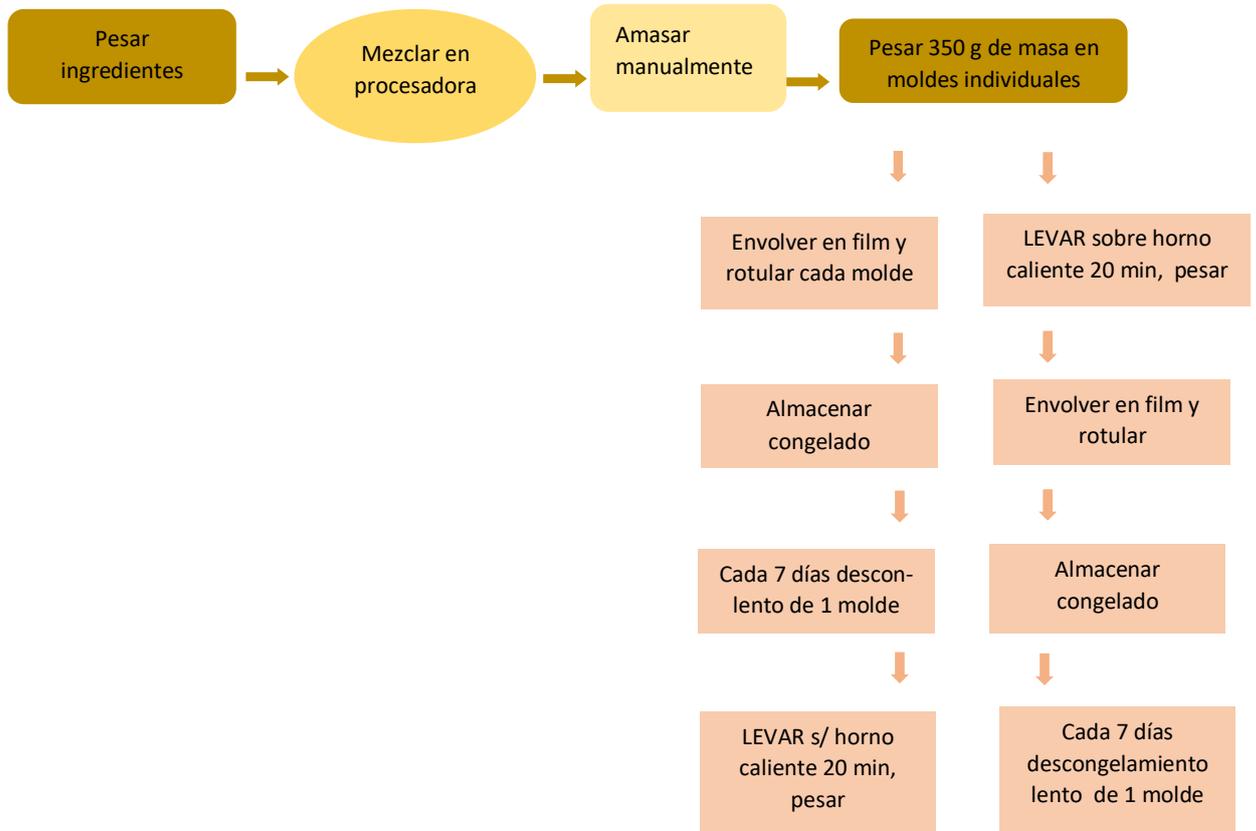


Figura 3. Diagrama de Flujo del tratamiento de masas almacenadas congeladas. Fuente: Elaboración propia.

Como último paso, se continuó con la cocción en horno caliente a 240 °C por 30 minutos, con una fuente con agua caliente al fondo para mantener húmedo el ambiente, metodología ya optimizada en trabajo anterior citado.

Se procedió a la elaboración y cocción de una masa en el día (0), que se utilizó como pan control (fresco). Se dejaron enfriar los panes 1 hora para proceder a la determinación de los parámetros físicos y texturales.

Como diseño experimental se recurrió a analizar el efecto de dos factores: tiempo de almacenamiento congelado (7, 14, 21 y 28 días) y tratamiento de levado previo al almacenamiento congelado: PRE y levado posterior al almacenamiento congelado: POST, sobre el producto final cocido, panes. El estudio se dividió en dos bloques respecto al tratamiento de levado, congelando

las masas durante 28 días en su totalidad, según se presentó en el Diagrama de Flujo Figura 3. Se realizaron las experiencias por triplicado.

En la Tabla 1 se indica la codificación de las diferentes masas, según la combinación de los dos factores de estudio, que se utilizó para el almacenamiento congelado.

Tabla 1. Diseño experimental de los tratamientos: levado pre y post almacenamiento congelado a diferentes días (7, 14, 21 y 28).

Códigos de panes*	Tratamiento de levado		Tiempo de almacenamiento congelado (días)			
	PRE	POST	7	14	21	28
1.7	X		X			
1.14	X			X		
1.21	X				X	
1.28	X					X
2.7		X	X			
2.14		X		X		
2.21		X			X	
2.28		X				X

* Código de panes elaborados con masa almacenadas congeladas.

3.2.2. Determinación de la calidad de los panificados

Se evaluaron las respuestas sobre el producto final cocido cada 7 días a través de la medición de parámetros físicos (volumen específico, porcentaje de pérdida de peso), y parámetros de textura (firmeza, elasticidad). Los panes provenientes de masas almacenadas congeladas, se analizaron a los 7, 14, 21 y 28 días. Se compararon los resultados con un control que fue pan elaborado en el día (0).

3.2.2.1. Parámetros físicos

El volumen específico (V_e) del pan representa la relación entre el volumen y el peso del pan una vez enfriado; se expresa en cm^3/g . El volumen específico de los panes se midió por el método de desplazamiento de semillas de sésamo, empleando una modificación del método 10-05 de la AACC (2000). Consistió en determinar el volumen del pan por medio del desplazamiento de semillas de sésamo en un recipiente rectangular de vidrio de (24 x 10 x 8) cm que se mandó a fabricar. El método fue el siguiente: en el recipiente vacío se introdujeron las semillas y se marcó una altura un poco mayor del molde utilizado para la cocción de los panes; se colocó esa cantidad de semillas en una probeta graduada para medir el volumen utilizado. Posteriormente se introdujo la unidad de pan en el recipiente, se agregaron nuevamente las semillas hasta alcanzar la marca y se leyó el volumen de las semillas de sésamo desplazadas por el espacio ocupado por el pan, que quedó en la probeta según se observa en la Figura 4. El volumen específico del pan se calculó como el cociente entre el volumen del pan y su peso obtenido con la balanza digital.

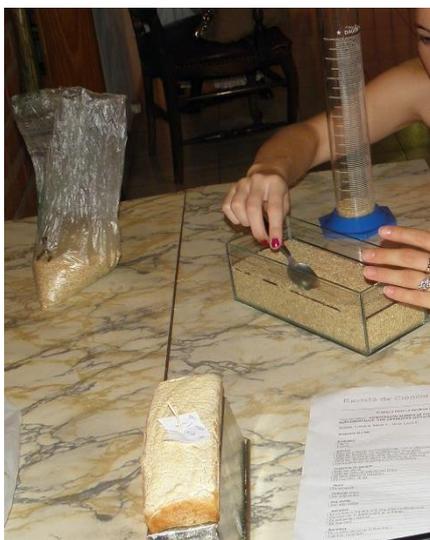


Figura 4. Representación del método de desplazamiento de semillas de sésamo.

