



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**



**“DESARROLLO DE UN SISTEMA GELATINIZADO ULTRACONGELADO PARA LA
FORMULACIÓN DE PAN LEUDADO TIPO BIZCOCHO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

IVÁN DANIEL CHÁVEZ SALGADO

DIRECTOR ACADÉMICO:

QUIM. JESÚS CASTILLÓN JARDÓN

JUNIO, 2018

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEÓRICO	13
1.1 PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN	14
1.1.1 Tipos de pan	16
1.1.2 Pan tipo bizcocho	19
1.2 INGREDIENTES EN LOS PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN Y SUS FUNCIONES	19
1.2.1 Harina	19
1.2.2 Harina gelatinizada	20
1.2.3 Masa	21
1.2.4 Gluten	21
1.2.5 Almidón	21
1.2.6 Azúcares	22
1.2.7 Levadura	23
1.2.8 Agua	24
1.2.9 Sal	24
1.2.10 Grasa	25
1.3 REACCIÓN DE MAILLARD	26
1.4 RETROGRADACIÓN	27
1.5 GELATINIZACIÓN	27
1.6. ULTRACONGELACIÓN	29
1.7 DESCONGELADO Y HORNEADO	32
1.8 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE MASAS Y PAN	32
1.8.1 Volumen producido en la fermentación y horneado	33
1.8.2 Firmeza del pan	33
1.8.3 Color del pan	33
1.8.4 Textura (extensibilidad y resistencia máxima a la extensión)	35
1.8.5 Microscopía de Resonancia Magnética (MRM) y Microscopía de Resonancia de Imagen (MRI)	36
1.8.6 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	37
1.8.7 Análisis de birrefringencia	38
1.8.8 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)	38

1.8.9 Difracción de rayos X	39
1.8.10 Determinación del tiempo que las masas tardan en llegar de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C)	39
1.8.11 Propiedades microestructurales (tamaño de poro) de la miga	40
1.8.12 Propiedades texturales de deformación y resiliencia	40
2 JUSTIFICACIÓN	42
3 HIPÓTESIS	44
4 OBJETIVOS	46
4.1 OBJETIVO GENERAL	47
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
5 MATERIALES Y MÉTODOS	48
5.1 MATERIALES	49
5.2 MÉTODOS	49
5.2.1 Preparación de la masa para elaborar pan tipo bizcocho	49
5.2.2 Preparación del control	49
5.2.3 Preparación del gelatinizado con harina de trigo	50
5.2.3.1 Hidratación de la harina	50
5.2.3.2 Gelatinización de la harina de trigo	50
5.2.3.3 Enfriamiento del gelatinizado	51
5.2.4 Preparación de la masa utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada	51
5.2.5 Ultracongelación y resguardo de las masas	51
5.2.6 Determinación del tiempo que las masas tardan en llegar de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C)	51
5.2.7 Fermentación y horneado	52
5.2.8 Determinación del porcentaje de agua perdida después del horneado	52
5.2.9 Determinación del incremento de volumen de la masa al fermentar	53
5.2.10 Determinación del tamaño de poro a la miga del pan	54
5.2.11 Prueba de deformación por ciclos y resiliencia	54
5.2.12 Determinación del color del pan	55
5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA	56
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
6.1 TIEMPO QUE TARDAN EN LLEGAR LAS MASAS DE LA TEMPERATURA AMBIENTE ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) A LA TEMPERATURA DE ULTRACONGELACIÓN (-18°C)	58

6.2 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AGUA PERDIDA DESPUÉS DEL HORNEADO	60
6.3 DETERMINACIÓN DEL INCREMENTO DE VOLUMEN DE LA MASA AL FERMENTAR	60
6.4 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PORO A LA MIGA DEL PAN	66
6.5 PRUEBA DE DEFORMACIÓN POR CICLOS Y RESILIENCIA	74
6.5.1 Prueba de deformación por ciclos	74
6.5.2 Resiliencia	79
6.6 DETERMINACIÓN DEL COLOR DEL PAN	84
6.6.1 Muestra control	85
6.6.2 Muestra harina gelatinizada 2.5%	86
6.6.3 Muestra harina gelatinizada 5%	87
6.6.4 Muestra harina gelatinizada 7.5%	87
7 CONCLUSIONES	91
8 BIBLIOGRAFÍA	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de pan fermentado.	16
Cuadro 2. Clasificación de pan leudado por agentes químicos.	18
Cuadro 3. Composición química de harina blanca de trigo.	20
Cuadro 4. Ingredientes y proporciones utilizadas en la formulación de pan leudado tipo bizcocho.	49
Cuadro 5. Porcentajes utilizados de harina de trigo gelatinizada para elaborar el pan leudado tipo bizcocho.	50
Cuadro 6. Valores obtenidos en la determinación del peso	60
Cuadro 7. Ejemplo de cálculo para determinar el porcentaje de incremento de volumen de CO ₂ en las masas analizadas.	61
Cuadro 8. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan.	67

Cuadro 9. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan.	68
Cuadro 10. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan en muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5%.	69
Cuadro 11. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan en muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%.	70
Cuadro 12. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan en muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5%.	71
Cuadro 13. Resultados de resiliencia obtenidos para las muestras.	79
Cuadro 14. Valores obtenidos con el colorímetro para las muestras horneadas sin ultracongelar.	84
Cuadro 15. Valores obtenidos con el colorímetro para las muestras ultracongeladas y horneadas a las 24 horas.	84
Cuadro 16. Valores obtenidos con el colorímetro para las muestras ultracongeladas y horneadas a los 7 días.	84
Cuadro 17. Imágenes obtenidas de las muestras de pan tipo bizcocho elaboradas con distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada.	89
Cuadro 18. Muestras de pan que presentaron manchas o erupciones después del horneado.	90

ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS

Gráfica 1. Tiempo que tardan en llegar las masas de la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$ a la temperatura de ultracongelación (-18°C).	58
Gráfica 2. Resultados obtenidos para la determinación del porcentaje de incremento de volumen en las masas analizadas.	62
Gráfica 3. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras control.	74
Gráfica 4. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5%.	75

Gráfica 5. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%.	76
Gráfica 6. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5%.	77
Gráfica 7. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras control.	80
Gráfica 8. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5%.	81
Gráfica 9. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%.	82
Gráfica 10. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5%.	83
Figura 1. Estructura molecular de la amilosa y amilopectina	22

RESUMEN

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue elaborar masas ultracongeladas utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada para formular un pan leudado tipo bizcocho. Se emplearon 4 formulaciones para la elaboración de las masas: Control (sin utilizar harina de trigo gelatinizada), harina de trigo gelatinizada al 2.5%, 5% y 7.5%. La preparación de las masas se llevó a cabo de la siguiente manera:

Para el control los ingredientes se mezclaron en seco (harina, azúcar, grasa y sal) con ayuda de una batidora. Posteriormente se añadió la levadura y transcurrido un tiempo se agregó agua, huevo y se mezcló. La masa se pesó en una balanza granataria y se dividió en 4 partes igual en peso. Se bolearon 4 fracciones obtenidas de la masa original y se colocaron en charolas con manteca vegetal untada.

Para las masas elaboradas con diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada primero se preparó el gelatinizado en tres etapas: hidratación, gelatinización y enfriamiento. A priori se mezclaron los ingredientes secos: harina, azúcar, grasa y sal con ayuda de una batidora. Posteriormente se añadió la levadura y transcurrido un tiempo se agregó el gelatinizado, el huevo y el agua restante y se mezcló. La masa se pesó y se dividió en 4 partes igual en peso. Se bolearon las 4 fracciones obtenidas de la masa original y se colocaron en charolas con manteca vegetal untada. Las masas elaboradas se fermentaron, hornearon y enfriaron hasta alcanzar la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$ y se resguardaron en bolsas de plástico hasta el momento de los análisis.

En la caracterización de las masas se evaluó el efecto de la ultracongelación variando el tiempo de resguardo de las mismas y horneando en tres tiempos distintos: inmediato, a las 24 horas de resguardo y a los 7 días de resguardo.

En las muestras se determinaron características estructurales como tamaño de partícula y forma; texturales como deformación y resiliencia; propiedades fisicoquímicas como color, peso, volumen de CO_2 de la masa producido durante la fermentación y se monitoreó el tiempo en que las masas tardaban en llegar de la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$ a la de ultracongelación.

Los resultados arrojaron que la utilización de un 2.5% y 5% de harina de trigo gelatinizada en la elaboración de masas sin ultracongelar para la formulación de pan leudado tipo bizcocho es una buena alternativa para elaborar productos de calidad aceptable, con mejor aspecto, color, tamaño de poro, menor grosor en la corteza del pan, estructura firme y mayor volumen de CO_2 con respecto a las ultracongeladas a las 24 horas y 7 días.

Por los parámetros determinados se demuestra que la ultracongelación y el tiempo de resguardo son un factor clave en la modificación de características texturales como deformación y resiliencia; además de modificar propiedades fisicoquímicas en la formulación de pan leudado tipo bizcocho.

Este estudio ofrece una alternativa para la elaboración de pan leudado tipo bizcocho empleando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada, apoyándose de técnicas de conservación de alimentos como la ultracongelación.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria de la panificación está teniendo un crecimiento acelerado debido a una mayor demanda de productos de panadería, pastelería y galletería. Tan solo en el 2016 se alcanzó un valor de exportaciones de 481,779 millones de dólares para estos productos y se espera que para el 2020 haya un crecimiento del 4.5% anual (Secretaría de Economía, 2018). Esta demanda no sólo se establece en términos de propiedades organolépticas sino también en términos de conservación, tendencias a lo natural y en elaborar productos que conserven sus propiedades fisicoquímicas por un largo periodo de tiempo. En adición, estas demandas nacen con el objetivo de remplazar los aditivos químicos por ingredientes naturales que benefician la salud del consumidor como el uso de enzimas que permitan obtener fibra dietética y su adición al pan, tener productos libres de gluten, obtener productos arabinosilanos ferulados y la adición de harinas gelatinizadas (Samir et al., 2013). El término durabilidad ha sido un gran desafío para esta industria pues ha sido necesario aplicar técnicas de conservación innovadoras, tal es el caso de la ultracongelación en masas y la gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo.

La ultracongelación es un método de conservación de alimentos que permite alargar la vida de anaquel, retardar los fenómenos de retrogradación y conservar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales aplicando el frío y las temperaturas bajas, en donde la temperatura del alimento desciende rápidamente. Esta técnica ha sido utilizada en panadería especialmente para almacenar las masas por un periodo prolongado de tiempo de entre 3 a 4 semanas (Majzoobi, 2011). Las temperaturas de ultracongelación pueden alcanzar los -40°C , aunque las más utilizadas van desde los -18°C a los -24°C . Esta técnica es utilizada en panificación ya que permite obtener un producto “recién elaborado” por un lapso de tiempo retardando los fenómenos de retrogradación. Además, cuando las masas se almacenan a temperaturas bajo cero pueden permanecer estables durante semanas o meses, algo que permite alargar el tiempo de vida útil, manejo y distribución. Sin embargo, el almacenamiento prolongado deteriora inevitablemente las características de la masa como la disminución en la capacidad de retención de CO_2 , además de que existe una menor producción de CO_2 por la inactivación de la levadura.

Además, debido a una creciente demanda en los productos de panificación y a la necesidad de tener productos con mayor vida de anaquel surge la obligación de aplicar técnicas como la gelatinización de distintos porcentajes de harina de trigo en masas que permitan disminuir los fenómenos de envejecimiento del pan. Esto se debe a que al no haberse llevado a cabo el horneado, parte del almidón de las masas no está gelatinizado, y por consecuencia, retrograda de manera más lenta durante el almacenamiento, además de contener una menor cantidad de agua libre lo que permite obtener un producto fresco “recién elaborado” por más tiempo.

Chung (2006) sugiere la gelatinización de un porcentaje de harina para retardar los fenómenos de retrogradación y hacer más resistente la masa a la digestión enzimática. Además Fuentes (2010) sugiere la gelatinización de un 5% de harina para aumentar la resistencia del almidón, aumentar la flexibilidad y disminuir la dureza de pan (en muffins).

Al combinar la gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo y la ultracongelación de masas esperamos obtener un producto con mayor vida de anaquel que permita retardar los fenómenos de retrogradación. Una de las principales razones de este éxito sería sin duda la velocidad y la comodidad en el cual los alimentos se pueden preparar. Por lo tanto, en este trabajo de investigación se propone la elaboración de masas ultracongeladas utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada para formular un pan leudado tipo bizcocho que permita obtener un producto con mayor tiempo de vida de anaquel.

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1 PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria (Mesas, 2002) y constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años (Díaz, 2011). Al principio era una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes.

Parece que fue en Egipto donde apareció el primer pan fermentado, cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan más ligero y de mejor gusto. Hay datos egipcios (3000 años a. de J.C.) sobre la fabricación de pan y cerveza, que sugieren que fue en esta civilización donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Aleixandre, 1996).

El pan es considerado en muchos lugares como el símbolo de la alimentación ya que acompaña la dieta humana y es el alimento esencial de casi todas las culturas. Sin duda, su evolución ha impactado aspectos económicos, políticos y sociales. Incluso hace años era la mitad de la ingesta diaria y en estas circunstancias los panaderos alcanzaron un lugar predominante en la sociedad, hasta el punto que se les consideró por algunos autores como los primeros “banqueros” (Díaz, 2011).

La evolución del pan no sólo se ha traducido en variedad, sino también en elaborar productos con mayor calidad en términos de sabor, durabilidad, reología y funcionalidad.

En términos de calidad los cereales ya no son los mismos porque la genética, el cultivo, la recolección y la transformación en harina han tenido muchos adelantos, que casi siempre traen consigo mejoras importantes. Si además añadimos la modernización de los hornos, que durante muchos años fueron exclusivamente de leña, hoy permite controlar las temperaturas y los tiempos obteniendo cocciones homogéneas, que contribuyeron a mejorar la calidad del pan.

Durante la era industrial las panificadoras empezaron a utilizar las denominadas levaduras artificiales, blanqueadores, emulsificantes, oxidantes, mejorantes y estabilizantes que han tenido un importante papel, y en general buena acogida por el consumidor, en la historia del pan (Pérez, 2013).

En los últimos 150 años la industria de la panificación ha sufrido una revolución pues las pequeñas panaderías artesanales dieron lugar a la industria de la panificación de alta tecnología. La productividad se convirtió en la clave del éxito pues debido a la alta demanda hoy en día buscamos pan más rico, nutrimentalmente bueno, y con mayor tiempo de vida de anaquel.

Actualmente la industria de la panificación está teniendo un crecimiento acelerado debido a una mayor demanda de productos de panadería, pastelería y galletería. Tan solo en el 2016 se alcanzó un valor de exportaciones de 481,779 millones de dólares para estos productos y se espera que para el 2020 haya un crecimiento del 4.5% anual (Secretaría de Economía, 2018). Esta demanda nace con el objetivo de remplazar los aditivos químicos por ingredientes naturales que beneficien la salud del consumidor como el uso de enzimas que permitan obtener fibra dietética y su adición al pan, tener productos libres de gluten, obtener productos arabinosilanos ferulados y la adición de harinas gelatinizadas (Samir et al., 2013).

Además se incluye la utilización de harinas integrales y almidones modificados en la formulación de masas panaderas, desarrollo y adición de nuevas enzimas para mejorar las harinas, adición de emulsificantes para mejorar las características del pan, incorporación de hidrocoloides para retardar el envejecimiento, incorporación de ácidos grasos omega-3 y aislados de proteínas, utilización de distintos porcentajes de harina gelatinizada en masas ultracongeladas así como la elaboración de pan de otras fuentes de harina como el arroz, el maíz y la avena (Hallberg & Chinachoti, 2002; Sivaramakrishnan et al., 2004; Pszczola, 2005; Miyazaki et al., 2006; Lazaridou et al., 2007; Renzetti et al., 2007; Cano, 2008).