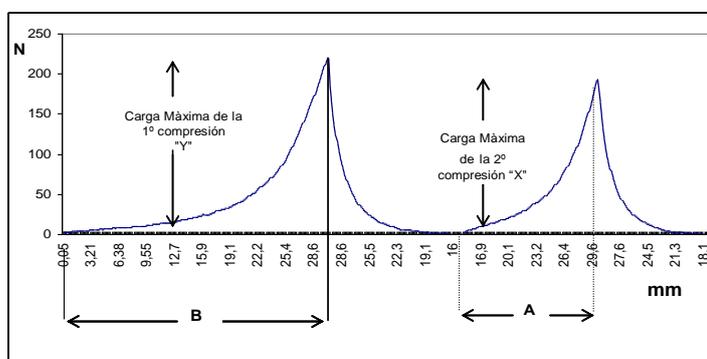
El porcentaje de pérdida de peso (% PP) se determinó mediante la siguiente fórmula (Da Mota y Zanella y col., 2005):

$$\%PP = \frac{[(\text{Peso antes de hornear}) - (\text{Peso después de hornear})]}{(\text{Peso antes de hornear})} \times 100$$

3.2.2.2. Parámetros de textura

Se utilizó el analizador de textura (modelo TA.TX2i.plus, Stable Micro System, Inglaterra), provisto de una plataforma de aluminio (sobre la cual se colocó la muestra), y un plato de compresión de 75 mm. La velocidad del test fue de 5 mm/s, mientras que la velocidad pre-test fue de 1 mm/s. Las muestras a evaluar se cortaron en medidas iguales de 6 x 6 cm, y se sometieron a tratamientos de doble compresión (TPA), llevando la masa hasta un 50 % de la altura del producto inicial. Los parámetros de textura: firmeza f (N) y elasticidad e (%), se calcularon a partir de un gráfico de fuerza (N) por distancia (mm) obtenido del software del analizador de textura, Texture Exponent versión 1.22 (Stable MicroSystems).

Generalmente, para realizar un perfil de textura (TPA), se comprime la muestra dos veces hasta la misma distancia; lo que se obtiene es una evolución de la fuerza. A partir de este perfil se pueden calcular diversos parámetros que caracterizan la textura de un alimento, como la firmeza y la elasticidad según se indica en la Figura 5. La compresión se lleva a cabo dos veces porque se quiere realizar un ensayo que represente la masticación y se obtiene información que no se obtendría en una primera compresión (Zúñiga Hernández y col., 2007).



Firmeza = Carga máxima en la primera compresión = "**Y**" (N)

Elasticidad = longitud de la segunda máxima compresión/longitud de la primera máxima compresión x 100 = $(A/B) \times 100$

Figura 5. Parámetros mecánicos en gráfico de doble compresión N: Newton; mm: milímetros

3.2.2.3. Análisis sensorial

Se realizó el análisis sensorial de cada tratamiento, PRE y POST, uno por mes, por duplicado.

Para evaluar sensorialmente cada tratamiento, se elaboró la cantidad de masa suficiente para la evaluación correspondiente a cada día.

Se almacenaron masas en moldes durante 28 días. A los 7 días se repitió el procedimiento que correspondió al día 21, y así sucesivamente hasta el día 7. A la semana se procedió al descongelamiento lento de todos los moldes, y cocción; además se elaboró un pan control (0), como se observa en la Figura 6:

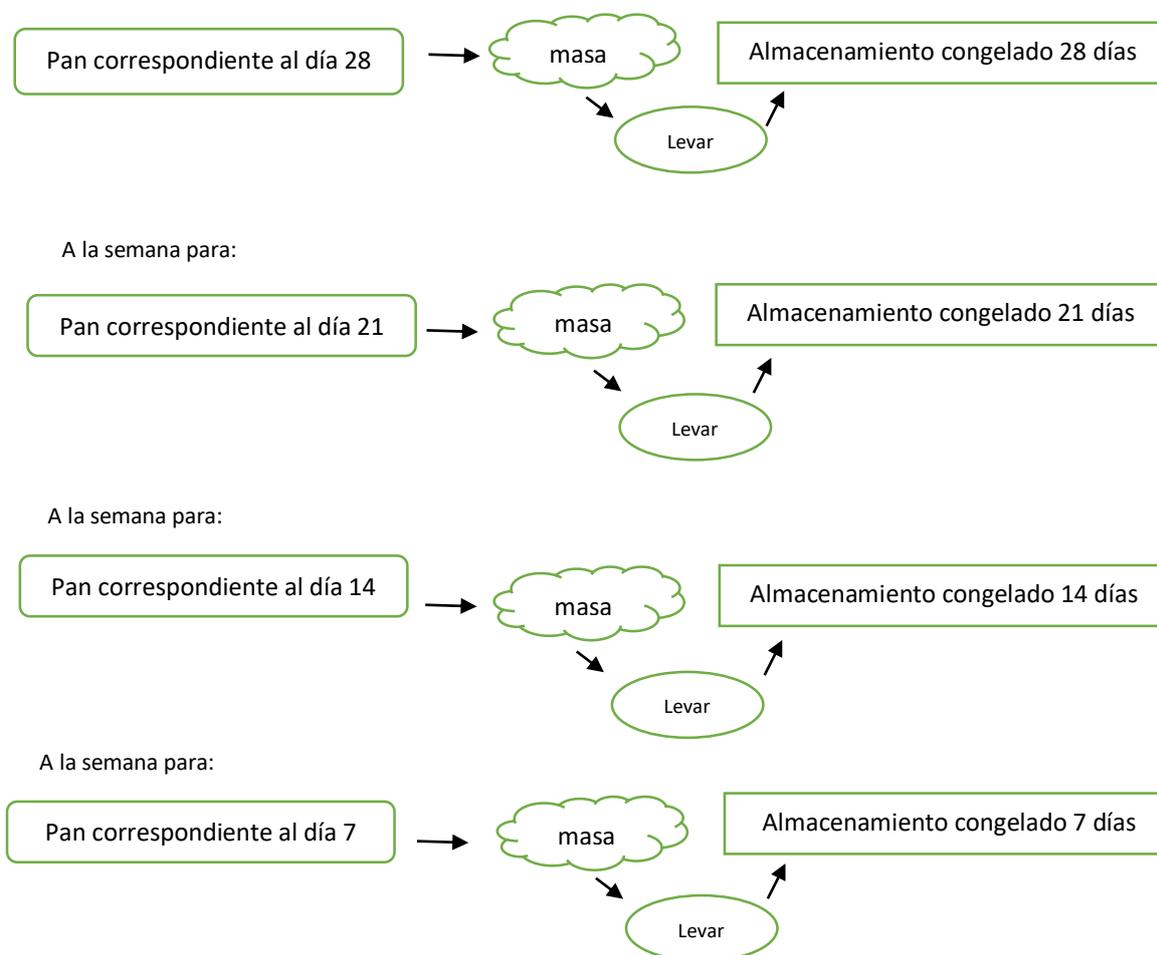


Figura 6. Procedimiento del almacenamiento congelado de las masas cuyo panes se utilizarán en la evaluación sensorial, para tratamiento PRE.

A la semana:

Se procedió al descongelamiento lento de todas las masas y cocción; se elaboró panes frescos (control).

Para el tratamiento POST se realizó el mismo procedimiento, levando las masas después del descongelamiento lento.

Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente, como usualmente se consume el pan, antes del análisis sensorial. Los ensayos se llevaron a cabo entre las 9 y 12 horas por considerarse convenientemente alejadas de las comidas principales. Antes de realizar la catación se advirtió a los panelistas que debían evitar el cigarrillo, la ingesta de alimentos, café, mate y/o cualquier otro factor que perjudique su habilidad de degustador, dos horas previas al catado.

Se recurrió a pruebas analíticas descriptivas y los atributos evaluados fueron: *apariencia de la miga* en dos niveles: “compacto” y “esponjoso”; *dureza* en tres niveles: “duro, firme y blando”; *masticabilidad* en tres categorías: “alta”, “regular” y “baja”; y *sabor* mediante escala hedónica de 5 puntos: 1: “me gusta mucho”, 2: “me gusta”, 3: “no me gusta ni me desagrada”, 4: “me desagrada”, 5: “me desagrada mucho” (Anzaldúa Morales, 1994; Guerrero, 1996; Meilgaard y col., 1999).

La experiencia se realizó con 15 jueces o catadores experimentados, con más de 10 años de participación en gran número de pruebas analíticas de los diferentes proyectos realizados por este grupo de investigación que conocen el producto y los métodos de evaluación. Se utilizó el laboratorio 204 del Módulo de Bioquímica y Farmacia de la FCEQyN, limpio y luminoso, sin olores, dispuesto para la prueba, con la utilización de paneles para separar a los jueces. Se presentó a cada juez una rebanada de pan proveniente de cada día de almacenamiento y una del control, pero de manera aleatoria, codificados como puede observarse en la Figura 7, con un vaso con agua a temperatura ambiente para enjuagarse la boca entre muestras y un recipiente para descartar bocado y

una planilla donde responder sobre los siguientes ítems *apariciencia de la miga*, *dureza*, *masticabilidad* y *sabor*, que se presenta en el ANEXO. La evaluación sensorial para cada tratamiento, PRE y POST, se llevó a cabo en diferentes meses.

Los jueces fueron instruidos según Tabla 2 para (1) evaluar visualmente la *apariciencia* de la miga para el aspecto general, y (2) morder un trozo de rebanada de pan y masticar el producto para evaluar la *dureza*, *masticabilidad* y *sabor*.

Tabla 2. Atributos sensoriales y definiciones explicadas para el test analítico descriptivo de panes provenientes de masas almacenadas congeladas y el control.

Atributos	Definición*
DUREZA	Resistencia del pan a la compresión por los dientes, se mide colocándolos entre los molares y presionando levemente hasta comprimirlos totalmente.
MASTICABILIDAD	Energía necesaria para la masticación de un producto. Se puede cuantificarla por el número de movimientos necesarios para que el pan colocado entre los molares se encuentre listo para deglutir.

*Definiciones adaptadas de Torricella Morales y col., (2007).



Figura 7. Preparación y evaluación sensorial de panes, frescos y provenientes de masas almacenadas congeladas.

3.2.2.4. Análisis estadístico

Las respuestas de los tratamientos se evaluaron en los productos panificados cocidos a través de la medición de parámetros físicos y texturales, que fueron expresados como valores medios y desvíos estándares de las repeticiones realizadas. Se comprobó a través de análisis de varianza (ANOVA) simple por medio del software “Statgraphics Centurión XV (2009)” si existían diferencias significativas entre las muestras evaluadas, con un nivel de confianza del 95 %, mediante test de Fisher.

Los resultados del análisis sensorial se procesaron en una planilla de cálculo del software Excel, donde los atributos se agruparon en dos categorías, aceptable y no aceptable. Como aceptable, para el atributo *apariciencia* se consideró “esponjoso”, para *dureza* “firme y blando”, para *masticabilidad* “baja y regular”. Para *sabor* los resultados fueron evaluados asignando puntajes a cada escala, (5: “me gusta mucho” decreciendo hasta 1: “me desagradaba mucho”), a través de ANOVA multifactorial para verificar si existían diferencias significativas entre las muestras evaluadas, con un nivel de confianza del 95 % mediante test de Fisher.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Parámetros Físicos

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los parámetros físicos: volumen específico (V_e) y porcentaje de pérdida de peso (% PP), obtenidos de los panes provenientes de masas elaboradas con levadura deshidratada, tratamiento PRE y POST, descongeladas a diferentes tiempos (7, 14, 21 y 28 días), y el pan control (0). Se observan los valores promedios con sus desvíos estándares (DS).

Tabla 3. Valores promedios con sus desvíos estándares de los parámetros físicos (volumen específico y porcentaje de pérdida de peso) de panes provenientes de masas con tratamiento levado pre y post almacenamiento congelado; tiempos: 0, 7,14, 21 y 28 días.

PARAMETROS FÍSICOS.	TRATAMIENTO DE LEVADO.		TIEMPO DIAS
	PRE almacenamiento Congelado	POST Almacenamiento Congelado	
VOLUMEN ESPECÍFICO (Ve) cm ³ / g	1,62 ± 0,02 ^a	1,62 ± 0,02 ^a	0
	1,55 ± 0,04 ^a	1,38 ± 0,01 ^b	7
	1,15 ± 0,09 ^c	1,22 ± 0,01 ^c	14
	1,18 ± 0,03 ^c	0,98 ± 0,03 ^d	21
	1,23 ± 0,05 ^c	0,91 ± 0,02 ^d	28
PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO (% PP)	9,74 ± 0,73 ^a	8,76 ± 0,73 ^a	0
	9,45 ± 0,00 ^a	7,45 ± 0,25 ^b	7
	9,19 ± 0,10 ^a	6,00 ± 0,10 ^{bc}	14
	9,28 ± 0,75 ^a	5,10 ± 0,30 ^c	21
	9,32 ± 0,00 ^a	5,10 ± 0,00 ^c	28

*Diferentes letras en la misma fila representan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) al analizar en su conjunto los panes control y los provenientes de masas con tratamientos PRE y POST para el Ve y para el % PP de los productos finales.

Al evaluar los tratamientos entre sí se puede observar en la Tabla 3 que, en el día 7 no hay diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) con el fresco en el PRE en el Ve de los panes por lo que se podría almacenar en congelamiento hasta una semana; mientras que no ocurre lo mismo para el tratamiento POST donde el primer día de evaluación ya presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con disminución en el Ve y continuó la misma tendencia hasta los 28 días.

Asimismo, para % PP se obtuvieron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) cuando se analizaron los panes en conjunto; sin embargo, los panes con tratamiento PRE, no presentaron diferencias estadísticas a través del tiempo ($p > 0,05$), mientras que los panes con tratamiento POST, obtuvieron diferencias en el tiempo desde el día 7, con disminución de sus valores hasta el día 21.

Ronda y Roos (2011) estudiaron el comportamiento de panes libres de gluten al almacenarlos ya cocidos, levados pre almacenamiento en congelación a diferentes temperaturas durante 7 días y lo compararon con uno fresco, elaborado y analizado en el día; utilizaron harina de arroz, sal, azúcar, aditivos (HPMC) y levadura deshidratada. Sus resultados coincidieron con el encontrado en el presente estudio en el caso de panes provenientes de masas con tratamiento PRE, 7 días tanto en Ve como en % PP.

Frauenlob y col., (2017) analizaron la influencia de la calidad de diferentes tipos de harinas de trigo utilizando levadura deshidratada, sobre las propiedades de panes elaborados de masas con levado pre almacenamiento congelado (1, 7, 14, 21, 28, 168 días). En todas las formulaciones observaron disminución del Ve cuando almacenaron congeladas 7 días; a partir de ahí la mayoría de sus panes no presentaron diferencias significativas hasta el día 28 de almacenamiento; esto coincide con los resultados obtenidos en este trabajo, con el mismo tratamiento de levado. Los autores atribuyeron este comportamiento, apoyados en otros trabajos de investigación (Rosell y Gómez, 2007), principalmente a la presencia de sustancias reductoras como consecuencia del daño de la levadura, pero también al crecimiento de los cristales de hielo durante el almacenamiento.

Salas-Mellado y Chang (2003) analizaron panes provenientes de masas congeladas durante 45 días en total, elaboradas con harina con gluten, levadura deshidratada y levado post almacenamiento congelado. Sus resultados del Ve presentaron diferencias estadísticas después del día 1 de almacenamiento congelado y continuaron variando los siguientes días de análisis (día 10 y 45). Estos resultados coinciden con los obtenidos al analizar panes provenientes de masas con tratamiento POST en el trabajo que se presenta.

Simmons y col., (2012) elaboraron masas de harina de trigo, que compararon con masas de harina de soja desgrasada, leche de soja en polvo, utilizando levadura deshidratada que fueron levadas post almacenamiento congelado a -20 °C; el mismo se realizó máximo 4 semanas y estudiaron los efectos en panes a los 15 y 30 días que compararon con panes elaborados con masas del día. Sus resultados del Ve presentaron una disminución en el pan

horneado tanto para los elaborados con harina de soja como los de harina de trigo, y sugirieron que pudo deberse a daño en la levadura (Autio y Sinda, 1992), deterioro en las estructuras del almidón y/o del gluten (Berglund y col., 1991) y reorganización general de los componentes de la masa.