Hoy en día la incorporación de técnicas de conservación como la ultracongelación y la utilización de distintos porcentajes de harina gelatinizada en las masas ha permitido disminuir el fenómeno de retrogradación en el pan y así obtener un producto “recién elaborado” por más tiempo.

La gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo permite disminuir el fenómeno de retrogradación en el pan ya que hay una menor cantidad de agua libre, haciéndolo menos susceptible a sufrir reacciones químicas y microbiológicas responsables del envejecimiento. Al combinar la gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo y la ultracongelación de masas esperamos obtener un producto con mayor vida de anaquel que permita retardar los fenómenos de retrogradación.

1.1.1 Tipos de pan

Actualmente en la industria panadera podemos encontrar una gran variedad de tipos de pan que se clasifican de acuerdo al tipo de ingredientes utilizados y al proceso de cocción (Calaveras, 2000). En el cuadro 1 se muestra la clasificación de los diferentes tipos de pan fermentado:

Cuadro 1. Clasificación de pan fermentado.

TIPO DE PAN	CARACTERÍSTICA
<p>Pan dulce horneado</p>	<p>De miga esponjada en forma hojaldrada Pan con una miga que se descompone en capas pequeñas denominadas hojaldras. Puede o no tener barniz, perteneciendo a este grupo el cuerno y las hojaldras.</p>
<p>Pan fermentado al que se le añade azúcar u otros endulzantes</p>	<p>De miga esponjada homogénea resultado de horneó Pan con una miga pareja (celdas del mismo tamaño) como en el caso del cocol, la concha, el moño, rebanadas, rollos, etc., Algunas veces se combinan con frutas, por lo general se decoran con una tapa dulce, azúcar, coco, ajonjolí, etc. Su corteza es semidura.</p>
<p>Pan dulce frito Pan fermentado al que se le añade azúcar y que ya moldeado se fríe en aceite caliente.</p>	<p>De miga esponjada homogénea resultado de fritura La miga resultante se da al esponjar en el aceite y es homogénea y suave. A este grupo pertenecen las donas, bolas Berlín y trenzas. La dureza de su corteza depende del tiempo de exposición y la temperatura del aceite, se decoran por lo general con azúcar espolvoreada, cobertura de chocolate o en el caso de las bolas Berlín se rellenan con crema pastelera o crema batida.</p>

Pan salado horneado Pan fermentado en el cual se le añade sal o azúcar.	De miga esponjada y corteza dura resultado de horneado Pan fermentado en el cual la cantidad de sal define su sabor, en este grupo entran el bolillo, la telera, la baguette, bollos o medias noches y que pueden decorarse con semillas o azúcar.
	De miga compacta y corteza semi-dura resultado de horneado Pan fermentado al cual se añade sal y azúcar en cantidad muy reducida dando un sabor poco dulce, se elaboran diversas formas de la misma masa, se le conoce como “pan español”. Puede llevar alguna semilla espolvoreada

(Calaveras, 2000).

El pan también se ha clasificado de acuerdo al tipo de leudado: químico o biológico.

Un agente leudante es aquella sustancia química o biológica que otorga a la masa textura porosa y ligera mediante la producción de gas carbónico durante la fermentación y horneado. El leudado es el proceso mediante el cual se produce gas en la masa por la acción de agentes leudantes.

El leudado químico es provocado por la adición de agentes químicos como el bicarbonato de sodio, bicarbonato de potasio y bicarbonato de amonio, siendo el primero el más económico, de mejor pureza y fácil de manejar.

El leudado biológico es provocado por la utilización de algunas cepas de microorganismos, especialmente levaduras, las cuales al metabolizar azúcares producen subproductos como CO₂, etanol, entre otros. Las cepas más utilizadas en panificación son *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces pastorianus*, *Saccharomyces ellipsoideus*, *Mycoderma cerevisiae*, *Torula utilis*, entre otras. La cepa empleada depende del sabor y aroma que se desea obtener en el pan, además de considerar precio y disponibilidad (Figoni, 2011).

El pan leudado es resultado de hornear una mezcla de harina con algunos otros ingredientes como agua, leche, sal, azúcar, grasa, huevo, etc., y que mediante agentes leudantes obtiene características propias como estructura, forma, volumen, color, sabor y suavidad.

En el cuadro 2 se muestra la clasificación de los diferentes tipos de pan leudado por agentes químicos, sólo se considera pan dulce.

Cuadro 2. Clasificación de pan leudado por agentes químicos.

TIPO DE PAN	CARACTERÍSTICA
Esponjado en forma de hojaldre	Pan adicionado con azúcar que tiene miga en forma de pequeñas hojaldras como en el caso del bisquet, el cuadro o la barra elaborados de la misma pasta.
Esponjado suave homogéneo	Pan azucarado de miga esponjada suave, a este grupo pertenecen todo tipo de panques y las magdalenas. Su masa puede mezclarse con frutillas, chispas de chocolate, granillo, nueces, almendras, etc., y puede decorarse con grageas, glaseados, etc.
Compacto semiduro homogéneo	Pan azucarado de miga compacta semi-dura y homogénea, de corteza semi-dura. Entran en este grupo la trenza de canela, las roscas planas, piedras, ladrillos y cochinitos.
Compacto duro homogéneo	Pan azucarado de miga compacta dura y homogénea de corteza dura. Entran aquí todas las galletas, de sabores como vainilla, nuez, coco, anís, etc
Compacto desmoronable homogéneo	Se incluye pan azucarado de miga desmoronable homogénea, de corteza dura. Entran aquí todas los polvorones decorados con azúcar espolvoreada y entran también una especie de panques que se rellenan de queso crema, crema pastelera o de chantilly.
Compacto laminado	Pan azucarado de miga en forma de láminas (conocido como feite) como las banderillas, trenzas, campechanas, orejas y empanadas. Son decoradas con azúcar caramelizada, espolvoreada como azúcar glass o con coco o mermelada.
De miga mixta	Pan azucarado de miga en dos o más formas. Un ejemplo es la combinación miga laminada con miga esponjada suave.

En México destaca una gran variedad de tipos de pan como: conchas, orejas, trenzas, panqué, moño, donas, polvorones, bigotes, besos, pan de muerto, rosca de reyes, cocoles, cuernos y el bizcocho tradicional.

1.1.2 Pan tipo bizcocho

El bizcocho, bizcochuelo o queque es un tipo de masa esponjosa empleada en repostería. Sus ingredientes básicos son harina, azúcar, sal, huevos y grasa. El bizcocho es sometido a la acción del calor en moldes o placas. La temperatura típica de horneado de este tipo de pan oscila los 180-190°C.

Tradicionalmente lo que caracteriza al bizcocho es que contiene tres ingredientes básicos en proporciones definidas (harina, sal, y azúcar). Adicionalmente puede llevar grasa, generalmente mantequilla, aunque también manteca de cerdo o margarina y raramente aceite de oliva. La levadura química suele añadirse para gasificar y, por tanto, dar volumen. El bizcocho además puede contener líquidos en pequeñas cantidades (sobre todo leche pero también algún licor). Contiene otros ingredientes que sirven para aromatizar y darle su sabor distintivo, como ralladura de limón, almendra molida, cacao, coco rallado, etc. Incluso se ha propuesto la adición de mostaza, maíz, soya y maní para mejorar las propiedades nutritivas, de conservación y organolépticas (Tyagi, 2006).

1.2 INGREDIENTES EN LOS PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN Y SUS FUNCIONES

Los ingredientes utilizados en la elaboración de pan dependen del tipo de producto final que se quiera elaborar; sin embargo, podemos decir que los 2 ingredientes fundamentales son la harina y el agua. La harina representa el 100% de la formulación mientras que el agua suele utilizarse en 40%. Esto da como resultado un pan de textura fina y ligera. (Mondal & Datta, 2008). El resto de los ingredientes es utilizado en las siguientes cantidades: 4% levadura, 10% azúcar, 2% de sal y 5-10% de materia grasa (margarina) (Servet, 2008).

1.2.1 Harina

Es el principal ingrediente utilizado en la preparación de productos horneados pues es la encargada de proporcionar estructura al producto. La harina es el ingrediente base para formular y establecer las proporciones de los demás ingredientes. Con fines prácticos se toma como referencia que la harina representa el 100% en peso y partiendo de esto se establecen proporciones y se realizan cálculos para los demás ingredientes. Aunque, cualquier producto procedente de la molturación de un cereal puede denominarse harina, nos referiremos exclusivamente a la procedente del trigo, ya que solamente, el trigo y el centeno producen harinas directamente panificables debido a la elevada capacidad de retener los gases producidos durante la fermentación, que ocasiona

el aumento del volumen de la masa y que esta no se rompa (Albrecht, 1994). La harina de trigo también produce dextrina por acción de enzimas en el almidón. La dextrina es un azúcar que se encuentra en pequeña proporción (0,2%-0,3%) y aporta dulzor al pan, facilita la fermentación y acentúa el color del pan (Molinos Victoria, 2018).

El gluten se forma por hidratación e hinchamiento de proteínas de la harina: gliadina y glutenina. El gluten es la proteína responsable de producir una masa consistente. Esta masa en nuestra mano ofrece una determinada textura, resistente además a la presión de gases producidos durante la fermentación. Este hinchamiento posibilita la formación de la masa al darle unión, elasticidad y capacidad para ser trabajada, retención de gases y que además permite al producto mantener la forma deseada (Callejo, 2002; Lamacchia, 2014). En el cuadro 3 puede observarse la composición química de la harina blanca de trigo.

Cuadro 3. Composición química de harina blanca de trigo.

COMPUESTO	PORCENTAJE
Almidón	60-72%
Humedad	14-16%
Proteína	8-14%
Compuestos nitrogenados	1-2%
Azúcares	1-2%
Minerales	0.4-0.6%
Celulosa, vitaminas, enzima y ácidos	-

(Moreiras y col., 2007).

1.2.2 Harina gelatinizada

La harina gelatinizada es aquella que se somete a un proceso de hidratación, gelatinización del almidón y enfriamiento. En este proceso ocurren cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y reordenamiento del gránulo de almidón con una consecuente pérdida de cristalinidad. Los cambios que ocurren en esta transición dependen de factores como el tipo de almidón, tamaño, velocidad de calentamiento, contenido de humedad, daño mecánico de los gránulos, condiciones de extracción del almidón, etc. La gelatinización de la harina de trigo retarda los fenómenos de retrogradación (Pineda-Gómez et al., 2010).

1.2.3 Masa

Se denomina masa al conjunto de ingredientes como harina, agua, levadura, grasa y azúcar que han sido mezclados de manera homogénea y que no han sido sometidos a un proceso de horneado. Para poder formarla es necesario aplicar el amasado manual o mecánico que es la técnica de mezclado de ingredientes. La masa se forma debido a la alineación de las proteínas del gluten, en los cuales destacan los siguientes fenómenos:

- 1.- Formación del gluten.
- 2.-Activación de las enzimas.
- 3.-Hidratación del almidón.
- 4.-Solubilización de los componentes.
- 5.-Incorporación del aire (Flecha, 2015).

1.2.4 Gluten

El gluten es la proteína del trigo que le confiere a la harina propiedades únicas para obtener una masa viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y preparar productos horneados aireados y livianos como panes, bizcochos, etc (Villanueva, 2014).

Este compuesto contiene alrededor de 80 % de proteínas, 5 a 10 % de lípidos, almidón residual, carbohidratos y proteínas insolubles en agua atrapadas en la masa (Nierle y El Baya, 1990; Zramkova, 2009). Está compuesto de dos clases principales de proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina, proteínas responsables de las diferentes propiedades de panificación de harinas de trigo (Lamacchia, 2014).

1.2.5 Almidón

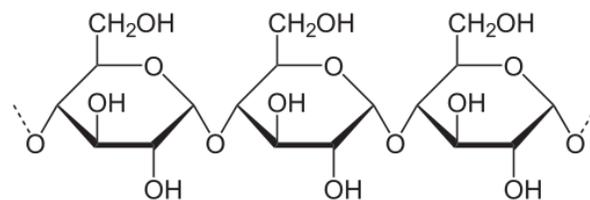
Los granos de los cereales almacenan energía en forma de almidón. La cantidad de almidón contenido en los granos de trigo corresponde entre un 60-75% del peso del grano (Belderok et al., 2000). El almidón es básicamente un polímero de la glucosa. Químicamente el almidón está constituido por amilosa y amilopectina. El almidón de trigo normal contiene típicamente de 20-30% de amilosa y 70-80% de amilopectina (Konik-Rose et al., 2007).

El peso molecular de la amilosa es de 250.000 (1500 moléculas de glucosa) y se encuentra unido mediante enlaces α -(1,4) en su mayoría lineal con un grado de polimerización de 1000 a 5000 unidades de glucosa. La amilopectina en cambio se ramifica en un grado

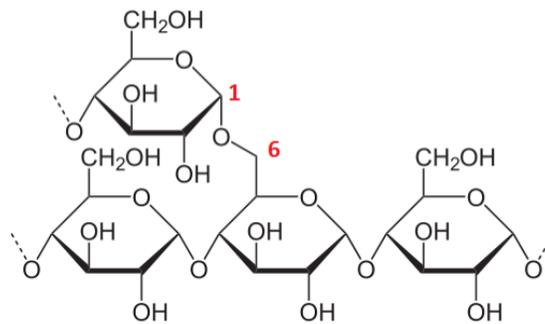
mucho mayor que la amilosa. En promedio la unidad de amilopectina está conformada por sólo 20-25 moléculas de glucosa de largo.

La amilopectina tiene un peso molecular de aproximadamente 10^8 . Además la relación de amilosa-amilopectina es relativamente constante y corresponde a 23. La amilopectina es un polímero de glucosa mucho más grande en el cual están unidos por enlaces α -(1,4) y el 5-6% por enlaces α -(1,6) (Ver figura 1).

Figura 1. Estructura molecular de la amilosa y amilopectina.



a) Amilosa



b) Amilopectina

1.2.6 Azúcares

El azúcar más empleado en la elaboración de pan es la sacarosa que suele ser añadida en solución o en forma cristalina. Este compuesto no sólo se encarga de proporcionarle dulzor y color al producto, también favorece la reacción de Maillard, oscurecimiento no enzimático en el que se producen aromas y sabores deseables en el pan.

Este disacárido en pequeñas cantidades sirve como sustrato para que la levadura pueda producir CO_2 y así brindarle volumen a la masa. Sin embargo, el azúcar en concentraciones mayores a 30% en peso de harina tiene efecto negativo sobre el pan ya que retarda el

proceso de fermentación al provocar estrés osmótico provocando daño celular en la levadura (Verstrepen et al., 2004). Además debilita la red por competir con el gluten por el agua disponible. Las altas concentraciones de azúcar son más comunes en las masas para bizcochos y galletas (Trinh et al., 2015).

El azúcar en proporciones adecuadas ablanda los productos de masa y puede ayudar al producto horneado a dorarse. Otra ventaja es que la humedad se conserva más tiempo en los panes endulzados que en los panes sin azúcar, esto se debe a que el azúcar al ser un compuesto higroscópico tiende a captar las moléculas de agua disminuyendo su pérdida en el proceso de cocción (Barreto, 2015).

1.2.7 Levadura

La levadura es un microorganismo de forma esférica, ovalada o cilíndrica y característica de la cepa comercial *Sacharomyces cerevisiae*. Esta cepa es utilizada por la mayoría de los panaderos debido a su alta capacidad para brindar volumen al pan transformando ciertos metabolitos como la sacarosa en CO₂, presenta bajo costo y es fácil de manejar.

Se pueden distinguir dos tipos de levadura: a) La levadura en pasta fresca y b) En polvo.

La primera, es una pasta de color amarillento y de olor característico, que no debe presentar ningún tipo de hongo y tampoco debe de presentar estado de sequedad, ya que de lo contrario no se obtendrían los mismos resultados en el producto final. A este tipo de levadura, se recomienda un almacenamiento corto a una temperatura de 2 a 3°C, debe de ser de consumo inmediato, de preferencia en un lapso de 24 horas.