Estudios realizados por Pejin y col., (2007), sobre la influencia del almacenamiento congelado de masas en el metabolismo de la levadura, utilizando harina de trigo y levado post almacenamiento congelado (1, 7, 14 y 28 días), llegaron a la conclusión de que las células de levadura aisladas de la superficie de la masa, están menos dañadas por el proceso de congelación, que las que están aisladas del medio (las cuales estarían en mayor contacto con los ingredientes y con los cristales de hielo). Asimismo, Yi y Kerr (2009) analizaron la viabilidad de las levaduras en masas congeladas utilizando harina de trigo, levadura deshidratada, levadas post almacenamiento congelado (a diferentes temperaturas y velocidades de congelación) por 180 días. Sus resultados fueron que la actividad de la levadura en la masa congelada producida en todas las condiciones de congelación y almacenamiento fueron menor que la de un control sin congelar; resultados que coinciden con los encontrados en el trabajo.

Se demostró en la mayoría de los trabajos de investigación (Wolt y D'appolonia, 1984; Rosell y Gómez, 2007; Selomulyo y Zhou, 2007; Ayati y col., 2017; Frauenlob y col., 2017), sobre la estabilidad de la masa congelada utilizando harina de trigo y levadura deshidratada, independientemente del tratamiento de levado, que hubo disminución de volumen específico y se atribuyó principalmente a la muerte de la levadura durante la congelación que produjo una disminución de gas así como la liberación de sustancias reductoras que interrumpió la red del gluten; además, la cristalización y la recristalización de hielo en el proceso de congelación y descongelación causaron daños físicos a la red de gluten e interrumpieron su integridad, lo que indujo a la pérdida de capacidad de retención de gas.

Otros autores (Lorenz y Kulp, 1995), sugirieron que la congelación de la levadura en un sistema de masa aumentaba la susceptibilidad al daño celular en

comparación con la congelación directa de la levadura, porque la misma en el sistema de masa estaba bajo estrés osmótico. Según Stauffer (1993), los compuestos orgánicos de la masa se concentran por congelación de la fase acuosa, lo que posiblemente conduce a la autólisis de las células de levadura.

3.3.2. Parámetros de textura

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los parámetros texturales: firmeza (N) y elasticidad (%), obtenidos de los panes provenientes de masas elaboradas con levadura deshidratada, tratamiento PRE y POST, descongeladas a diferentes tiempos (7, 14, 21 y 28 días), y el pan control (0). Se observan los valores promedios con sus desvíos estándares (DS).

Tabla 4. Valores medios y desvíos estándares de los parámetros texturales (firmeza y elasticidad) de panes provenientes de masas con tratamiento levado pre y post almacenamiento congelado; tiempos: 0, 7, 14, 21 y 28 días.

PARAMETROS TEXTURALES	TRATAMIENTO DE LEVADO.		TIEMPO DIAS
	PRE almacenamiento Congelado	POST almacenamiento Congelado	
FIRMEZA f (N)	46,15 ± 0.75 ^a	46,15 ± 0.75 ^a	0
	428,90 ± 60.00 ^{bc}	409,90 ± 39.80 ^{bc}	7
	471,25 ± 8.15 ^c	577,50 ± 10.61 ^d	14
	351,20 ± 28.40 ^b	348,75 ± 10.05 ^b	21
	457,75 ± 40.25 ^c	609,50 ± 13.00 ^d	28
ELASTICIDAD e (%)	43,60 ± 6.20 ^a	43,60 ± 6.20 ^a	0
	21,65 ± 1.95 ^{bc}	17,45 ± 3.85 ^{bc}	7
	22,55 ± 3.55 ^{bc}	28,10 ± 3.80 ^b	14
	11,55 ± 3.45 ^c	15,65 ± 1.05 ^c	21
	14,35 ± 1.85 ^c	18,20 ± 4.90 ^{bc}	28

*Diferentes letras en la misma fila representan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

Para el parámetro firmeza se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre pan control y panes provenientes de masas almacenadas congeladas teniendo en cuenta ambos tratamientos de levado, con valores considerablemente más elevados en el tratamiento POST.

Para el tratamiento PRE se observa en la Tabla 4, que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los panes con el tiempo de almacenamiento congelado; mientras que, con el tratamiento POST, se produjeron fluctuaciones en los resultados con el tiempo de almacenamiento, con valores de firmeza superiores al tratamiento PRE. Sin embargo, comparando ambos tratamientos de levado, hasta el día 7 se podría almacenar congelado utilizando cualquiera de ellos.

El parámetro elasticidad, también presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) al evaluar en su conjunto; sin embargo, según se observa en la Tabla 4, la diferencia está entre panes control, y los provenientes de masas almacenadas congeladas, cualquiera sea su tratamiento de levado. Durante el tiempo de almacenamiento congelado, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), en ambos tratamientos.

Ronda y Roos (2011) observaron diferencias significativas en la firmeza de sus panes libres de gluten previamente levados, con el almacenamiento congelado a ambas temperaturas analizadas (-14 °C y -28 °C), con pronunciada elevación en sus valores; mientras que, en la elasticidad, los panes mostraron diferencias estadísticas solo a -14 °C , con valores inferiores al fresco a las dos temperaturas. Estos autores expresaron que posiblemente la pérdida de agua podría afectar el endurecimiento de la miga tanto como la recristalización del almidón durante el almacenamiento congelado, a pesar de haber utilizado hidrocoloide en su formulación que ayudaría a la formación de enlaces con el agua y a su retención.

En el presente trabajo se obtuvo similar comportamiento al estudio de los autores a -14 °C , en ambos tratamientos de levado, posiblemente debido a la presencia de la harina de soja que actuaría con el agua como hidrocoloide en su formulación.

De las ocho variedades de harinas de trigo analizadas por Frauenlob y col., (2017) en masas de panificados almacenadas congeladas pre fermentadas utilizando levadura deshidratada, la mayoría presentó comportamiento similar a

los panes provenientes de masas almacenadas congeladas con tratamiento PRE en los dos parámetros: firmeza y elasticidad, estudiados en este trabajo. Salas Mellado y Chang (2003), quienes analizaron panes de masas almacenadas congeladas y levadas post almacenamiento, obtuvieron un comportamiento similar al del tratamiento PRE del trabajo actual en el parámetro firmeza.

En cambio, Simmons y col., (2012), observaron que la firmeza de los panes de harina de trigo aumentó significativamente con el tiempo de almacenamiento congelado, tal como sucedió con el tratamiento post levado de las masas del presente trabajo. En el parámetro elasticidad observaron diferencias significativas con valores ligeramente menores en ambos tipos de panes (trigo y soja), comparados con sus respectivos controles; comportamiento similar a lo encontrado en el presente trabajo en ambos tratamientos de levado.

3.3.3. Análisis Sensorial

Los resultados obtenidos del análisis sensorial para los atributos *apariencia, dureza y masticabilidad* se presentan en la Tabla 5.

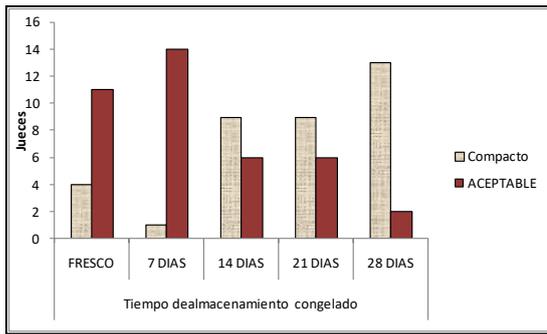
Tabla 5. Resultado del análisis sensorial de apariencia, dureza y masticabilidad de panes provenientes de masas con tratamiento pre y post almacenadas congeladas a diferentes tiempos: 7, 14, 21 y 28 días, y (0) control.

ATRIBUTOS SENSORIALES	Niveles / Categorías	TRATAMIENTO DE LEVADO		TIEMPO DIAS
		PRE	POST	
<i>Apariencia</i>	compacto	4	4	0
	esponjoso	11	11	
<i>Dureza</i>	duro	0	0	
	firme	10	10	
	blando	5	5	
<i>Masticabilidad</i>	alta	3	3	
	regular	11	11	
	baja	1	1	
<i>Apariencia</i>	compacto	6	1	
	esponjoso	9	14	
<i>Dureza</i>	duro	1	1	
	firme	2	9	
	blando	12	5	
<i>Masticabilidad</i>	alta	3	5	
	regular	7	4	
	baja	5	6	
<i>Apariencia</i>	compacto	12	9	14
	esponjoso	3	6	
<i>Dureza</i>	duro	5	3	
	firme	8	7	
	blando	2	5	
<i>Masticabilidad</i>	alta	6	2	
	regular	8	6	
	baja	1	7	
<i>Apariencia</i>	compacto	9	9	
	esponjoso	6	6	
<i>Dureza</i>	duro	0	1	
	firme	10	6	
	blando	5	8	
<i>Masticabilidad</i>	alta	4	3	
	regular	8	8	
	baja	3	4	
<i>Apariencia</i>	compacto	13	13	28
	esponjoso	2	2	
<i>Dureza</i>	duro	1	1	
	firme	9	4	
	blando	5	10	
<i>Masticabilidad</i>	alta	2	2	
	regular	9	7	
	baja	4	6	

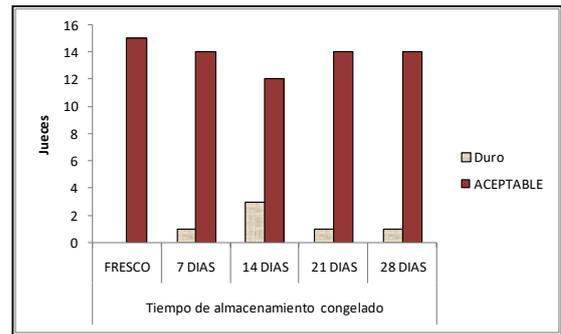
Como se observa en las Figuras 8 y 9, considerando esponjoso como aceptable para el atributo *apariencia* se obtuvo el 73 % para los panes frescos, mientras que, al considerar los panes provenientes de masas almacenadas congeladas con el tratamiento POST, obtuvieron mejores porcentajes de aceptación en los diferentes tiempos de almacenamiento congelado. Al observar las Figuras 11 y 12 se podría deducir que con el tratamiento PRE las masas levaron y los panes son grandes, pero vemos que después del almacenamiento congelado y cocción, quedan zonas como apelmazadas; algo que no ocurrió con el tratamiento POST donde no se logró igual crecimiento de volumen de los panes, pero si se observan alveolos desparramados de manera regular en la miga, lo que les dio mejor aspecto/apariencia.

En el atributo *dureza* al agrupar los niveles, firme y blando, como aceptable se obtuvo 100 % de aceptación para los panes control. En los panes provenientes de masas almacenadas congeladas se observó que, con ambos tratamientos de levado, excepto el día 14 donde el tratamiento POST obtuvo mayor aceptación, no hubo grandes variaciones en las respuestas y se llegó a igual porcentaje de aceptación a los 28 días (93 %). Se observa en la Tabla 5 que la respuesta al nivel blando aumenta a los diferentes días de almacenamiento congelado en el tratamiento POST.

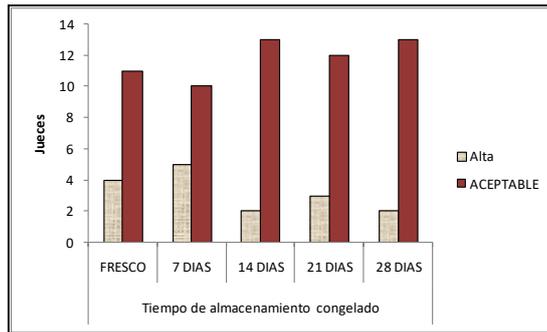
En el atributo *masticabilidad* al agrupar las categorías, baja y regular, como aceptable se obtuvo el 80 % de aceptación para los panes control. En los panes provenientes de masas almacenadas congeladas el porcentaje de aceptación se mantuvo constante en el tratamiento POST (excepto el día 7), siendo el mismo valor (86 %) en ambos tratamientos a los 28 días de almacenamiento congelado.



(a)

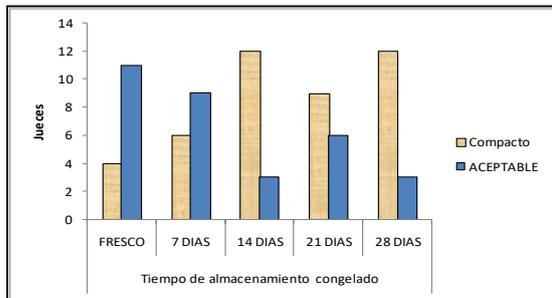


(b)

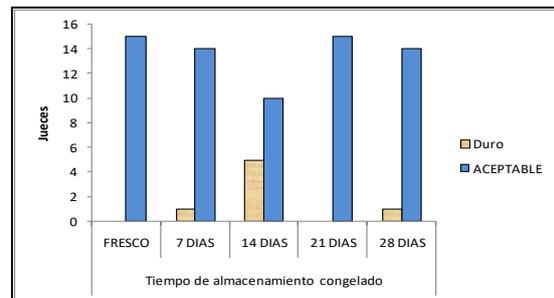


(c)

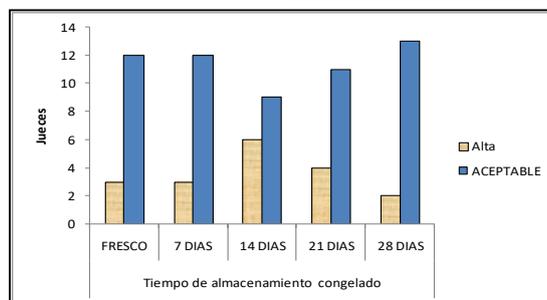
Figura 8. Resultados del análisis sensorial agrupando aceptables del tratamiento levado POST (a) Apariencia (b) Dureza y (c) Masticabilidad



(a)



(b)



(c)

Figura 9. Resultados del análisis sensorial agrupando aceptables del tratamiento levado PRE (a) Apariencia (b) Dureza y (c) Masticabilidad.

Los resultados de alto porcentaje de aceptación obtenidos en dureza y masticabilidad a los 28 días de almacenamiento congelado podrían explicarse por los ingredientes utilizados en la formulación, donde las proteínas de la soja interactúan fuertemente con el agua al igual que el almidón, originando panificados más elásticos y posiblemente menos propensos a cambios por congelación (Milde y col., 2014).

En la Tabla 6 se observan los valores medios y desvíos estándares obtenidos al asignar puntaje a cada escala del atributo *sabor*.

Tabla 6. Valores medios y desvíos estándares de los resultados del atributo sabor.

TRATAMIENTO DE LEVADO	Tiempo de almacenamiento congelado *	SABOR
PRE	0	3,7 ± 0,7
	7	3,8 ± 0,6
	14	3,7 ± 0,5
	21	2,9 ± 0,6
	28	3,1 ± 0,7
POST	0	3,7 ± 0,7
	7	4,5 ± 0,7
	14	3,5 ± 0,5
	21	3,4 ± 0,7
	28	3,1 ± 0,7

*Días.

Los resultados obtenidos del ANOVA multifactorial realizado con los datos del análisis sensorial (Tabla 6), pusieron en evidencia que el factor tratamiento de levado no presentó efecto estadísticamente significativo sobre el *sabor* ($p > 0,05$); sin embargo, el tiempo de almacenamiento congelado y la interacción entre los dos factores analizados presentaron efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre el atributo, con un 95,0% de nivel de confianza.

En la Figura 10, se puede observar a través del gráfico de interacción que no hubo diferencia en los tratamientos de levado porque a los 28 días los jueces

llegaron al mismo puntaje de aceptación; también se observa que el mejor *sabor* se logró a los 7 días, con el tratamiento POST.