La levadura en polvo es de más fácil manejo ya que no necesita ninguna restricción especial, su utilización se limita a procesos en los cuales se realiza una premezcla de ingredientes secos y que al hidratarla funge y tiene las mismas propiedades que la levadura convencional (Coronado, 2000).

Las condiciones óptimas de crecimiento oscilan entre los 25-30°, sin embargo en condiciones de refrigeración, la levadura disminuye su actividad y sólo puede mantenerse viva durante un periodo limitado de tiempo, por lo cual al utilizarla los utensilios, materiales e ingredientes deben mantenerse tibios para obtener mejores resultados.

Tan pronto como la levadura es añadida a la masa, esta comienza a alimentarse del almidón y de la sacarosa produciendo azúcares simples, alcohol y CO₂. Este último compuesto provoca que la masa se expanda usualmente el doble del volumen original. Es importante

considerar que si la mezcla se deja por un periodo prolongado de tiempo en fermentación el alcohol se oxida produciendo un sabor amargo en el producto (Shehzad et al., 2012).

1.2.8 Agua

Es el segundo componente más importante en la formulación solo después de la harina y constituye el 40% de la masa del pan y corresponde a un 35% en el pan horneado. Cerca del 46% del agua en la masa está asociado con el almidón, 31% con la proteína y 23% con pentosas (Bushuk et al., 1964; Panis, 2016).

El agua en la masa es fundamental ya que se encarga de proporcionar cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad al producto (Panis, 2016). Sin embargo su absorción depende en gran parte de la concentración utilizada de ingredientes como la sal, azúcar y la grasa. Al aumentar la concentración de sal o azúcar hay competencia de estos compuestos por el agua lo que provoca que las proteínas disminuyan su capacidad de retención.

El monóxido de dihidrógeno juega un papel importante en los cambios provocados durante la preparación de la masa como: gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, inactivación de enzimas y levadura y del desarrollo de color y olor en el producto (Pomeranz, 1985). Además facilita la distribución de los ingredientes y hace posible la formación de gluten y el acondicionamiento de los almidones, determina la consistencia y temperatura de la masa dándole suavidad a la miga, y proporcionándole a la levadura las condiciones óptimas de humedad para crecer. También evita el desecamiento de la masa durante la fermentación y permite un mejor desarrollo de la pieza durante la cocción, mejorando el brillo, rendimiento y la sensación de los productos horneados en la boca con una calidad aceptable (Edwards, 2007).

1.2.9 Sal

La sal es un aditivo químico muy importante, no sólo por los efectos de palatabilidad, sino porque también afecta propiedades físicas y estructurales (Toyosaki, 2013). Las razones principales para utilizar sal en los productos de panificación se divide en tres categorías principales:

- a) Proceso: La sal es un compuesto higroscópico, es decir, tiende a captar moléculas de agua y a competir con el azúcar. Al haber menos sal en la masa, la acción de la levadura será más de lo normal pues hay poca competencia y la levadura puede

utilizar más sacarosa como sustrato, y por lo tanto, habrá menos azúcar para la caramelización dando como resultado un color de corteza pobre.

Por otro lado si hay más sal habrá mayor competencia con la sacarosa lo que provoca que la levadura no pueda utilizar toda el azúcar y ésta esté disponible en el proceso de cocción, originando un color más oscuro en la corteza (Miller, 2008).

La sal también actúa principalmente sobre la formación del glúten, ya que la gliadina, uno de sus dos componentes, tiene menos solubilidad en el agua con sal, lo que da lugar en una masa obtenida con agua salada a la formación de una mayor cantidad de glúten (Luchian et al., 2010; Hosenev, 1994).

- b) Razones sensoriales: Es utilizada para mejorar el sabor del producto y resaltar o hacer contraste con los sabores de los otros ingredientes.
- c) Objetivo de preservación: Al ser un ingrediente higroscópico la sal capta moléculas de agua y disminuye la actividad de agua del alimento por lo que hay menos agua libre susceptible a sufrir reacciones microbiológicas o fisicoquímicas de deterioro.

Sin embargo, utilizar concentraciones de sal demasiado elevadas puede provocar lisis de la levadura, por lo que la masa resultante es holgada y pegajosa en la textura, el manejo se vuelve difícil y el volumen del pan es pobre (Luchian et al., 2010).

1.2.10 Grasa

La grasa es un compuesto orgánico que se forma de carbono, hidrógeno y oxígeno. Este ingrediente es uno de los más utilizados en la industria panificadora y usualmente es manteca sólida, margarina, mantequilla o en forma líquida y se emplean principalmente para facilitar la manejabilidad, dar color y textura al producto y brindar una sensación grasosa en el paladar además de aportar sabor (Mondal & Datta, 2008).

Al añadir a la masa grasas emulsionantes se forma una sutil capa entre las partículas del almidón y la red de gluten, por lo tanto, estas grasas transforman la superficie hidrófila de las proteínas en una superficie más lipófila; esta capacidad de los lípidos de aglomerar y por consiguiente de ligar las diferentes mallas del gluten aumenta simultáneamente la posibilidad de estiramiento.

La adición de grasas emulsionantes confiere a la miga una estructura fina y homogénea ya que el gluten, al tener la posibilidad de estirarse sin romperse, retiene las burbujas de gas generadas durante la fermentación. Es decir, actúa como lubricante del gluten, haciéndolo

más suave y elástico, aumentando con ello su capacidad de retención de gas además de extender la vida útil de anaquel del producto (Magaña et al., 2011).

Además al formar la película entre el gluten y el almidón, la grasa impide la migración de humedad del interior de la miga al exterior, favoreciendo que el producto sea más suave y fresco, confiriendo una mayor vida de anaquel y favoreciendo la formación de una corteza brillante de mejor aspecto. No obstante su utilización excesiva puede originar pérdida de volumen y dar lugar a una textura y gusto graso indeseable que promueve el enranciamiento del pan.

1.3 REACCIÓN DE MAILLARD

La reacción de Maillard es una reacción de condensación de azúcares con aminoácidos que al aumentar la temperatura produce sustancias pardas.

En primera instancia los azúcares que intervienen en la condensación inicial del azúcar-amino deben tener un grupo carboxilo libre, es decir, los disacáridos como la lactosa y la maltosa son capaces de interaccionar, mientras que la sacarosa, como azúcar no reductor no presenta esta reacción a menos que sea hidrolizada en glucosa y fructosa (Hellwig et al., 2014).

Esta reacción se favorece en pH ligeramente alcalino y alcanza un máximo de velocidad a pH 10. Por lo tanto los alimentos ácidos no están sujetos a este tipo de oscurecimiento.

El paso intermedio de este mecanismo implica la eliminación del grupo amino a través de reacciones de deshidratación, ciclación, fragmentación o condensación que induce la producción de hidroximetilfurfural y furfural, los cuales son compuestos incoloros pero que al oxidarse produce pigmentos amarillos de bajo peso molecular con 3 o 4 átomos de carbono que influyen en las propiedades de sabor y olor en el pan.

La última fase consiste en la producción de melanoidinas, el cual es un proceso que implica la polimerización de compuestos formados en la fase intermedia como el furfural y el hidroxifurfural para producir el 3-desoxihexosona y el metildicarbonilo (Hernández, 2009).

1.4 RETROGRADACIÓN

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrógeno. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa.

Hay dos rutas por las que se puede llevar a cabo la retrogradación que dependen de la concentración y temperatura del sistema:

-Rápida. Al calentar una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible.

-Lenta. Una solución diluida, se vuelve opaca y precipita cuando después de calentarse, se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente.

La retrogradación está directamente relacionada con el envejecimiento del pan, esto es porque durante el cocimiento del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del gránulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de tal manera que los restos de gránulo (ahora ricos en amilopectina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe a la asociación de cadenas de amilopectina dentro del gránulo, después de haber perdido parte de la amilosa (Badui, 2006).

Sin embargo, la retrogradación no se correlaciona con la dureza del pan, pues esta dureza se debe en gran parte a la formación de enlaces de hidrógeno entre los gránulos de almidón gelatinizado y la red de gluten en el pan, enlazándose junto a la red de proteína continua y los gránulos remanentes discontinuos. Durante el horneado se forman enlaces cruzados (por puente de hidrógeno) entre el almidón y el gluten; luego, durante el almacenamiento, tanto el número de interacciones como su fuerza se incrementan. En el recalentamiento, la frescura del pan se recupera debido a que los enlaces de hidrógeno y a que el enredo de las moléculas de los polímeros del almidón y el gluten, se rompen (Luna-Fernández, 2011).

1.5 GELATINIZACIÓN

La gelatinización es el proceso mediante el cual los gránulos de almidón son calentados entre 60-70°C en exceso de agua y ocurre una fase de transición de una estructura granular ordenada a un estado desordenado. Varios cambios ocurren durante este proceso incluyendo la absorción de calor por los gránulos de almidón, pérdida de la cristalinidad

medida por la pérdida de birrefringencia, hinchazón de los gránulos y aumento en la viscosidad de la suspensión (Jane, 2015).

En agua fría los gránulos de almidón tienen una estructura organizada de elevada estabilidad (son insolubles) y presentan un ligero hinchamiento en el rango de 8-10°C. Sin embargo, al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo permitiendo la lixiviación (liberación) de la amilosa y más lentamente de la amilopectina por lo que se pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia. En consecuencia los granos de almidón sufren ruptura formándose una suspensión viscosa (Wang, 2016).

El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Para el almidón de trigo el rango de temperatura de gelatinización óptimo es de 65-75°C aunque se observa una segunda transición a los 100°C (Rosell et al., 2014). Esto se debe a que el trigo contiene significantes cantidades de lípidos y amilosa, lo que facilita la formación del gel a elevadas temperaturas sin dañar la red, manteniendo su estabilidad.

El efecto de la sacarosa y la sal en la temperatura de gelatinización ha sido estudiado ampliamente y se ha demostrado que al aumentar la concentración de sacarosa o sal, aumenta la temperatura de gelatinización; esto es debido a que hay una reducción de la movilidad del disolvente y hay una disminución en la actividad de agua impidiendo la penetración total del agua dentro del gránulo. Hosney et al., (1982) sugirieron que las interacciones azúcar-almidón estabilizan las zonas amorfas gracias a la sacarosa formando puentes entre las cadenas de almidón y por lo tanto incrementando la energía requerida para la gelatinización del almidón. En otras palabras los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo no se rompen y no permiten que el agua se asocie con los grupos hidroxilos libres.

La gelatinización por lo tanto está influenciada por diversos factores, tales como la cantidad de agua, la temperatura, el tiempo de calentamiento, la agitación, la presencia de ácido, azúcares y grasas. Estos factores necesitan trabajar en sincronía con la finalidad de que se presente la máxima gelatinización en los almidones (Brown, 2014).

1.6 ULTRACONGELACIÓN

La ultracongelación es un método de conservación de alimentos que permite alargar la vida de anaquel, retardar los fenómenos de retrogradación y conservar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales aplicando el frío y las temperaturas bajas, en donde la temperatura del alimento desciende rápidamente. Esta técnica ha sido utilizada en panadería especialmente para almacenar las masas por un periodo prolongado de tiempo de entre 3 a 4 semanas (Majzoobi, 2011). Las temperaturas de ultracongelación pueden alcanzar los -40°C , aunque las más utilizadas van desde los -18°C a los -24°C .

Esta técnica es conocida desde 1950, sin embargo empezó a utilizarse más en 1970 en Estados Unidos; esto fue debido a que tuvo que desarrollarse nueva información para implementar esta nueva tecnología. Este método de conservación permite tener productos frescos de buena calidad prácticamente elaborados a cualquier hora.

Cuando empezó a utilizarse esta tecnología el pan obtenido no era de buena calidad ya que su volumen era bajo y la textura era gruesa además de que tenía poco tiempo de vida de anaquel. Hoy en día estos problemas han sido corregidos y se ha logrado alargar el tiempo de vida de las masas por 6 meses aunque frecuentemente es disminuido este periodo debido a fallos en el almacenamiento, transporte, etc (Selomulyo, 2007).

La producción de masas congeladas se ha visto incrementada debido a la gran variedad de productos que podemos obtener. Desde el punto de vista industrial, las masas congeladas han sido bien vistas debido a que no requieren de personal altamente capacitado para la preparación de dichas masas, lo que se traduce en menos costos. Las masas congeladas además son obtenidas a partir de un proceso altamente mecanizado en grandes compañías que pueden reducir los costos de producción y mano de obra lo que permite obtener un producto de calidad uniforme en cualquier momento. Sin embargo, la producción de masas congeladas ha cambiado los procesos de producción, materia prima, maquinaria, almacenamiento y transporte (Giannou et al., 2003; Le-Bail, 2010).

Para poder tener el máximo rendimiento es importante seleccionar ingredientes de alta calidad ya que durante el proceso de ultracongelado se ejerce estrés sobre la masa que puede provocar deterioro del producto. En el caso de la harina es importante utilizar variedades que permitan obtener un gluten fuerte que presente altos valores de energía de deformación de masa o hacer mezclas apropiadas que permitan obtener la resistencia

deseada. La elección de ingredientes, formulación y proceso es importante para obtener un producto con buenas propiedades nutrimentales, químicas y texturales (Zhu, 2014).

En general la calidad de un pan horneado elaborado con masas congeladas se deteriora gradualmente durante el almacenamiento. Dos factores han sido identificados como posibles razones de la pérdida de la calidad del pan:

- 1) Menor producción de CO₂ debido a la disminución en la actividad de la levadura.
- 2) Pérdida gradual de la fuerza en la masa.

En el caso de la pérdida gradual de la fuerza en la masa se han propuesto dos explicaciones: a) Liberación de sustancias reductoras de disulfuro de las células de levadura muertas. (Takagi, 2015) y b) ruptura de la red de gluten por los cristales de hielo formados debido a la contracción de gas durante el enfriamiento (Le-Bail, 2010).

Los procesos de ultracongelación-descongelación promueven una reducción en la resistencia a la extensión, esto se ha relacionado con algunos componentes producidos por las células muertas de la levadura (glutión) y además a un cambio en el peso molecular de las gluteninas (Ribotta, 2003; Dasappa, 2002). El glutión puede romper los enlaces disulfuro entre las proteínas provocando un efecto debilitante en el gluten. En adición, las interacciones hidrofóbicas juegan un papel importante en el la integridad de la red. Estas interacciones se vuelven débiles cuando la temperatura disminuye, por lo que un periodo largo de ultracongelación de la masa afecta la estabilidad de la red de gluten.

La presencia de cristales de hielo formados durante la congelación también influye en la ruptura estructural de la red, si los cristales formados son pequeños habrá menos daño en la red, sin embargo, cuando se forman cristales grandes el deterioro es mayor (Seguchi, 2003). Por lo tanto se recomienda que las temperaturas óptimas de congelación oscilan entre -20°C y ultracongelación a -40°C por una hora (LeBail, 2006). Además está relacionado con la capacidad de retención de agua; al congelar y descongelar las masas incrementa la cantidad de líquido liberado, lo cual podría ser reducido con la adición de sal, azúcar, o hidrocoloides en la formulación.

La debilidad de la red dependerá entonces de factores como el tiempo de congelación, resistencia de la masa al estrés producido en el proceso, tiempo de horneado, etc. Tener una red de gluten débil conlleva a obtener un pan con superficie plana, miga con textura dura y una gran cantidad de células de aire no uniformes, en pocas palabras un pan de mala calidad.

La levadura juega un papel importante en el proceso de ultracongelación ya que entre mayor sea su resistencia a las bajas temperaturas mayor será el volumen de CO₂ que se produzca. Si la levadura muere, la producción de gas se verá disminuida en el proceso de fermentación. Investigadores han desarrollado levaduras genéticamente modificadas por adición de aminoácidos con alta tolerancia a bajas temperaturas (Hancock, 2010; Reed, 2012). Inicialmente se creía necesario retrasar el proceso de fermentación, es decir, congelar las muestras sin fermentar (Jackel, 1991; Neyreneuf, 1991). Estudios más tarde revelaron que la prefermentación antes de congelar incrementa el volumen del pan horneado (Le-Bail, 2010).