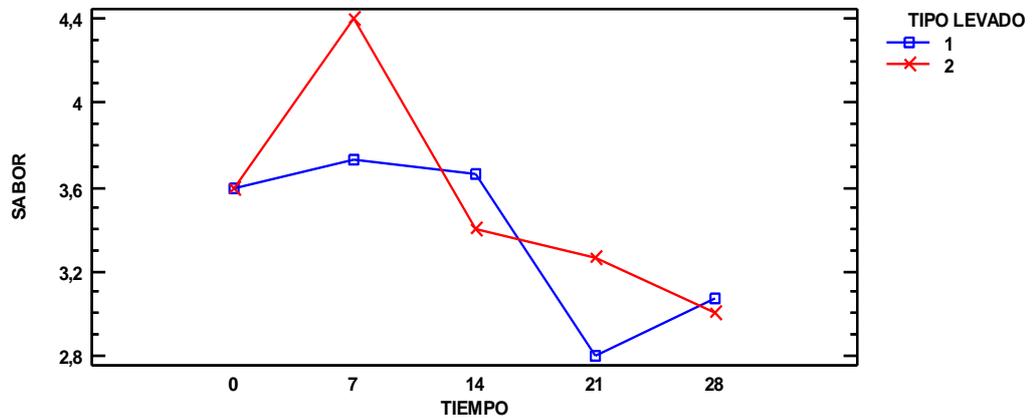


Figura 10. Gráfico de Interacción de los factores: tratamiento de levado y tiempo de almacenamiento congelado (7, 14, 21 y 28) y control (0) sobre el atributo sabor. 1- Tratamiento PRE; 2- Tratamiento POST.

En las Figuras 11 y 12 se observan los panificados a los diferentes tratamientos y días de almacenamiento en congelación, junto a los panes control.

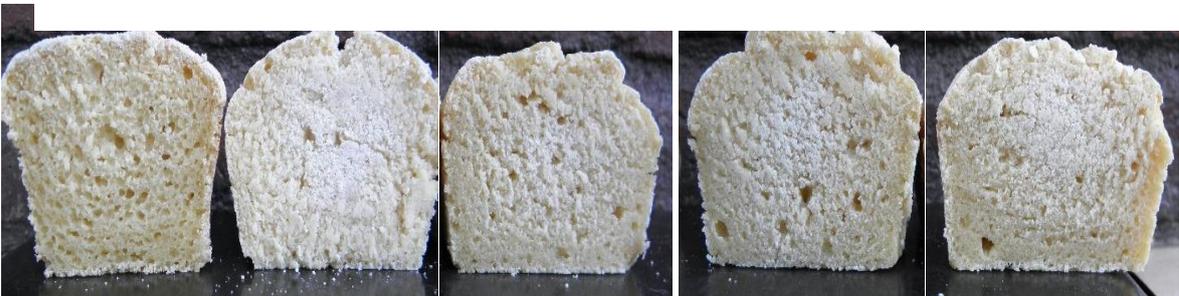


Figura 11. Pan fresco y panes provenientes de masas almacenadas congeladas con tratamiento PRE durante 7, 14, 21 y 28 días.



Figura 12. Pan fresco y panes provenientes de masas almacenadas congeladas con tratamiento POST durante 7, 14, 21 y 28 días.

3.4. CONCLUSIÓN

No hay muchos trabajos que utilicen levadura deshidratada en sus formulaciones de panificados y los analicen congelados, la mayoría de los encontrados fueron elaborados con harina de trigo.

Con la formulación libre de gluten utilizada en esta Tesis, donde la principal materia prima es la fécula de mandioca, se concluyó que:

- ✓ Las masas no resistieron al proceso de congelación
- ✓ El tratamiento de levado pre almacenamiento congelado es el que menor variación sufrió en cuanto a los parámetros físicos.
- ✓ Se obtuvieron mejores resultados con el tratamiento de levado pre almacenamiento congelado, en firmeza. Para el parámetro elasticidad no influyó el tiempo de almacenamiento congelado.
- ✓ Sin embargo, en el análisis sensorial tiende a ser mejor el tratamiento de levado post almacenamiento congelado.

Se optó como tratamiento de levado para la formulación estudiada, al POST, debido a que las levaduras se dañaron menos cuando se almacenaron sin levar o la formulación colaboró con sus ingredientes, lo que fue detectado sensorialmente.

4. PROPUESTAS DE TRABAJOS FUTUROS

Siguiendo la misma formulación de pan, existen otras líneas de investigación que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando.

Durante la elaboración de ésta han surgido algunas propuestas para seguir trabajando; algunas más relacionadas con este trabajo, y otras más generales.

A continuación, se presentan algunas de las propuestas futuras:

- ✓ Determinar la vida útil de la mezcla sólida del panificado utilizando levadura deshidratada a través de parámetros biológicos (a_w , pH, pruebas microbiológicas, pruebas sensoriales).
- ✓ Estudiar la aplicación de esta formulación (con soja) a pastas en forma de fideos o cinta, y determinar los parámetros físicos y sensoriales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. American Association of Cereal Chemists 2000. Approved methods of the AACC. Décima edición. The American Association of Cereal Chemists. St. Paul, EE UU.
- Acker, J. P. y McGann, L. E. (2003). Protective effect of intracellular ice during freezing. En: *Cryobiology*, 46(2), p. 197-202.
- Akbarian, M., Dehkordi, M. S. M., Ghasemkhani, N., Koladoozi, M., Niknam, O. y Morshedi, A. (2015). Hydrocolloids and Cryoprotectant used in Frozen Dough and Effect of Freezing on Yeast Survival and Dough Structure: A Review. En: *International Journal of Life Sciences*, 9(3), p. 1-7.
- Anderson, J. W., Smith, B., Moore, K. y Hanna, T. (2000). Soy foods and health promotion. En: *Vegetables, fruits and herbs for health promotion*, p. 117-134.
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Aristizábal, J., Sánchez, T. y Lorío, D. M. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Autio, K. y Sinda, E. (1992). Frozen doughs: rheological changes and yeast viability. En: *Cereal Chem*, 69(4), p. 409-413.
- Ayati, S. V., Hamdami, N. y Le-Bail, A. (2017). Frozen Sangak dough and bread properties: Impact of pre-fermentation and freezing rate. En: *International Journal of Food Properties*, 20(4), p. 782-791.
- Badui Dergal, Salvador (2006). Química de los alimentos. Cuarta edición. Editorial Pearson Educación. México.

- Ban, C., Yoon, S., Han, J., Kim, S. O., Han, J. S., Lim, S. y Choi, Y. J. (2016). Effects of freezing rate and terminal freezing temperature on frozen croissant dough quality. En: LWT, 73, p. 219-225.
- Belitz, H. D., Grosch, W. y Schieberle, P. (2009). Cereals and cereal products. En: Food chemistry, p. 670-745
- Berglund, P. T., Shelton, D. R. y Freeman, T. P. (1991). by Duration of Frozen Storage and Freeze-Thaw Cycles. En: Cereal Chem, 68(1), p. 105-107.
- Buchar, J., Nedomová, Š. y Simeonovoná, J. (2003). Textural and rheological properties of edam cheese during ripening. En: III International Symposium on Food Rheology and Structure. (3: 2003: Zurich, Switzerland). Proceedings. Zurich: Eidgenössische Technische Hochschule-ETH, p. 561-562.
- Cappa, C., Lucisano, M. y Mariotti, M. (2013). Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. En: Carbohydrate polymers, 98(2), p. 1657-1666.
- Casey, G. P. y Foy, J. J. (1995). Yeast performance in frozen doughs and strategies for improvement. En: Frozen and refrigerated doughs and batters, p. 19-52.
- Chen, L. y Opara, U. L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods. A review. En: Food Research International, 51(2), p. 823-835.
- Ciclitira, P. J., Johnson, M. W., Dewar, D. H. y Ellis, H. J. (2005). The pathogenesis of coeliac disease. En: Molecular aspects of medicine, 26(6), p. 421-458.
- Cluster de la mandioca Misionera (2017). Presidencia de la Nación. Disponible en: www.clusterdelamandioca.net. (Consultado el 23-11-2018).

- Da Mota Zanella, V., Mireles Mendoza, C., Camarena Aguilar, E. y Bautista Justo, M. (2005). Efecto del uso de masas congeladas sobre las características y textura en pan blanco.
- Frauenlob, J., Moriano, M. E., Innerkofler, U., D'Amico, S., Lucisano, M. y Schoenlechner, R. (2017). Effect of physicochemical and empirical rheological wheat flour properties on quality parameters of bread made from pre-fermented frozen dough. En: *Journal of cereal science*, 77, p. 58-65.
- Fukushima D. (2000). Soybean processing. En: Shuryo N, Modler HW, editors. *Food proteins*. New York: Wiley, 42, p. 309.
- Gallagher, E., Gormley, T. R. y Arendt, E. K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. En: *Journal of food engineering*, 56(2-3), p. 153-161.
- Gallagher, E., Gormley, T. R. y Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. En: *Trends in Food Science and Technology*, 15(3-4), p. 143-152.
- Giannou, V. y Tzia, C. (2007). Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage—Prediction of final product characteristics. En: *Journal of Food Engineering*, 79(3), p. 929-934.
- Gray, J. A. y Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: molecular basis and control. En: *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2(1), p. 1-21.
- Grunert, K. G. (2005). Food quality and safety: consumer perception and demand. En: *European review of agricultural economics*, 32(3), p. 369-391.

- Guerrero, L. (1996). Métodos descriptivos de análisis sensorial: (y II) Perfiles de libre elección real y simulada y perfiles de consumidores. En: *Alimentación, equipos y tecnología*, 15(1), p. 163-166.
- Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V. y Rosell, C. M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(13), p. 3814-3818.
- Gutkoski, L. C., Brehm, C. M., Santos, E. D. y Mezzomo, N. (2005). Effect of ingredients on the quality of non-fermented frozen form bread dough during storage. En: *Food Science and Technology*, 25(3), p. 460-467.
- Havet, M., Mankai, M. y Le Bail, A. (2000). Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough. En: *Journal of Food Engineering*, 45(3), p. 139-145.
- Hernando, A., Mujico, J. R., Mena, M. C., Lombardía, M. y Mendez, E. (2008). Measurement of wheat gluten and barley hordeins in contaminated oats from Europe, the United States and Canada by Sandwich R5 ELISA. En: *European journal of gastroenterology y hepatology*, 20(6), p. 545-554.
- Hino, A., Takano, H. y Tanaka, Y. (1987). New freeze-tolerant yeast for frozen dough preparations. En: *Cereal Chemistry*, 64(4), p. 265-275.
- Houben, A., Höchstötter, A. y Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. En: *European Food Research and Technology*, 235(2), p. 195-208.
- INTI (2015). Producción procesamiento, usos y comercialización de la mandioca. Disponible en: https://www.inti.gov.ar/ue/pdf/publicaciones/cuadernillo_22.pdf (Consultado el 01-12-2018).
- Inone, Y., y Bushuk, W. (1992). Studies on frozen doughs. II. Flour Quality Requirements for Bread Prod. from Frozen Doughs. *Cereal Chem*, 69, p. 423-428.

- Ji, M., Miao, Y., Chen, J. Y., You, Y., Liu, F. y Xu, L. (2016). Growth characteristics of freeze-tolerant baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* AFY in aerobic batch culture. En: SpringerPlus, 5(1), p. 503.
- Kennedy, C. J. (Ed.). (2000). Managing frozen foods. Segunda edición. Editorial Elsevier.
- Kenny, S., Wehrle, K., Dennehy, T. y Arendt, E. K. (1999). Correlations between empirical and fundamental rheology measurements and baking performance of frozen bread dough. En: Cereal chemistry, 76(3), p. 421-425.
- Koerner, T. B., Cleroux, C., Poirier, C., Cantin, I., Alimkulov, A. y Elamparo, H. (2011). Gluten contamination in the Canadian commercial oat supply. En: Food Additives and Contaminants, 28(6), p. 705-710.
- La Vieille, S., Pulido, O. M., Abbott, M., Koerner, T. B., y Godefroy, S. (2016). Celiac disease and gluten-free oats: a Canadian position based on a literature review. En: Canadian Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2016.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. y Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. En: Journal of food engineering, 79(3), p. 1033-1047.
- Le Bail, A., Grinand, C., Le Cleach, S., Martinez, S. y Quilin, E. (1999). Influence of storage conditions on frozen French bread dough. En: Journal of Food Engineering, 39(3), p. 289-291.
- Le-Bail, A., Nicolitch, C. y Vuillod, C. (2010). Fermented frozen dough: impact of pre-fermentation time and of freezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread. En: Food and bioprocess technology, 3(2), p. 197-203.

- Lemmer, Y. (2010). Effect of enzymes and emulsifiers on the shelf life of modified atmosphere packaged par-baked pizza (Doctoral dissertation, University of Pretoria). Tesis Doctoral.
- Leray, G., Oliete, B., Mezaize, S., Chevallier, S. y de Lamballerie, M. (2010). Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. En: *Journal of Food Engineering*, 100(1), p. 70-76.
- Lezcano, E. (2012). Productos de maíz. *Alimentos Argentinos*, 54, 18-38. Disponible en: www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/.../productos/r54_05_ProductosMaiz.pdf (Consultado 01-12-2018).
- Lezcano, E. (2013). Levaduras. *Alimentos Argentinos*. Disponible en: Disponible en www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/.../r53_07_Levaduras.pdf (Consultado 01-12-2018).
- Lodi, A. y Vodovotz, Y. (2008). Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. En: *Food chemistry*, 110(3), p. 554-561.
- Lorenz, K. y Kulp, K. (1995). Doughs for bread and rolls in the United States. Frozen and Refrigerated Doughs and Batter. Assoc. En: *Cereal Chem.: St. Paul, MN.*, p. 135-153.
- 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. En: *Trends in Food Science and Technology*, 72, p. 25-33.
- Mahmoud, R. M., Yousif, E. I., Gadallah, M. G. E. y Alawneh, A. R. (2013). Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread. En: *Annals of Agricultural Sciences*, 58(1), p. 19-25.

- Marcoa, C. y Rosell, C. M. (2008). Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. En: Journal of Food Engineering, 84(1), p. 132-139.
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T. y Civille, G. V. (1999). Sensory evaluation techniques. CRC press.
- Mezaize, S., Chevallier, S., Le-Bail, A. y De Lamballerie, M. (2010). Gluten-free frozen dough: Influence of freezing on dough rheological properties and bread quality. En: Food Research International, 43(8), p. 2186-2192.
- Meziani, S., Kaci, M., Jacquot, M., Jasniewski, J., Ribotta, P., Muller, J. M. y Desobry, S. (2012). Effect of freezing treatments and yeast amount on sensory and physical properties of sweet bakery products. En: Journal of food engineering, 111(2), p. 336-342.
- Milde, L. B., González, K. G., Urbina, C. V., y Rybak, A. (2009). Pan de fécula de mandioca con leche. Comportamiento físico al adicionar un emulsionante. pan, 11(11).
- Milde, LB, Ramallo, LA y Puppò, MC. (2012). Gluten-free Bread Based on Tapioca Starch: Texture and Sensory Studies. En: Food Bioprocess Technology, 5(3); p. 888-896.
- Milde, L., Cabral, F. y Ramírez, R. (2014). Effect of frozen storage on bread of cassava starch: Physical textural and sensory properties. En: Revista Ciencia y Tecnología, 16(21), p. 33-39.
- Milde, L. B., Chigal, P. S. y Argüello, B. (2016). Calidad de panes sin gluten: impacto del almacenamiento congelado. En: Revista de Ciencia y Tecnología, p. 40-46.
- Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P. y Arendt, E. K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. En: Cereal Chemistry, 81(5), p. 567-575.