La cepa más utilizada es *Saccharomyces cerevisiae*, y se ha comprobado que hay una gran variación en la sensibilidad a la congelación, esto se ha relacionado con su contenido plasmático. El contenido lipídico y la estructura química influyen en la tolerancia de la levadura a las temperaturas bajas y es que se ha encontrado una relación entre la carga de aminoácidos. Se ha reportado que la L-prolina que es un aminoácido presente en la levadura tiene actividad crioprotectora en *S. cerevisiae* y podría proteger a las células del estrés oxidativo (Terao, 2003).

Otros compuestos que también actúan como crioprotectores son la trehalosa que suele ser añadido en un 4-5% para evitar el daño a la levadura por congelación (Wang, 2010) y la adición de glicerol en un 1-20% del peso de la levadura para proteger la célula (Olivera, 2011).

Actualmente hay cepas como *S. fructuum* y *Torulaspora delbrueckii* que muestran un mayor rendimiento frente a este tipo de procesos. En masas congeladas se recomienda incrementar el nivel de levadura en un 30-100% (Thombre, 2017).

Las condiciones de ultracongelación tienen una gran influencia en la calidad del pan. El tiempo de fermentación debe incrementar con el aumento del tiempo de congelación. No se han observado diferencias significativas entre los métodos de congelación durante las primeras 11 semanas con respecto a la firmeza y textura del pan, pero después de ese tiempo las muestras almacenadas a -20°C se deterioran rápidamente (Havet, 2000). También se ha demostrado que el enfriamiento de las masas a alta velocidad produce un gran daño a la levadura y en la estructura de gluten, aunque el daño es menor con respecto al enfriamiento a baja velocidad. El almacenamiento prolongado aumenta la firmeza de la

miga. La temperatura y tiempo de congelación es determinado por el tipo de pan (Dobraszczyk, 2003).

Cuando el centro del producto alcanza los -20°C es importante controlar las fluctuaciones de temperatura para evitar migración de agua y cambios en la presión osmótica por lo cual el transporte y almacenamiento es fundamental para mantener la calidad del producto (Zounis, 2002).

1.7 DESCONGELADO Y HORNEADO

El descongelado y horneado son procesos en los cuales las masas congeladas deben ser descongeladas y fermentadas antes de ser horneadas y reducir la humedad relativa en un 75%; de otra forma la condensación producida podría formar manchas en la superficie, además de no colocar ninguna superficie encima del pan pues se disminuiría la capacidad de fermentación. Es normal que las masas horneadas previamente congeladas tengan un menor volumen, miga más dura con una distribución de poros no uniformes y una superficie rugosa en comparación con un pan preparado instantáneamente debido a la ruptura de la estructura proteica; sin embargo la calidad puede mejorarse adicionando emulsificantes, gluten, hidrocoloides u otros aditivos (Wang, 2017).

1.8 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN DE MASAS Y PAN

Las técnicas de caracterización de masas y pan han avanzado considerablemente los últimos 50 años. Con estos avances hoy en día es posible elaborar, modificar y mejorar formulaciones que permitan obtener un producto con mejores propiedades fisicoquímicas, estructurales y sensoriales. La caracterización de masas congeladas incluye técnicas como volumen, firmeza, color, análisis de extensibilidad y resistencia máxima a la extensión, Microscopia de Resonancia Magnética (MRM), Microscopia de Resonancia de Imagen (MRI), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), análisis de birrefringencia, Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), difracción de rayos X, volumen producido en la fermentación y horneado, medición del tiempo que tardan en llegar las masas de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C), entre otras. Para la caracterización del pan las técnicas más utilizadas son color, volumen, peso, determinación de propiedades estructurales y de deformación, resiliencia, entre otras (Upadhyay, 2012).

1.8.1 Volumen producido en la fermentación y horneado

El volumen es una propiedad que permite determinar indirectamente la estabilidad del pan. Uno de los métodos más utilizados para hacer esta determinación es utilizando la técnica de masa directa en donde se consideran los criterios de absorción de agua y el tiempo de amasado (Espitia et al., 2017).

El pan hecho con masas congeladas presenta menor volumen en comparación al hecho con masa fresca. Esto se debe principalmente a la alteración estructural en la masa causada por el congelamiento. La alteración de las propiedades texturales de la masa causa una reducción en la formación de la red debido a los enlaces disulfuro y una menor elasticidad en la masa del pan y por lo tanto hay menor retención de CO₂ en la red.

Esta disminución de volumen en el pan también se debe a una menor actividad de la levadura y por lo tanto a una menor producción de gas y menor volumen en el pan elaborado. La levadura en congelación pierde su capacidad de producir gas. Al morir la levadura produce sustancias secundarias que pueden reducir el contenido de gluten. Por lo tanto la disminución de volumen en el pan es provocado por la alteración estructural de la red de gluten por la congelación, viabilidad y actividad de la levadura y por sustancias reductoras (Jinhee Yi, 2008).

1.8.2 Firmeza del pan

La firmeza o suavidad es uno de los atributos de textura más importantes en panificación ya que es un indicador de la calidad del pan (Ordoñez, 2012). Se asume que un pan menos firme o con mayor suavidad es más deseable para el consumidor. La firmeza de la miga está estrechamente relacionada con la integridad de la red de gluten, el grado de reticulación, la cantidad de gas incorporado y de los componentes estructurales del pan (Ribbotta et al., 2004).

Con el incremento en el tiempo de almacenamiento la firmeza aumenta, la cual puede venir de la despolimerización de la glutenina y de la retrogradación de la amilopectina en el pan elaborado con masas congeladas.

1.8.3 Color del pan

El color es una propiedad física de la luz emitida por los objetos y sustancias que define el aspecto de un producto. En panificación es uno de los parámetros más importantes a determinar ya que indica el nivel de cocción del pan y el grado de caramelización que ha

sufrido el azúcar en un producto horneado. La importancia del color como una característica de valoración física y de calidad en la industria panadera hace necesario disponer de métodos objetivos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles (Rettig et al., 2014).

La determinación de este parámetro en una muestra de pan es una de las medidas básicas de control de calidad para estandarizar un producto. El instrumento utilizado para realizar esta medición es el colorímetro y gracias a este instrumento es posible hacer comparaciones entre diferentes muestras y ser capaz de percibir los cambios físicos ocurridos en un producto panadero y que prácticamente sería imposible de detectar a simple vista.

Con este instrumento es posible expresar y comunicar objetivamente el color del pan horneado para evaluar los atributos, identificar inconsistencias y expresar los resultados en términos numéricos. El espacio de color utilizado $L^*a^*b^*$ es uno de los espacios más utilizados para evaluar el color de un objeto.

Un espacio de color puede ser descrito como un método para expresar el color de un objeto usando algún tipo de anotación, como pueden ser los números. La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), una organización sin fines de lucro que es considerada como la autoridad en la ciencia de la luz y el color, ha definido espacios de color, incluyendo CIE XYZ, CIE L^*C^*h , y CIE $L^*a^*b^*$, para comunicar y expresar el color objetivamente.

El espacio de color $L^*a^*b^*$ fue modelado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo. Como se muestra a continuación, L^* indica la luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas (La Commission Internationale de l'Éclairage, 2018).

L^* =luminosidad

a^* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b^* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

La diferencia de color es definida como la comparación numérica de una muestra con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se la conoce como Delta (Δ). Deltas por L^* (ΔL^*), a^* (Δa^*) y b^* (Δb^*) pueden ser positivas (+) o negativas (-). La diferencia total, Delta E (ΔE^*), sin embargo, siempre es positiva. Éstas son expresadas como:

ΔL^* = diferencia en luz y oscuridad (+ = más luminoso, - = más oscuro)

Δa^* = diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)

Δb^* = diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)

ΔE^* = diferencia total de color

Con los datos obtenidos es posible determinar si un producto se encuentra dentro de la tolerancia establecida que es definida entre una muestra y un estándar.

1.8.4 Textura (extensibilidad y resistencia máxima a la extensión)

La textura es una propiedad o indicador importante de la frescura y calidad del pan para el consumidor, por lo que es un factor esencial para la aceptación del producto en el mercado (Osuna et al., 2013). Las propiedades texturales en un pan son un parámetro importante para determinar el grado de retrogradación de un producto. Estas propiedades texturales se ven afectadas por factores como naturaleza de los ingredientes utilizados, tiempo y temperatura de congelación de las masas y tiempo de fermentación y horneado. La extensibilidad entonces puede definirse como la capacidad de la masa a extenderse durante la producción de gas por la levadura. Una extensibilidad demasiada elevada resulta en una masa débil y floja la cual colapsa durante el horneado (Sharadanant et al., 2003).

Esta extensibilidad puede ser medida con un extensógrafo utilizando muestras de aproximadamente 150g de peso a una temperatura de 30°C por 45 minutos (Woosung et al., 2014).

Por otra parte la resistencia máxima a la extensión mide la habilidad de la masa a retener gas y en consecuencia a formar un pan elástico. Una baja resistencia a la extensión resulta en poca retención de gas y un bajo desarrollo de volumen. Una elevada resistencia a la extensión también resulta en poco volumen porque la masa no es capaz de tener un peso óptimo con el gas producido por la levadura (Sharadanant et al., 2003).

Según descubrió Jinhee Yi (2008) las propiedades texturales del pan están en función del tiempo y temperatura de congelación. El estudio demostró que todas las muestras sometidas a congelación presentaban una menor extensibilidad y resistencia a la extensión que el control. La extensibilidad y resistencia disminuyó conforme pasó el tiempo de 0 a 180 días de almacenamiento. Por ejemplo, la resistencia fue de 49.68 a 56.99g (gramos fuerza) en 30 días y de 29.17 a 33.68g a 180 días.

En cuanto a la extensibilidad a los 30 días varió de 74.45mm (a -10°C) a 76.84mm (a -35°C). Después de 180 días de almacenamiento la extensibilidad fue de 49.94mm (a -10°C) a 70.04mm (a -35°C). La congelación afectó la extensibilidad y puede observarse que a -35°C hay una mayor extensibilidad en las muestras que a temperaturas de -10°C. Sin embargo en comparación con el control hay menor extensibilidad lo que nos indica que hay daño en la estructura de red de gluten y particularmente debido al alto peso molecular de las gluteninas.

Es bien sabido que congelar rápidamente y emplear bajas temperaturas de congelación promueve la formación de cristales pequeños debido a que aumenta la nucleación (Kerr et al., 1987). Por otra parte la congelación lenta promueve la formación de cristales largos que son responsables de afectar la red de gluten y deshidratarlo provocando daños irreversibles.

1.8.5 Microscopía de Resonancia Magnética (MRM) y Microscopía de Resonancia de Imagen (MRI)

La Microscopía de Resonancia Magnética (MRM) y la Microscopía de Resonancia de Imagen (MRI) son herramientas de notable alcance para el avance del conocimiento científico en el ámbito panadero. Estas técnicas permiten crear imágenes en 3D de organismos vivos o muertos sin dañar el tejido o estructura.

La calidad de un producto está estrechamente relacionado con las propiedades de la masa. La técnica de MRM es utilizada para monitorear al proceso de fermentación y las características del producto terminado. El pan ha sido ampliamente estudiado utilizando varias modalidades de imagen, desde la fotografía convencional a técnicas de alta resolución como microscopía electrónica de barrido, tomografía computarizada de rayos X y resonancia magnética de imagen. La MRM presenta numerosas ventajas sobre las demás técnicas, ya que es no invasiva, permite determinar de manera precisa el contenido de humedad y tiene una alta resolución espacial (Bajd et al., 2010).

Por ejemplo Ishida et al., (2001) empleó MRI para analizar diferencias en la estructura entre pan preparado con masa fresca y congelada. Para mejorar el contraste de la imagen y disminuir los tiempos de relajación mojó las muestras de pan en acetona y adición de sustancias paramagnéticas.

De Guio et al., (2009) usó los efectos de susceptibilidad en campo bajo MRI (0.2T) para estudiar el desarrollo de poros en diferentes masas (con levadura y sin levadura) durante

el proceso de fermentación. Los resultados del estudio mostraron que los poros tienen tamaño y distribución gaussiana con un incremento gradual del tamaño promedio asociado con un aumento en el volumen de la masa durante la fermentación. La resolución y calidad de la imagen es buena aunque carece de resolución espacial. Esto puede mejorarse empleando MRM con el uso de campo alto.

El procesamiento de imágenes es una poderosa herramienta en el análisis de las propiedades texturales de las masas. Las técnicas estándar de procesamiento de imágenes (retención, conteo de partículas, medidas de área y volumen) son insuficientes para extraer toda la información de las masas fermentadas y horneadas. Por lo tanto, las técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes como morfología matemática (dilatación, erosión, apertura, aislamiento) son utilizadas en adición a las técnicas tradicionales (Bajd et al, 2010).

1.8.6 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La Calorimetría Diferencial de Barrido es una técnica de medición de transiciones endotérmicas y exotérmicas que permite determinar las temperaturas de transformación, entalpía de sólidos y líquidos como una función de la temperatura. En panificación esta técnica termoanalítica permite determinar la temperatura y entalpía de gelatinización de los gránulos de almidón. La temperatura pico obtenida está relacionada directamente con la temperatura de gelatinización promedio del gránulo. Las transiciones que se obtienen corresponden a la disociación de moléculas de amilosa y amilopectina dentro de los gránulos de almidón, así como a la lixiviación de amilosa hacia la fase acuosa o continua (Agama et al., 2005).

Hay muchos factores que intervienen en la temperatura de gelatinización, la más importante es la presencia de agua. Esto es debido a que el agua es un agente plastificante en las fases cristalina y amorfa. La presencia de agua disminuye la temperatura de gelatinización de almidón. A menor cantidad de agua la temperatura de gelatinización aumenta y al haber poca cantidad de agua no se garantiza una completa gelatinización de los gránulos (Wang et al., 2016).

Con esta técnica es posible determinar el porcentaje máximo de gelatinización que tiene una muestra de almidón con una humedad determinada (Canónico, 2003).

1.8.7 Análisis de birrefringencia

La birrefringencia es una característica óptica que consiste en la separación de un rayo luminoso en dos, dependiendo del ángulo de incidencia, compartida por estructuras cristalinas anisótropas (cualidades que varían según la dirección en que son examinadas) no cúbicas y estructuras biológicas semejantes. Los gránulos de almidón presentan birrefringencia o la denominada cruz de malta cuando es vista en luz polarizada. La propiedad de la birrefringencia es traída porque las moléculas de almidón están radialmente orientadas dentro del gránulo. El nivel de orientación determina el grado de birrefringencia, sin embargo, no debe ser confundido con cristalinidad; las moléculas pueden estar muy ordenadas sin que necesariamente tengan orden tridimensional de cristalinidad (Muñoz, 2015).

Cuando el almidón es calentado en agua la birrefringencia en luz polarizada se pierde. La pérdida de birrefringencia está relacionada con el contenido de agua, usando 0.1-0.2% de suspensiones y notando los intervalos de temperatura para los diferentes niveles de pérdida. En muestras de trigo la birrefringencia es totalmente perdida a los 65°C o menos. Sin embargo, si el agua es reducida en un 50%, los gránulos de almidón todavía son birrefringentes a los 75°C y si el contenido de agua es menor al 30% los gránulos de almidón presentan birrefringencia incluso después de un tratamiento a 132 °C. La pérdida de la birrefringencia determina el fin de la gelatinización y es un sinónimo de la pérdida de la cristalinidad que puede ser observada en rayos X (Chung, 2010).

1.8.8 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

La microscopía electrónica de barrido es una técnica que permite observar la microestructura de los componentes de las masas gracias a los distintos aumentos que posee el equipo. Las amplitudes más utilizadas son 100x, 500x, 1000x y 2000x. En panificación la MEB permite estudiar el comportamiento y los cambios que sufren los gránulos de almidón sometido a distintas condiciones de estrés fisicoquímico, además permite determinar tamaño y forma del gránulo. Con estas micrografías también podemos observar la estructura proteica de las masas a 2000X que generalmente se presentan en forma de hilos y son las encargadas de unir los gránulos de almidón, aunque es importante considerar que la presencia de algunos ingredientes pueden alterar las condiciones de las masas y por lo tanto las estructuras pueden sufrir cambios (Chen, 2011; Newbury, 2013).

1.8.9 Difracción de Rayos X

La difracción de rayos x es una técnica muy empleada en panificación para determinar el impacto de la congelación en los gránulos de almidón. Las masas se someten a varios ciclos de congelación y descongelación y se observan los cambios que ocurren en cada una de las muestras (Tao et al., 2015).

Esta técnica además permite calcular el tamaño y forma del gránulo. Un aumento en las temperaturas de gelatinización refleja un alto grado de cristalinidad y elevado orden molecular. Un aumento en las entalpías probablemente refleja un gránulo más resistente al gelatinizado que el almidón nativo. Esto se relaciona directamente con el contenido de amilopectina dentro del gránulo. A mayor contenido de amilopectina, mayor solubilidad en fase acuosa y mayor estabilidad a los cambios de temperatura (Rodríguez, 2017).

1.8.10 Determinación del tiempo que las masas tardan en llegar de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C)

A partir de la década de los años 50 los productores de pan han incluido el uso de la masa congelada con el fin de diversificar, modernizar su tecnología y almacenar masas sin hornear cuando no se disponga de tiempo suficiente para hornearlas. Sin embargo, en términos de costes de energía gran parte de la industria aún considera que la ultracongelación de masas es un proceso costoso. Esto se debe a que el tiempo que las masas tardan en ultracongelarse no es igual para todas y está en función de los ingredientes empleados en la formulación. La gelatinización de harinas, el uso de emulsificantes, enzimas, tipo de levadura, y la adición de azúcares son algunos factores que modifican el tiempo que la masas tardan en llegar de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C) (Silvas, 2013).

Los equipos que permiten monitorear el decremento de la temperatura en las masas conforme pasa el tiempo son los ultracongeladores. Con estos equipos es posible monitorear la temperatura de la masa al transcurrir cierto periodo de tiempo hasta llegar a los -18°C . El monitoreo de la temperatura suele realizarse cada 1 minuto. Los resultados obtenidos se grafican y con esto es posible determinar el comportamiento de las masas.

1.8.11 Propiedades microestructurales (tamaño de poro) de la miga

La porosidad es una medida de la fracción del espacio disponible en un material y es parte de la microestructura de la miga. Estos parámetros son muy importantes e influyen en las propiedades físicas del pan. Los poros se forman en el proceso de cocción de la masa y su tamaño y forma dependerán del tipo de harina utilizada, propiedades del gránulo de almidón, ingredientes utilizados, tiempo de fermentación, entre otros (Lawrence, 2017). La miga se caracteriza por tener una estructura compleja de poros pequeños y tamaños variados.

A través de los años se han desarrollado técnicas y métodos que permiten medir el tamaño de poro y las propiedades microestructurales. Anovitz (2015) resumió 10 métodos para determinar el tamaño de poro y las propiedades estructurales de la miga, dentro de los cuales se encuentran:

- Métodos de imagen (Rayos x, microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de barrido de emisión de campo).
- Microscopía óptica.
- Tomografía computarizada de rayos X.
- Resonancia magnética nuclear.
- Porosimetría de mercurio.
- Termoporometría.
- Fisisorción.
- Adsorción de nitrógeno y análisis BET.
- Adsorción de vapor dinámico (DVS).
- Pícnometría y análisis de densidad.

Además, hay métodos heurísticos que permiten determinar el tamaño aproximado del poro y la microestructura de la miga como el uso de hojas milimétricas y papel acetato.

1.8.12 Propiedades texturales de deformación y resiliencia

La reología estudia el flujo y deformación de materiales. En panificación los parámetros reológicos son importantes ya que determinan la calidad del producto. Generalmente para poder medir el comportamiento reológico se define la tensión que se desea aplicar al material después de un periodo de tiempo para medir el tiempo de respuesta (o viceversa), indicando el parámetro que se desea determinar (dureza, viscosidad, resiliencia,

deformación, entre otros). Estas propiedades además son universales, es decir, son independientes del tamaño y forma de la muestra.

Los principales objetivos de la reología son:

- Obtener una descripción cuantitativa de las propiedades mecánicas de los materiales.
- Obtener información relacionada con la estructura molecular y la composición del material.
- Caracterizar y simular el rendimiento del material durante un proceso y para control de la calidad.

Dos de los parámetros más importantes en la reología son la deformación y resiliencia.

La deformación es la propiedad que indica la resistencia de un cuerpo a modificar su estructura física. En panificación es un parámetro importante ya que el pan debe presentar una debida resistencia a un material o proceso que pueda modificar o deformar las características del producto (Dobraszczyk, 2003).

La resiliencia es la capacidad de un material para regresar a su forma original después de ser deformado. En panificación es un parámetro importante ya que está relacionado directamente con el aspecto físico del producto. Al elaborar un pan usualmente se busca que el producto tenga la capacidad de regresar a su forma original después de haber sido deformado.

Estos parámetros pueden ser determinados con ayuda de un texturómetro (Bojana, 2014).

JUSTIFICACIÓN

2. JUSTIFICACIÓN

El sector de la panificación es uno de los más versátiles del mercado. La adaptación no sólo se produce en términos de productos sino en hábito y lugar de compra, así como en durabilidad. Las crecientes tendencias en el mercado han impulsado a esta industria a desarrollar y elaborar productos frescos elaborados a partir de materias primas que le den mayor tiempo de vida de anaquel a los productos de panificación, ya que éstos presentan envejecimiento debido a la retrogradación del almidón presente en la harina de trigo.

Algunas alternativas para conservar las características de los productos de panificación y retardar los fenómenos de retrogradación es la utilización de técnicas de ultracongelación en las masas y la gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo, que permitan ofrecer al consumidor un producto fresco por más tiempo. La razón por la cual la fabricación de masas ultracongeladas utilizando harina de trigo gelatinizada permite contrarrestar el envejecimiento, es que al no haberse llevado a cabo el horneado, parte del almidón de las masas no está gelatinizado, y por consecuencia, retrograda de manera más lenta durante el almacenamiento, además de contener una menor cantidad de agua libre en su estructura, por lo tanto, el pan es menos susceptible a sufrir reacciones y fenómenos de deterioro.

Por tanto, en este trabajo de investigación se propone la elaboración de masas ultracongeladas utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada para formular un pan leudado tipo bizcocho que permita mejorar las propiedades fisicoquímicas, microestructurales y de resiliencia en las masas y el producto horneado. El pan leudado es un tipo de masa esponjosa empleada en repostería. Sus ingredientes básicos son harina, azúcar, sal, huevos y grasa. El bizcocho es sometido a la acción del calor en moldes o placas y su temperatura típica de horneado de este tipo de pan oscila los 180-190°C.

HIPÓTESIS

3. HIPÓTESIS

La gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo en la formulación de pan leudado tipo bizcocho permite mejorar las propiedades físicas, microestructurales y de resiliencia en masas ultracongeladas y en el producto horneado.

OBJETIVOS

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar pan leudado tipo bizcocho a partir de masas ultracongeladas utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada que permita mejorar las propiedades físicas, microestructurales y de resiliencia en masas ultracongeladas y en el producto horneado.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estandarizar una formulación para la elaboración de pan leudado tipo bizcocho empleando masas ultracongeladas con diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada.
- Monitorear las temperaturas de ultracongelación de las masas elaboradas con diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada.
- Determinar el porcentaje de agua perdida de las masas ultracongeladas elaboradas con diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada después del horneado.
- Determinar el incremento de volumen de las masas ultracongeladas elaboradas a partir de diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada después de fermentar.
- Determinar las propiedades microestructurales, de deformación y resiliencia de la miga del pan hecho con masas ultracongeladas elaboradas a partir de diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada.
- Analizar el color del pan hecho con masas ultracongeladas elaboradas a partir de diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIALES

Harina de trigo (carbohidratos 67.3g/100g, proteína 12.78g/100g, lípidos 6.05g/100g fibra dietética 5.59g/100g) marca Hoja de plata® adquirida en Fábrica de harinas Elizondo S.A. de C.V., azúcar estándar marca Ingenio San Miguelito®, grasa mixta comestible marca INCA®, huevo marca Los Portales®, levadura instantánea seca (*Saccharomyces cerevisiae*) marca Nevada®, SAFMEX S.A de C.V/ FERMEX S.A. de C.V., sal de mesa marca La Fina®, agua marca CIEL® (Propimex S.A. de C.V).

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Preparación de la masa para elaborar pan tipo bizcocho

Se prepararon 4 diferentes formulaciones (una formulación sin utilizar harina de trigo gelatinizada (control) y tres utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada). En el cuadro 4 se muestran los ingredientes y las proporciones que fueron utilizadas en la formulación de pan leudado tipo bizcocho.

Cuadro 4. Ingredientes y proporciones utilizadas en la formulación de pan leudado tipo bizcocho.

INGREDIENTE	PORCENTAJE	CANTIDAD
Harina de trigo	100%	300g
Agua	46.6%	140g
Huevo	18.3%	55g
Azúcar	15%	45g
Grasa	5%	15g
Levadura	3%	9g
Sal	1%	3g

5.2.2 Preparación del control

Los ingredientes secos se mezclaron: harina, azúcar, grasa y sal con ayuda de una batidora marca Stand Mixer® operada a velocidad baja durante 5 minutos a temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se añadió la levadura y se mezcló durante 5 minutos a velocidad baja. Transcurrido ese tiempo se agregó agua, huevo y se mezcló durante 8 minutos (6

minutos a velocidad baja y 2 minutos a velocidad media). La masa se pesó en una balanza granataria marca ADVANCE® y se dividió en 4 partes igual en peso. Se bolearon las 4 fracciones obtenidas de la masa original y se colocaron en charolas con manteca vegetal untada.

5.2.3 Preparación del gelatinizado con harina de trigo

Preparación del gelatinizado: La preparación del gelatinizado constó de tres etapas: Hidratación, gelatinización y enfriamiento. En el cuadro 5 se muestran los porcentajes utilizados de harina de trigo gelatinizada para elaborar el pan leudado tipo bizcocho.

Cuadro 5. Porcentajes utilizados de harina de trigo gelatinizada para elaborar el pan leudado tipo bizcocho.

PORCENTAJE DE HARINA GELATINIZADA	CANTIDAD	CANTIDAD DE HARINA SIN GELATINIZAR	TOTAL
2.5%	7.5g	292.5g	300g (100%)
5%	15g	285g	300g (100%)
7.5%	22.5g	277.5g	300g (100%)

5.2.3.1 Hidratación de la harina de trigo

Con ayuda de la balanza granataria se pesó el porcentaje de harina de trigo a gelatinizar y se colocó en un vaso de precipitado de 250mL marca KIMAX®, se agregaron 100mL de agua y se dejó en agitación media durante 20 minutos con ayuda de una parrilla eléctrica y una mosca de agitación.

5.2.3.2 Gelatinización de la harina de trigo

Se preparó un baño María y el agua se calentó hasta alcanzar 80°C con ayuda de una parrilla eléctrica marca CORNING®. La muestra se colocó y al superar los 70°C se mantuvo durante 20 minutos en agitación rápida con ayuda de una mosca de agitación cubriendo el vaso de precipitado con papel aluminio.

5.2.3.3 Enfriamiento del gelatinizado

El gelatinizado se enfrió rápidamente utilizando agua y una manta fría hasta que la temperatura alcanzara los 30°C. El tiempo aproximado de enfriamiento fue de 20 minutos.

5.2.4 Preparación de la masa utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada

Los ingredientes secos se mezclaron: harina, azúcar, grasa y sal con ayuda de una batidora operada a velocidad baja durante 5 minutos a temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se añadió la levadura y se mezcló durante 5 minutos a velocidad baja. Transcurrido ese tiempo se agregó el gelatinizado, el huevo y el agua restante y se mezcló durante 8 minutos (6 minutos a velocidad baja y 2 minutos a velocidad media). La masa se pesó y se dividió en 4 partes igual en peso. Se bolearon las 4 fracciones obtenidas de la masa original y se colocaron en charolas con manteca vegetal untada.

5.2.5 Ultracongelación y resguardo de las masas

La ultracongelación y resguardo de las masas se realizó siguiendo la siguiente metodología:

- 1.-La masa se elaboró de acuerdo a la formulación requerida.
- 2.-La masa elaborada se colocó en una charola y se introdujo en un ultracongelador T40 Cod. 71503526/0.
- 3.-El equipo se programó previamente para que la masa llegara a los -18°C de temperatura.
- 4.-Una vez ultracongelada la masa se retiró del equipo y se colocó en una bolsa de plástico.
- 5.-La bolsa de plástico con la masa contenida se pasó a un congelador VWR-U2029GA14 con una temperatura del equipo de -12°C .
- 6.-El tiempo de resguardo para las masas en el congelador fue de 24 horas y 7 días de acuerdo a la formulación.

5.2.6 Determinación del tiempo que las masas tardan en llegar de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C)

Para la determinación del tiempo que las masas tardan en llegar de la temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) a la temperatura de ultracongelación (-18°C) se siguió la siguiente metodología:

- 1.-La masa se elaboró de acuerdo a la formulación requerida.
- 2.-La masa elaborada se colocó en una charola y se introdujo en un ultracongelador T40 Cod. 71503526/0 programado previamente para que la temperatura de la masa alcanzara los -18°C .
- 3.-Se monitoreó la temperatura de la masa conforme pasaba el tiempo (cada 1 minuto) registrando la temperatura de la muestra.
- 4.-Se realizó una gráfica de tiempo vs temperatura para observar el comportamiento.

5.2.7 Fermentación y horneado

Las charolas se colocaron dentro de una incubadora marca NOVATECH® modelo E 180-ED-E SP con número de serie 058045 por 30 minutos a una temperatura de 30°C . Transcurrido ese tiempo las muestras se introdujeron en un horno de convección plus HCX II marca San-Son® que había sido precalentado previamente. Las muestras se hornearon durante 20 minutos a una temperatura de 180°C . Transcurrido el tiempo las muestras fueron retiradas del horno y se dejaron enfriar por 15 minutos hasta alcanzar temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$ y se colocó en bolsas de plástico a prueba de agua, hasta el momento de los análisis.

5.2.8 Determinación del porcentaje de agua perdida después del horneado

Para llevar a cabo la determinación del porcentaje de agua perdida después del horneado se siguió la siguiente metodología:

- 1.-Se elaboró la masa de acuerdo a la formulación requerida.
- 2.-La masa se colocó en una charola y se introdujo dentro de una incubadora marca NOVATECH® modelo E 180-ED-E SP con número de serie 058045 por 30 minutos a una temperatura de 30°C para llevar a cabo la fermentación, respetando los tiempos de resguardo.
- 3.- La masa fermentada se pesó en una balanza granataria marca ADVANCE® y se registró el peso obtenido.
- 4.-Las charola fue retirada de la incubadora y se introdujo dentro de un horno de convección plus HCX II marca San-Son® que había sido precalentado previamente. Las muestras se hornearon durante 20 minutos a una temperatura de 180°C .
- 5.-Transcurrido el tiempo las muestras fueron retiradas del horno y se dejaron enfriar por 15 minutos hasta alcanzar temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

6.-El pan se pesó en una balanza granataria marca ADVANCE® y se registró el peso obtenido.

7.-Se determinó el porcentaje de agua perdida por diferencia de pesos usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Agua perdida} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

A=Peso de la masa sin hornear.

B=Peso de la masa horneada.