- Moore, M. M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M. y Arendt, E. K. (2006). Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. En: *Cereal chemistry*, 83(1), p. 28-36.
- Moore MM, Schober T y Juga B. (2007). Effect of lactic acid bacteria on the properties of gluten-free sourdoughs, batters and the quality and ultrastructure of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*, 84, p. 357-364.
- Nakamura, T., Takagi, H. y Shima, J. (2009). Effects of ice-seeding temperature and intracellular trehalose contents on survival of frozen *Saccharomyces cerevisiae* cells. En: *Cryobiology*, 58(2), p. 170-174.
- Ngemakwe, P. N., Le Roes-Hill, M. y Jideani, V. A. (2015). Advances in gluten-free bread technology. En: *Food Science and Technology International*, 21(4), p. 256-276.
- Nunes, M. H. B., Ryan, L. A. M. y Arendt, E. K. (2009). Effect of low lactose dairy powder addition on the properties of gluten-free batters and bread quality. En: *European Food Research and Technology*, 229(1), p. 31-41.
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. y Lindhauer, M. G. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. En: *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), p. 681-686.
- Pasqualone, A., Caponio, F., Summo, C., Paradiso, V. M., Bottega, G. y Pagani, M. A. (2010). Gluten-free bread making trials from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour and sensory evaluation of the final product. En: *International Journal of Food Properties*, 13(3), p. 562-573.
- Pearson, D. (1976). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 1.
- Pejin, D. J., Došanoviã, I. S., Popov, S. D., Suturoviã, Z. J., Rankoviã, J. A., Dodiã, S. N. y Vuãuroviã, V. M. (2007). Influence of dough freezing on

- Saccharomyces cerevisiae metabolism. En: Matica Srpska Proceedings for Natural Sciences, 293.
- Peleg, M. (1976). Texture profile analysis parameters obtained by an Instron universal testing machine. En: Journal of Food Science, 41(3), p. 721-722.
- Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., y Cleland, D. J. (2008). Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. Journal of Food Engineering, 84(1), p. 48-56.
- Phimolsiripol, Y. (2009). Shelf life determination of frozen bread dough stored under fluctuating temperature conditions. Kasetsart Journal (Natural Science), 43(1), p. 187-197.
- Ribotta, P. D., León, A. E. y Añón, M. C. (2003). Effects of yeast freezing in frozen dough. En: Cereal chemistry, 80(4), p. 454-458.
- Ribotta, P. D. y Tadini, C. C., (2009). Alternativas tecnológicas para la elaboración y la conservación de productos panificados. Primera Edición. Editorial Universidad Nacional de Córdoba.
- Ronda, F. y Roos, Y. H. (2011). Staling of fresh and frozen gluten-free bread. En: Journal of cereal science, 53(3), p. 340-346.
- Rosell, C. M. y Gómez, M. (2007). Frozen dough and partially baked bread: an update. En: Food Reviews International, 23(3), p. 303-319.
- Rouille, J., Le Bail, A. y Courcoux, P. (2000). Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough. En: Journal of food engineering, 43(4), p. 197-203.
- Salas-Mellado, M. M. y Chang, Y. K. (2003). Effect of formulation on the quality of frozen bread dough. En: Brazilian Archives of Biology and Technology, 46(3), p. 461-468.

- Sanchez, H. D., Osella, C. A. y De La Torre, M. A. (2002). Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. En: *Journal of Food Science*, 67(1), p. 416-419.
- Schamne, C., Dutcosky, S. D. y Demiate, I. M. (2010). Obtention and characterization of gluten-free baked products. En: *Food Science and Technology*, 30(3), p. 741-750.
- Schober, T. J., Messerschmidt, M., Bean, S. R., Park, S. H. y Arendt, E. K. (2005). Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. En: *Cereal chemistry*, 82(4), p. 394-404.
- Schoenlechner, R., Mandala, I., Kiskini, A., Kostaropoulos, A. y Berghofer, E. (2010). Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth. En: *International journal of food science y technology*, 45(4), p. 661-669.
- Sciarini, L. S., Steffolani, M. E. y Leon, A. E. (2016). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan.
- Selomulyo, V. O. y Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. En: *Journal of Cereal Science*, 45(1), p. 1-17.
- Sharadanant, R. y Khan, K. (2003). Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. Bread characteristics. En: *Cereal Chemistry*, 80(6), p. 773-780.
- Silvas-García, M. I., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Bello-Pérez, L. A., Carvajal-Millán, E., Barrón-Hoyos, J. M. y Quintero-Ramos, A. (2016). Effect of freezing rate and storage on the rheological, thermal and structural properties of frozen wheat dough starch. En: *Starch-Stärke*, 68(11-12), p. 1103-1110.

- Simmons, A. L., Smith, K. B. y Vodovotz, Y. (2012). Soy ingredients stabilize bread dough during frozen storage. En: *Journal of cereal science*, 56(2), p. 232-238.
- Stauffer, C. E. (1993). Frozen dough production. En: *Advances in baking technology*. Springer, Boston, MA. p. 88-106.
- Storck, C. R., da Rosa Zavareze, E., Gularte, M. A., Elias, M. C., Rosell, C. M. y Dias, A. R. G. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. En: *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), p. 346-354.
- Tsolmonbaatar, A., Hashida, K., Sugimoto, Y., Watanabe, D., Furukawa, S. y Takagi, H. (2016). Isolation of baker's yeast mutants with proline accumulation that showed enhanced tolerance to baking-associated stresses. En: *International journal of food microbiology*, 238, p. 233-240.
- Torricela Morales, Raul, Esperanza Zamora Utset y Alvarez Horacio P. (2007). *Evaluación Sensorial. Segunda Edición*. Editorial Universitaria. Cuba.
- Tovoli, F., Masi, C., Guidetti, E., Negrini, G., Paterini, P. y Bolondi, L. (2015). Clinical and diagnostic aspects of gluten related disorders. En: *World Journal of Clinical Cases: WJCC*, 3(3), p. 275.
- Vulicevic, I. R., Abdel-Aal, E. M., Mittal, G. S. y Lu, X. (2004). Quality and storage life of par-baked frozen breads. En: *LWT-Food Science and Technology*, 37(2), p. 205-213.
- Wang, X., Choi, S. G. y Kerr, W. L. (2004). Water dynamics in white bread and starch gels as affected by water and gluten content. En: *LWT-Food Science and Technology*, 37(3), p. 377-384.
- Wang, P., Jin, Z. y Xu, X. (2015). Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage. A review from gluten,

glutenin and gliadin perspectives. En: Trends in Food Science y Technology, 46(2), p. 189-198.

Welty, J. R., Wicks, C. E., Rorrer, G., y Wilson, R. E. (1984). Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer. Tercera edición. New York: John Wiley & Sons.

Williams A y Pullen G. (1998). Functional Ingredients. London: Blackie Academic and Professional.

Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L. y Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems. A review. En: Journal of Cereal Science, 67, p. 46-57.

Wolt, M. J., y D'appolonia, B. L. (1984). Factors Involved in the Stability of Frozen Dough. I. The Influence of Yeast Reducing Compound on Frozen Dough Stability. En: Cereal Chem, 61(3), p. 209-212.

Yi, J., y Kerr, W. L. (2009). Combined effects of dough freezing and storage conditions on bread quality factors. En: Journal of Food Engineering, 93(4), p. 495-501.

Ziobro, R., Korus, J., Juszczak, L. y Witczak, T. (2013). Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread. En: Journal of Food Engineering, 116(1), p. 21-27.

Zobel, H. F. y Kulp, K. (1996). The staling mechanism. Ch. 1. In "Baked Goods Freshness". RH Hebeda and HF Zobel.

Zúñiga Hernández, L. A., Ciro Velásquez, H. J. y Osorio Saraz, J. A. (2007). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. En: Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín, 60(1).

6. ANEXOS

EVALUACIÓN DE PANES

Nombre..... Sexo:.... Edad.....
Fecha:.....

OBSERVAR y después COMER un pequeño trozo de cada muestra de pan recibida y responder según lo explicado para cada atributo:

Realice una marca en cada casillero que refleje su opinión:

<i>Apariencia de la miga</i>	<i>Pan A</i>	<i>Pan B</i>	<i>Pan C</i>	<i>Pan D</i>	<i>Pan E</i>
Compacto					
Esponjoso					

Textura

<i>Dureza</i>	<i>Pan A</i>	<i>Pan B</i>	<i>Pan C</i>	<i>Pan D</i>	<i>Pan E</i>
Duro					
Firme					
Blando					

<i>Masticabilidad</i>	<i>Pan A</i>	<i>Pan B</i>	<i>Pan C</i>	<i>Pan D</i>	<i>Pan E</i>
Alta					
Regular					
Baja					

Sabor

	<i>Pan A</i>	<i>Pan B</i>	<i>Pan C</i>	<i>Pan D</i>	<i>Pan E</i>
Me gusta mucho					
Me gusta					
No me gusta ni me desagrada					
Me desagrada					
Me desagrada mucho					