5.2.9 Determinación del incremento de volumen de la masa al fermentar

Para determinar el incremento de volumen en las masas se siguió la siguiente metodología:

- 1.-Se elaboró la masa de acuerdo a la formulación requerida.
- 2.-Se tomó una porción de 10g de la “masa madre”.
- 3.-La porción de masa se colocaba dentro de una probeta graduada marca KIMAX® de 100mL antes de fermentar sin aplastar o hacer uso excesivo de la fuerza al momento de colocarla.
- 4.-La porción de masa se colocó dentro de la incubadora marca NOVATECH® modelo E 180-ED-E SP con número de serie 058045 por 30 minutos a una temperatura de 30°C para llevar a cabo la fermentación, respetando los tiempos de resguardo.
- 5.-Se monitoreó la temperatura de la incubadora constantemente.
- 6.-La probeta se sacó de la incubadora y se tomó la medición observando el volumen de masa que se había incrementado en la probeta.
- 7.-El porcentaje de incremento de volumen se determinó por diferencia de pesos a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Incremento} = \frac{V_f - V_o}{V_o} \times 100$$

Donde:

V_o=Volumen inicial.

V_f=Volumen final.

5.2.10 Determinación del tamaño de poro a la miga del pan

Para determinar el tamaño de poro a la miga del pan elaborado a partir de diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada se siguió la siguiente metodología:

- 1.-El pan se elaboró de acuerdo a la formulación requerida siguiendo la metodología de preparación antes mencionada y respetando los tiempos de resguardo.
- 2.-El pan recién horneado se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$.
- 3.-Para analizar la muestra se cortó una rebanada de pan de 2cm de grosor tomando como referencia el centro del producto para hacer el corte y que la muestra fuera representativa.
- 4.-Se prepararon hojas milimétricas y papel acetato con escala graduación cada 1mm para hacer la medición.
- 5.-El pan se colocó sobre la superficie de papel acetato graduado o con escala.
- 6.-De manera visual se determinó el tamaño de poro de la miga de pan utilizando como referencia la hoja milimétrica graduada y el papel acetato.

5.2.11 Prueba de deformación por ciclos y resiliencia

Con ayuda de un texturómetro SHIMADZU® modelo SM-500N-168 Capacidad 500N se realizó la prueba de deformación y resiliencia a los panes horneados elaborados a partir de masas elaboradas con distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada. La metodología utilizada fue la siguiente:

- 1.-El pan se elaboró de acuerdo a la formulación requerida siguiendo la metodología de preparación antes mencionada y se respetaron los tiempos de resguardo.
- 2.-El pan recién horneado se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$.
- 3.- Las muestras de pan se cargaron en el texturómetro y con ayuda del software se preparó el análisis hasta que la muestra alcanzara los 5mm de desplazamiento.
- 4.-Una vez alcanzado este desplazamiento la muestra se descargaba y se mantenía en posición de reposo por 1 segundo para posteriormente llevar a cabo el siguiente ciclo.
- 5.-Se corrió el segundo ciclo hasta alcanzar los 5.5mm de desplazamiento.
- 6.-La muestra se descargó del texturómetro y los resultados obtenidos por el software se guardaron.

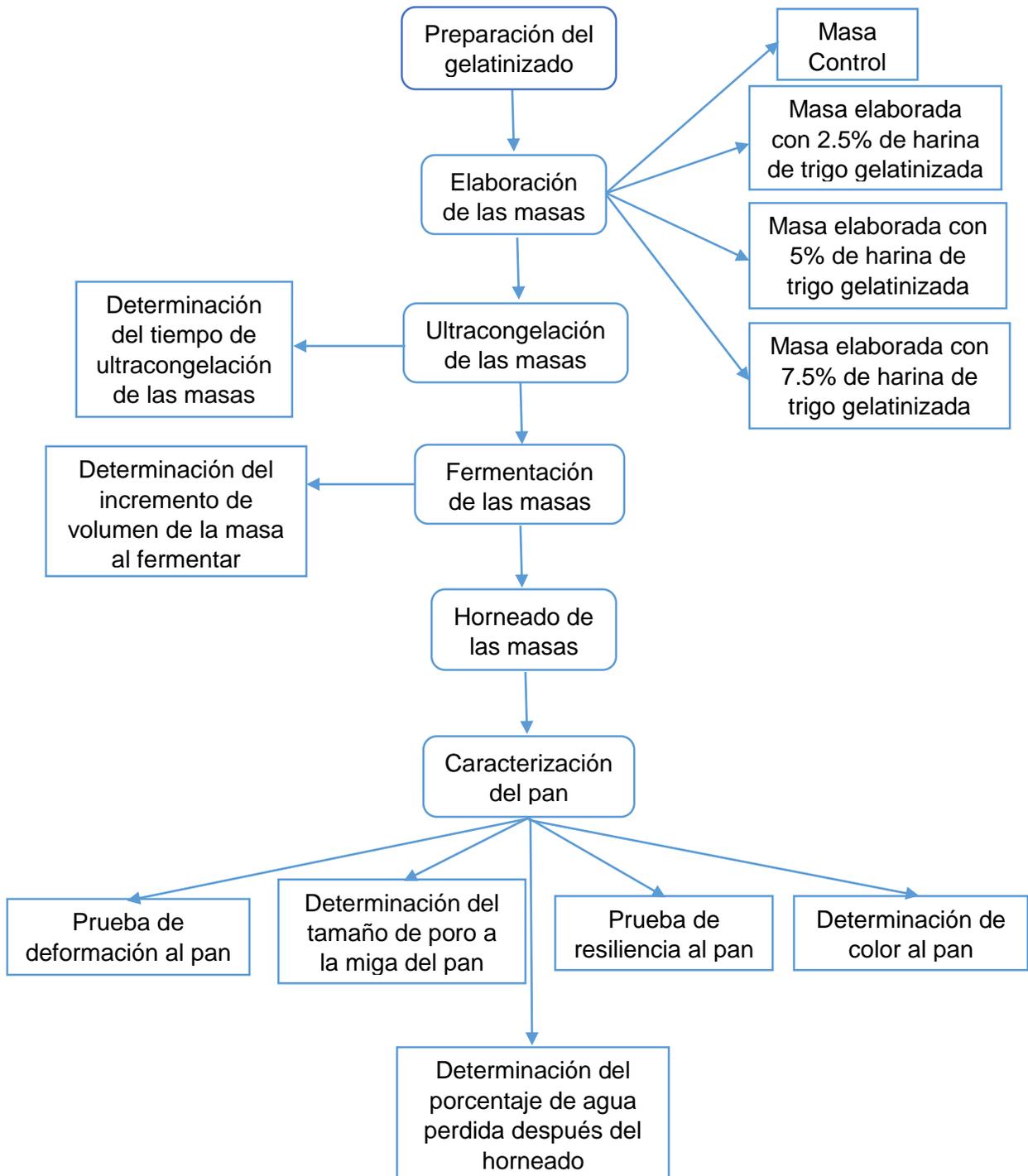
****Se corrieron 2 ciclos para cada muestra de pan.****

5.2.12 Determinación del color del pan

La determinación de color del pan se realizó siguiendo la siguiente metodología:

- 1.-La masa se elaboró de acuerdo a la formulación requerida.
- 2.-La masa se colocó en una charola y se introdujo dentro de una incubadora marca NOVATECH® modelo E 180-ED-E SP con número de serie 058045 por 30 minutos a una temperatura de 30°C para llevar a cabo la fermentación, respetando los tiempos de resguardo.
- 3.-Las charola fue retirada de la incubadora y se introdujo dentro de un horno de convección plus HCX II marca San-Son® que había sido precalentado previamente. Las muestras se hornearon durante 20 minutos a una temperatura de 180°C.
- 5.-Transcurrido el tiempo las muestras fueron retiradas del horno y se dejaron enfriar por 15 minutos hasta alcanzar temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$.
- 6.-Se midió la coloración de las muestras utilizando un colorímetro CR-430 Minolta tomando como referencia el centro del pan.
- 7.-La determinación se realizó por triplicado para cada muestra y se obtuvo un promedio con la finalidad de disminuir el sesgo.

5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA



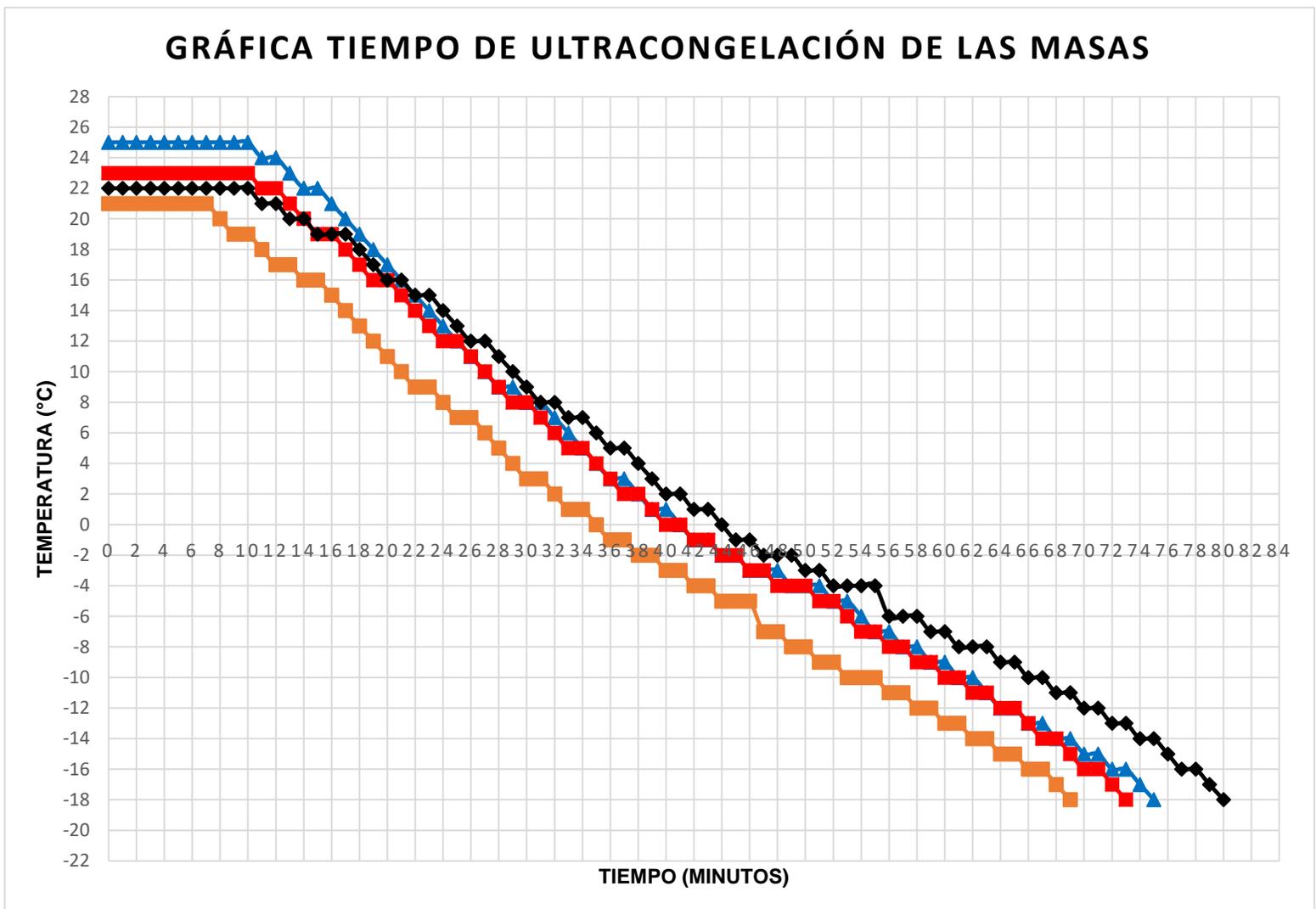
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 TIEMPO QUE TARDAN EN LLEGAR LAS MASAS DE LA TEMPERATURA AMBIENTE $\pm 20^{\circ}\text{C}$ A LA TEMPERATURA DE ULTRACONGELACIÓN (-18°C)

Este estudio permite conocer el tiempo que tardan en llegar las masas elaboradas a partir de distintas formulaciones a la temperatura de ultracongelación (-18°C) partiendo de la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$ y observar si la utilización de distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada aumenta o disminuye el tiempo hasta alcanzar la temperatura deseada.

Gráfica 1. Tiempo que tardan en llegar las masas de la temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$ a la temperatura de ultracongelación (-18°C).



- Masa control
- Masa con 2.5% harina gelatinizada
- Masa con 5% harina gelatinizada
- Masa con 7.5% harina gelatinizada

Este análisis es importante ya que uno de los objetivos en la elaboración de masas con distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada es la de disminuir costes de energía y no solo obtener un producto de buena calidad. De poco sirve obtener un producto de buena calidad si el costo que implica su elaboración es muy elevado.

De acuerdo a la gráfica obtenida pudimos observar que la muestra que tardó menor tiempo en llegar a la temperatura deseada (-18°C) fue la **masa control con un tiempo de 69 minutos**, seguida por la **masa elaborada con un 5% de harina de trigo gelatinizada con un tiempo de 73 minutos**, después la **masa elaborada con 2.5% de harina de trigo gelatinizada con un tiempo de 75 minutos** y al final la **masa elaborada con un 7.5% de harina de trigo gelatinizada con un tiempo de 80 minutos**.

Se debe considerar que al momento de empezar este proceso las masas tenían distinta temperatura ambiente $\pm 20^{\circ}\text{C}$, factor que es importante y que aumenta o disminuye el tiempo para alcanzar la temperatura de -18°C .

No hay diferencia significativa en cuanto al tiempo necesario para alcanzar la temperatura objetivo, sin embargo en términos de costes de energía esto representa mucho dinero a nivel industrial. Una de las desventajas de utilizar harina de trigo en el proceso de elaboración de masas es que retarda el tiempo en que la masa llega hasta los -18°C .

Una de las razones por las que esto ocurre es que cuando el almidón se ha gelatinizado las interacciones de las zonas amorfas son más fuertes con el agua haciendo una red más fuerte y por lo tanto dificultando el proceso de nucleación y cristalización para las moléculas del disolvente. En pocas palabras, se requiere mayor energía para poder congelar el agua libre y el agua ligada del alimento (Carrillo, 2016).

En general, conforme va aumentando el porcentaje de harina de trigo gelatinizada se requiere más tiempo para llegar a la temperatura de ultracongelación.

Esto se debe a que al gelatinizar, la viscosidad de la suspensión aumenta por la lixiviación (liberación) de la amilosa y más lentamente de la amilopectina. Los grupos $-\text{OH}$ en la

estructura son los responsables de hacer interacciones más fuertes con el agua a través de puentes de hidrógeno.

6.2 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE AGUA PERDIDA DESPUÉS DEL HORNEADO

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos para la determinación del porcentaje de agua perdida después del horneado para las muestras de pan elaboradas a partir de masas ultracongeladas utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada.

Cuadro 6. Valores obtenidos en la determinación del peso.

Peso masa sin hornear (A)	Peso masa horneada (B)	Cantidad de agua perdida (A-B)	Porcentaje de agua perdida (C)
550g	510g	40g	7.27%
545g	505g	40g	7.33%
545g	505g	40g	7.33%
Promedio			<u>7.31%</u>

El porcentaje de agua perdida es un indicativo directo del agua libre disponible en el alimento y de la cantidad promedio que se evapora durante la cocción.

El agua libre además está directamente relacionada con la estructura de la miga, tamaño y forma de poro, propiedades de deformación y resiliencia del pan. Si el pan tiene poca agua tiende a presentar mayor dureza, una miga seca y menor resiliencia. Por el contrario si el pan tiene demasiada agua libre, este tiende a estar propenso a reacciones de deterioro (Li, 2012).

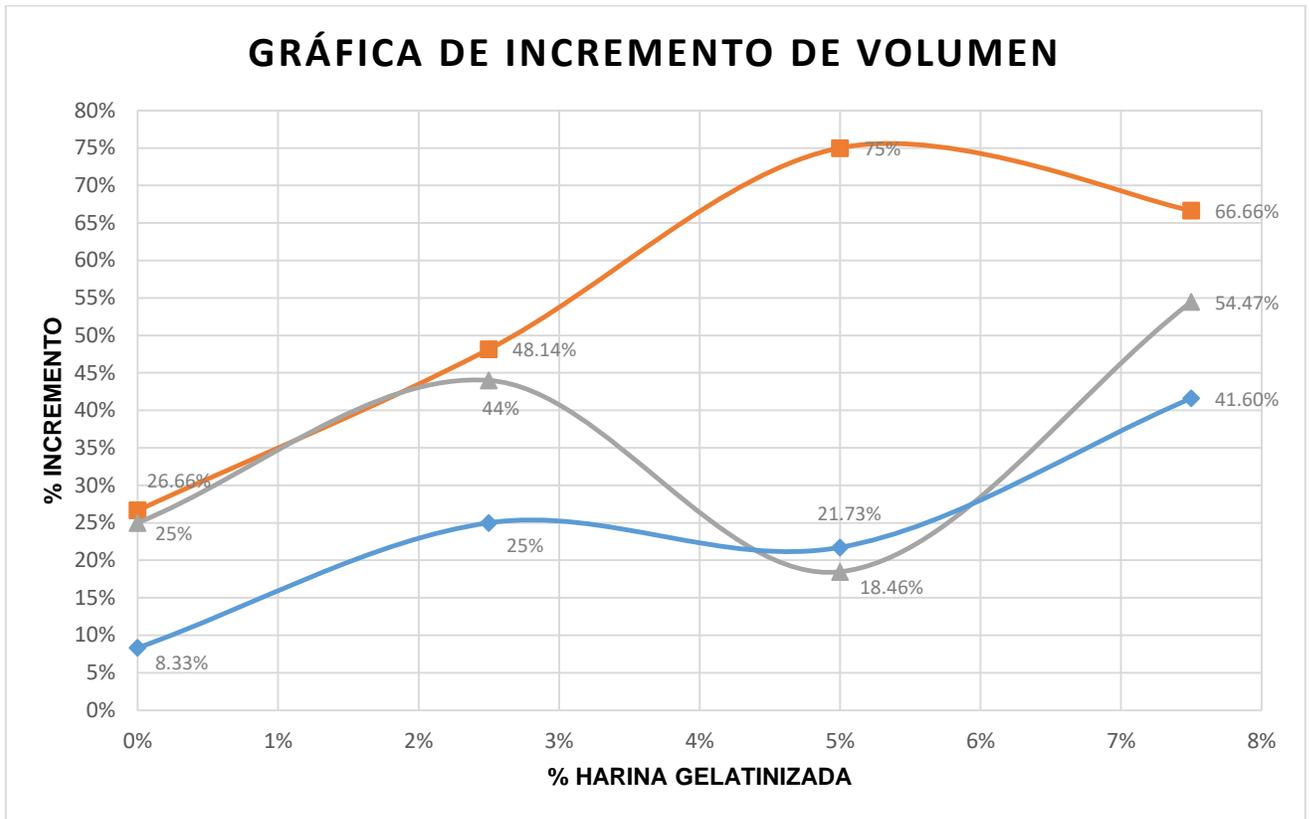
6.3 DETERMINACIÓN DEL INCREMENTO DE VOLUMEN DE LA MASA AL FERMENTAR

En el cuadro 7 se puede observar un ejemplo de la forma en que se realizó el cálculo para la determinación del porcentaje de incremento de volumen de CO₂ en las masas:

Cuadro 7. Ejemplo de cálculo para determinar el porcentaje de incremento de volumen de CO₂ en las masas analizadas.

<p>IMAGEN DE MASA ULTRACONGELADA Y FERMENTADA A LAS 24 HORAS CON 2.5% DE HARINA DE TRIGO GELATINIZADA</p>	<p>DATOS</p>	<p>CÁLCULOS</p>
<div style="text-align: center;">  <p>Masa antes de fermentar</p> </div>	<p>Vo=12.5mL Vf=18mL</p>	$\%Incremento = \frac{V_f - V_o}{V_o} \times 100$ $\%Incremento = \frac{18mL - 12.5mL}{12.5mL} \times 100$
<div style="text-align: center;">  <p>Masa después de fermentar</p> </div>		<p><u>%Incremento=44%</u></p>

Gráfica 2. Resultados obtenidos para la determinación del porcentaje de incremento de volumen en las masas analizadas.



- Masas sin ultracongelar.
- Masa ultracongelada y fermentada a las 24 horas.
- Masa ultracongelada y fermentada a los 7 días.

De acuerdo a los resultados obtenidos y al graficarlos se pudo observar que en general las masas que tuvieron un mayor rendimiento o incremento de volumen fueron las que no se ultracongelaron seguidas por las ultracongeladas y fermentadas a las 24 horas y al último las masas ultracongeladas y fermentadas a los 7 días.

A continuación se enumeran las causas por las que se obtuvieron estos resultados:

1.-Al no ultracongelar las masas, la levadura trabaja normalmente utilizando la sacarosa como sustrato y produciendo CO₂, además el microorganismo no se somete a temperaturas extremas y por lo tanto no hay lisis celular.

2.-Al ultracongelar las masas, la levadura se inactiva por las temperaturas extremas a las que se expone (-18°C) por lo que hay lisis de un gran número de células. Además, a pesar de que se siguió al pie de la letra el proceso de descongelado y la levadura se mantuvo en las condiciones óptimas de crecimiento durante el proceso de fermentación gran parte de las cepas que sobreviven a la ultracongelación tienen una cinética química mucho menor debido al estrés al que se han sometido, además de que han sufrido daño celular y alteraciones estructurales (Beltran, 2007).

Otra de las razones principales por las que se decrementa la producción de CO₂ en las masas ultracongeladas es que al haber lisis celular la levadura produce metabolitos secundarios que alteran y dañan la estructura y el medio como la trealosa, chaperonas, poliaminas, glutatión reductasa y glutatión (Grant et al., 1996; Attfield, 1997; Jamieson, 1998; Hong et al., 1999; Tulha., 2010; Auesukaree et al., 2012; Mahmud et al., 2012).

Una de las principales sustancias que disminuyen el rendimiento de CO₂ es el glutatión, compuesto reductor del disulfuro que promueve una menor resistencia a la extensión en las masas. El glutatión (γ -glutamillcisteinlglicina) rompe los enlaces disulfuro entre las proteínas provocando un efecto debilitante en el glúten. Recordemos que la estabilidad de la red depende del número de enlaces disulfuro, a pesar de que sólo el 2% de los aminoácidos en las proteínas del gluten tiene grupos sulfhidrilo. Estructuralmente se encuentran conformados Pr-SS-Pr entre las proteínas del gluten, sin embargo con el glutatión esto se rompe habiendo una reestructuración a Pr-SH por lo que se debilita la red (Li y colaboradores, 2009). Pr=Compuesto proteico.

3.-En adición, las interacciones hidrofóbicas juegan un papel importante en el la integridad de la red. Estas interacciones se vuelven débiles cuando la temperatura disminuye, por lo que un periodo largo de ultracongelación de la masa afecta la estabilidad de la red de gluten. (Selomulyo, 2007) además de que hay competencia con los sustratos del medio lo que dificulta aún más la afinidad de los enlaces –OH con el sitio amorfo del almidón para poder formar una red fuerte.

Al descongelar las masas que previamente se habían ultracongelado se pudo observar un fenómeno de sinéresis (hubo liberación de agua), esto provoca un exceso de agua que como se menciona anteriormente influye directamente en la actividad de la levadura disminuyendo el rendimiento en la producción de CO₂.

4.-La congelación-descongelación de las masas tiene un impacto negativo en la producción de CO₂; esto se debe principalmente a los principios de la nucleación y cristalización. La fase de nucleación consiste en la zona de máxima formación de cristales que se da entre 0°C y -4°C; como el nombre lo denota en esta zona se lleva a cabo la formación de la mayor cantidad de cristales posibles a partir de núcleos.

De acuerdo a Martín (2015), dadas las condiciones aplicadas, inicia la fase de cristalización la cual consiste en el crecimiento de cristales a partir de los núcleos existentes, esto se ve favorecido con algunos solutos como la sal o la sacarosa. Cuanto menor es la temperatura, más fácilmente ocurre el fenómeno, formándose un mayor número de agregados cristalinos y, consecuentemente, el tamaño de los cristales es menor. Por el contrario a una temperatura próxima al punto de fusión, la nucleación es lenta, los núcleos cristalinos son pocos y, por tanto, resultan cristales relativamente grandes.

La congelación rápida o ultracongelación produce cristales pequeños y de forma redonda u homogénea, mientras que la congelación lenta produce cristales grades, amorfos y alargados o en forma de aguja. La congelación lenta tiene entonces como consecuencia la rotura de la red de gluten, disminuyendo su capacidad viscoelástica y de extensibilidad.

Esto confirma que los procesos de congelación-descongelación influyen directamente en la producción de glutatión por la levadura muerta (Muhardina, 2015) así como las temperaturas críticas y el exceso de agua en el medio.

5.-Por último, pero no menos importante, otro factor que influye directamente en el incremento de volumen es la relación del peso molecular de las proteínas del gluten (gluteninas). Cuando el glutatión rompe los enlaces disulfuro el peso molecular de la proteína disminuye debido a la nueva reestructuración que impacta directamente en la firmeza de la masa y en su capacidad de retención de gas. En pocas palabras al ultracongelar o congelar y resguardar, las proteínas disminuyen considerablemente su peso molecular debido a una reestructuración que disminuye la capacidad de la masa para retener o capturar CO₂.

De acuerdo a la gráfica el mayor rendimiento que se obtuvo para las **masas sin ultracongelar** fue utilizando un 5% de harina de trigo gelatinizada obteniendo un **75%** de incremento en el volumen. Sin embargo al utilizar 7.5% de harina de trigo gelatinizada el porcentaje de incremento de volumen disminuye a un 66%. Esto se debe a que al romper

el equilibrio químico con respecto al porcentaje de harina de trigo gelatinizada la levadura tiene menor azúcar disponible para metabolizar y producir CO₂.

En lo que respecta a las **masas ultracongeladas y fermentadas a las 24 horas** el mayor rendimiento se obtuvo utilizando el 7.5% de harina de trigo gelatinizada obteniendo un **54.47%** de incremento.

Por último para las **masas ultracongeladas y fermentadas a los 7 días** el mayor rendimiento se obtuvo utilizando el 7.5% de harina de trigo gelatinizada obteniendo un **41.6%** de incremento.

Es importante destacar que en los 3 casos expuestos el rendimiento más bajo fue cuando no se utilizó harina de trigo gelatinizada, lo que quiere decir que sin duda alguna la gelatinización del almidón y la utilización de distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada impactan positivamente en la producción de CO₂.

Podríamos decir entonces de acuerdo a lo analizado, que lo ideal sería utilizar un **7.5% de harina de trigo gelatinizada** para promover la producción de gas en la masa. Sin embargo, sería conveniente determinar cuál sería el objetivo principal de nuestro producto terminado. Ya que si buscamos buena presentación y cocción uniforme lo ideal sería **no** utilizar dicho porcentaje (7.5% de harina de trigo gelatinizada) especialmente con tiempos largos de ultracongelación pues al hornear la masa hay un riesgo muy elevado de obtener un producto con erupciones o manchas que se resumen en términos sensoriales de apariencia como de baja calidad para el cliente.

Sin embargo, si lo que se busca es mayor producción de CO₂ y no es tan importante la apariencia o tal vez la superficie del producto será cubierta por algún otro ingrediente **si** sería recomendable utilizar un 7.5% de harina de trigo gelatinizada para beneficiar este parámetro.

Por otro lado cuando se aplicó la técnica de ultracongelación y se utilizó un 5% de harina de trigo gelatinizada se obtuvieron rendimientos muy bajos, un resultado que rompe la tendencia marcada y que indica una pérdida del equilibrio químico con respecto al porcentaje de harina de trigo gelatinizada.

Este bajo rendimiento se obtuvo al utilizar un 5% de harina de trigo gelatinizada y la técnica de ultracongelación; esto puede ser a que hay un desequilibrio en la formación del gel en el proceso de gelatinización y no se favorece la formación de una red de gluten estable con

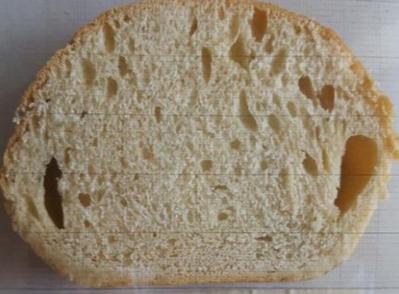
altas propiedades de resistencia y extensibilidad. Sin embargo, al utilizar harina de trigo gelatinizada al 7.5% se observa un incremento en la producción de volumen de CO₂ **para las masas ultracongeladas con respecto a las masas ultracongeladas elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%**. Esto quiere decir que la gelatinización de un mayor porcentaje de harina de trigo para las masas ultracongeladas aumenta la estabilidad de la red de gluten, haciéndola más resistente a las bajas temperaturas, evitando que la red colapse, siempre y cuando no se rompa el equilibrio químico. Por lo tanto, se sugiere un equilibrio en el porcentaje de harina de trigo a utilizar; ya que si el porcentaje de harina de trigo gelatinizada es suficiente habrá mayor competencia de los gránulos de almidón por el agua haciendo que la levadura pueda aprovechar el azúcar disponible del medio y produciendo mayor volumen de CO₂. Sin embargo, si el porcentaje de harina de trigo gelatinizada adicionada no es suficiente, el azúcar competirá por el agua al ser un ingrediente higroscópico y la levadura no podrá aprovechar la sacarosa al máximo, reflejándolo en una pobre producción de volumen de CO₂.

6.4 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PORO A LA MIGA DEL PAN

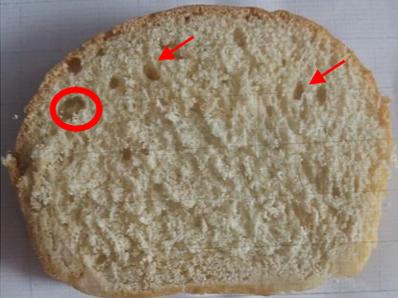
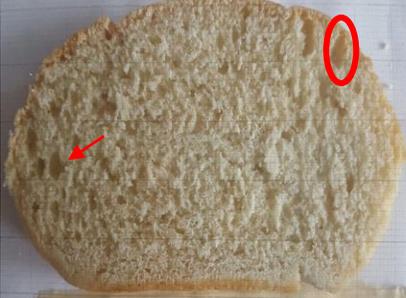
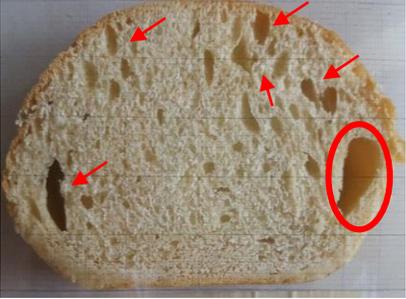
En el cuadro 13 se pueden observar las imágenes obtenidas de las diferentes muestras de pan elaboradas a partir de masas con distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada colocadas en la superficie del papel acetato graduado y hojas milimétricas.

Se determinó el tamaño aproximado de poro tomando como referencia varios poros de la miga de pan y obteniendo un promedio.

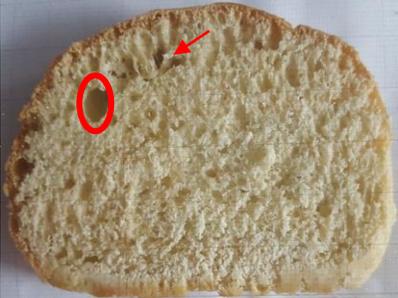
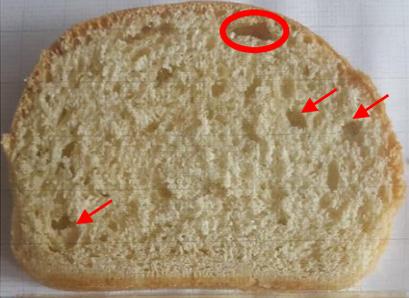
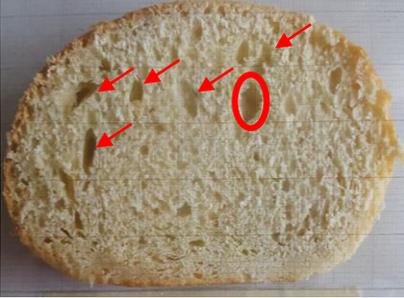
Cuadro 8. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan.

TIPO DE MUESTRA	MASA SIN ULTRACONGELAR Y HORNEADA	MASA ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H	MASA ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS
CONTROL			
HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 2.5%			
HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 5%			
HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 7.5%			

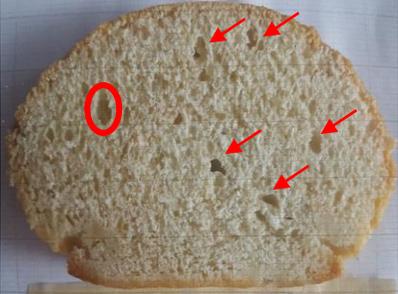
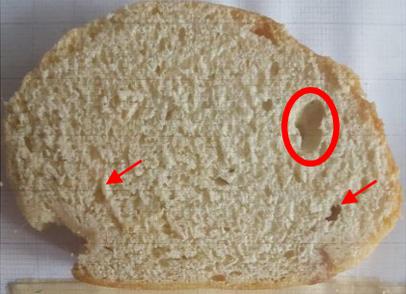
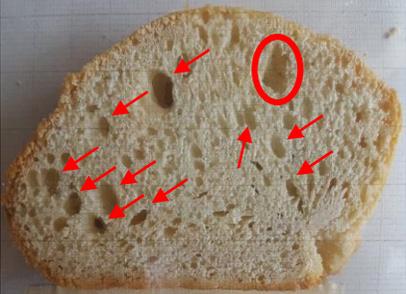
Cuadro 9. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan.

TIPO DE MUESTRA E IMAGEN	TAMAÑO DE PORO (DIMENSIONES EN LARGO X ANCHO)	OBSERVACIONES
 <p>CONTROL SIN ULTRACONGELAR</p>	<p>Poro promedio: 1.2mm x 1.1mm Poro de mayor tamaño: 7mm x 4.5mm</p>	<p>La mayor parte de la miga presenta buena distribución y tamaño de poro aunque se pueden apreciar algunos poros con un tamaño considerablemente más grandes que el promedio. La corteza del pan es gruesa (7mm) y suave, además de no presentar ruptura en la superficie. La forma y tamaño del poro es variada y es importante porque indica el grado o nivel de daño que ha sufrido la miga durante el proceso. Los poros amorfos presentan mayor daño estructural.</p>
 <p>CONTROL ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H</p>	<p>Poro promedio: 1.1mm x 1mm Poro de mayor tamaño: 6.7mm x 4mm</p>	<p>La miga tuvo una mejor distribución de poros en comparación con la masa que no se ultracongeló. Presentó menor cantidad de poros grandes y amorfos y la corteza del pan fue ligeramente más gruesa, (8mm) suave y no presentó daño superficial. La mayor parte de los poros son amorfos y forma circular.</p>
 <p>CONTROL ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS</p>	<p>Poro promedio: 1mm X 0.8mm Poro de mayor tamaño: 14.3mm X 12mm</p>	<p>Esta miga fue la que presentó mayor daño estructural. Aunque los poros pequeños estaban más distribuidos, se presentaron una gran cantidad de poros grandes lo que significa que la miga sufrió daños considerables responsables del proceso de ultracongelación y resguardo al que fue sometida. Tal desgarró en la estructura se debe a la formación de cristales de agua grandes, amorfos y en forma de pico formados durante el periodo de congelación que dañan la red de gluten. La corteza fue gruesa (10 mm), suave y no presenta daño superficial.</p>

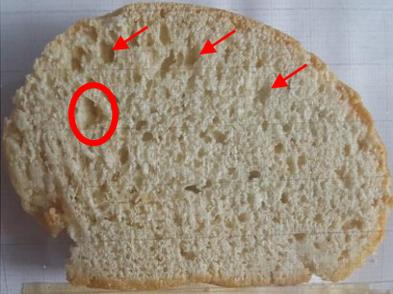
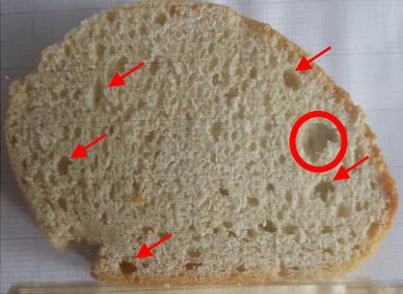
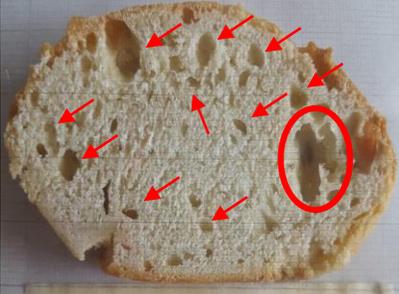
Cuadro 10. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan en muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5%.

TIPO DE MUESTRA E IMAGEN	TAMAÑO DE PORO (DIMENSIONES EN LARGO X ANCHO)	OBSERVACIONES
 <p data-bbox="94 688 488 779">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 2.5% SIN ULTRACONGELAR</p>	<p data-bbox="537 520 906 583">Poro promedio: 1.1mm X 1mm</p> <p data-bbox="537 590 906 653">Poro de mayor tamaño: 7.3mm X 5. 2mm</p>	<p data-bbox="935 457 1565 653">La miga presentó una mayor distribución y tamaño de poro aunque de igual forma se formaron poros grandes que indican daño a la estructura. La corteza fue ligeramente menos gruesa (5mm) y suave además de no presentar daño superficial.</p> <p data-bbox="935 659 1565 722">La forma y tamaño de los poros es variada con tendencia a un círculo.</p>
 <p data-bbox="94 1094 483 1220">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 2.5%ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H</p>	<p data-bbox="537 926 906 957">Poro promedio: 1mm X 1mm</p> <p data-bbox="537 963 906 1026">Poro de mayor tamaño: 10 mm X 2.5mm</p>	<p data-bbox="935 856 1565 1094">De las tres muestras analizadas esta fue la que presentó menor distribución y tamaño de poro. Hay presencia de algunos poros de mayor tamaño que indican daño a la red de gluten, sin embargo son pocos y la corteza es la que menor grosor presentó (4 mm) además de no existir daño superficial.</p> <p data-bbox="935 1100 1565 1163">El tamaño y forma de los poros es variada con tendencia a lo circular.</p>
 <p data-bbox="94 1533 483 1659">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 2.5%ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS</p>	<p data-bbox="537 1367 906 1430">Poro promedio: 1mm x 0.9mm</p> <p data-bbox="537 1436 906 1499">Poro de mayor tamaño: 7.1mm X 5.7mm</p>	<p data-bbox="935 1230 1565 1394">De las 3 migas analizadas esta fue la que tuvo mayor daño estructural debido a la presencia de poros grandes y amorfos que se formaron durante el proceso de ultracongelación y horneado.</p> <p data-bbox="935 1400 1565 1499">Sin embargo en comparación con la masa control ultracongelada y horneada a los 7 días esta presentó una mejor apariencia estructural.</p> <p data-bbox="935 1505 1565 1568">Los poros de tamaño promedio tuvieron una mayor distribución y tamaño.</p> <p data-bbox="935 1575 1565 1638">La corteza presentó buen grosor (4mm) y no existe rotura superficial.</p>

Cuadro 11. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan en muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%.

TIPO DE MUESTRA E IMAGEN	TAMAÑO DE PORO (DIMENSIONES EN LARGO X ANCHO)	OBSERVACIONES
 <p data-bbox="105 688 479 783">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 5% SIN ULTRACONGELAR</p>	<p data-bbox="539 520 906 615">Poro promedio: 1mm X 1mm Poro de mayor tamaño: 7mm X 4.5mm</p>	<p data-bbox="937 422 1565 751">En general, para todo el análisis realizado ésta muestra y la ultracongelada 24 horas fueron las que mayor distribución y tamaño de poro presentaron. A pesar de que se formaron poros más grandes que indican un daño en la estructura estos fueron mínimos y de menor tamaño con forma de poro variada. Por otra parte la corteza del pan también presentó un menor grosor (3mm) sin presentar daño superficial.</p>
 <p data-bbox="110 1092 470 1220">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 5% ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H</p>	<p data-bbox="539 924 906 1018">Poro promedio: 1mm X 1mm Poro de mayor tamaño: 7.2mm X 9.3mm</p>	<p data-bbox="937 825 1565 1155">Esta muestra presentó buena apariencia y en general buen tamaño y distribución de poro. Sin embargo, pudimos apreciar la presencia de poros de mayor tamaño que indican un deterioro estructural debido al proceso de ultracongelación y resguardo al que se sometió. La forma de los poros fue variada y se observó una corteza ligeramente más gruesa que la que no se ultracongeló (4mm). La superficie presentó daño en la estructura.</p>
 <p data-bbox="105 1528 479 1656">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 5% ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS</p>	<p data-bbox="539 1360 906 1493">Poro promedio: 1.5mm X 1.1mm Poro de mayor tamaño: 9.8mm X 6.8mm</p>	<p data-bbox="937 1230 1565 1659">Se pudo observar una muestra con una mala distribución y tamaño de poro. La presencia de poros grandes indica que la estructura sufrió daños estructurales considerables debido al proceso de ultracongelación y resguardo al que se sometió, a la formación de cristales grandes de hielo que desgarran la red, menor peso molecular de las proteínas del gluten y a un menor nivel de interacción entre el agua y los grupos sulfhidrilo de las proteínas por la presencia de glutatión. La corteza fue más gruesa (7mm), aunque fue suave y no se apreció daño superficial.</p>

Cuadro 12. Resultados recabados en la determinación del tamaño de poro de la miga de pan en muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5%.

TIPO DE MUESTRA E IMAGEN	TAMAÑO DE PORO (DIMENSIONES EN LARGO X ANCHO)	OBSERVACIONES
 <p data-bbox="94 688 488 783">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 7.5% SIN ULTRACONGELAR</p>	<p data-bbox="537 520 906 583">Poro promedio: 1.3mm X 1.1mm</p> <p data-bbox="537 590 906 653">Poro de mayor tamaño: 7mm X 6mm</p>	<p data-bbox="935 457 1567 720">Esta miga presentó buena distribución y tamaño de poro aunque no fue mejor que la que se obtuvo al utilizar harina de trigo gelatinizada al 5% sin ultracongelar. Se pudo apreciar una mayor cantidad de poros grandes que indican daño estructural y superficial en el producto. La corteza fue gruesa (6mm) y la apariencia del producto fue regular.</p>
 <p data-bbox="94 1094 483 1220">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 7.5% ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H</p>	<p data-bbox="537 926 906 989">Poro promedio: 1.2mm X 1.1mm</p> <p data-bbox="537 995 906 1058">Poro de mayor tamaño: 9mm X 6.8mm</p>	<p data-bbox="935 827 1567 1058">La miga no presentó buena distribución y tamaño de poro, se pudieron observar poros con tamaño y forma variada aunque predominaron los poros medianos y grandes. Esto indicó que la estructura sufrió daño. La corteza fue más gruesa (7mm) y la superficie del producto estaba rota.</p> <p data-bbox="935 1064 1567 1220">La apariencia del producto fue mala por el tamaño y distribución del poro. No se recomienda utilizar harina de trigo gelatinizada al 7.5% y la técnica de ultracongelación de acuerdo a estos resultados.</p>
 <p data-bbox="94 1530 483 1656">HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 7.5% ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS</p>	<p data-bbox="537 1398 906 1461">Poro promedio: 1.7mm X 1.5mm</p> <p data-bbox="537 1467 906 1530">Poro de mayor tamaño: 12.6mm X 10.8mm</p>	<p data-bbox="935 1232 1567 1325">La miga de esta muestra es la que peor apariencia, tamaño y distribución de poro tuvo; fueron amorfos y de gran tamaño.</p> <p data-bbox="935 1331 1567 1593">Se pudo observar un daño grave al producto debido al proceso de ultracongelación y resguardo al que se sometió, a la formación de cristales grandes de hielo que desgarraron la red, menor peso molecular de las proteínas del gluten y a un menor nivel de interacción entre el agua y los grupos sulfhidrilo de las proteínas por la presencia de glutatión.</p> <p data-bbox="935 1600 1567 1692">La corteza presentó mayor grosor (7.5mm), no es uniforme, es decir, en otros lados fue incluso mayor el grosor y hubo rotura de la superficie.</p>

La formación de poros en la miga del pan es resultado de la formación de burbujas de CO₂ que se han producido en la fermentación y horneado por la levadura al metabolizar la sacarosa y algunos otros azúcares.

La forma y tamaño de poro también es un indicativo del grado de afinidad que tiene el almidón con el agua. Se ha demostrado que los poros pequeños presentan menor volumen pero mayor superficie de contacto lo que resulta en una mayor afinidad y retención del agua (Chiotelli et al., 2002; Zhang, 2010).

Los poros grandes y amorfos (conocidos como los hoyos en el pan) se forman debido a la producción de etanol durante la fermentación y horneado. Uno de los metabolitos secundarios que produce la levadura durante la fermentación es el etanol (en condiciones aerobias generalmente). Sin embargo, la mayor parte de las veces no lo percibimos ya que la mayor parte de este compuesto se evapora. Se sabe que el pan contiene alcohol residual hasta en un 1.9%. La levadura necesita azúcares y oxígeno para producir agua y CO₂. Sin embargo cuando la levadura no recibe oxígeno suficiente o escapa de la masa, se produce el etanol (se convierte en un proceso anaerobio). Incluso esto puede darse en condiciones aerobias cuando la cantidad de azúcares se encuentra en exceso (efecto Crabtree) (Quora, 2017). Así pues crecen “bolas” de etanol durante la fermentación y horneado que al reventar generan un hoyo en la miga. O bien, se juntan dos “bolas” de etanol que al reventar generan un hoyo más grande.

Para disminuir o evitar la formación de estos poros se recomienda:

1. No ejercer un trabajo excesivo sobre la masa.
2. Hidratar la masa adecuadamente.
3. No exagerar en el tiempo de fermentación (30-45 minutos es suficiente).
4. Controlar el tiempo de horneado (20 minutos).
5. Desarrollar una formulación para elaborar pan utilizando los ingredientes requeridos en proporciones indicadas considerando lo expuesto en el trabajo, que permitan tener una red de gluten con mayor capacidad de retención de CO₂ (Seasoned Advice, 2013).
6. No ultracongelar y resguardar las masas por un tiempo prolongado (más de 7 días) para evitar un daño severo a la red de gluten.
7. Si las masas se ultracongelan, aumentar el porcentaje de levadura para la formulación en un nivel de 30-100% (Thombre, 2017).

También se pudo observar que la producción de CO₂ no fue igual para todas las muestras ya que no leudaron igual. La producción de CO₂ dependerá de varios factores como: el nivel de estrés y actividad de la levadura, cantidad de azúcares fermentables. Además la extensibilidad de la masa estará en función de la capacidad de la masa a elongarse y retener moléculas de CO₂ en la estructura. (Autio et al., 1992; El-Hady et al., 1996; Teunissen et al., 2002).

La distribución del agua en la estructura también se relaciona de manera indirecta con la producción de gas en la masa. Si el agua no se encuentra bien distribuida puede alterar el microambiente de la levadura provocándole daño celular y en consecuencia ésta producirá menos CO₂ y mayor cantidad de metabolitos secundarios que dañan la estructura (Li, 2012).

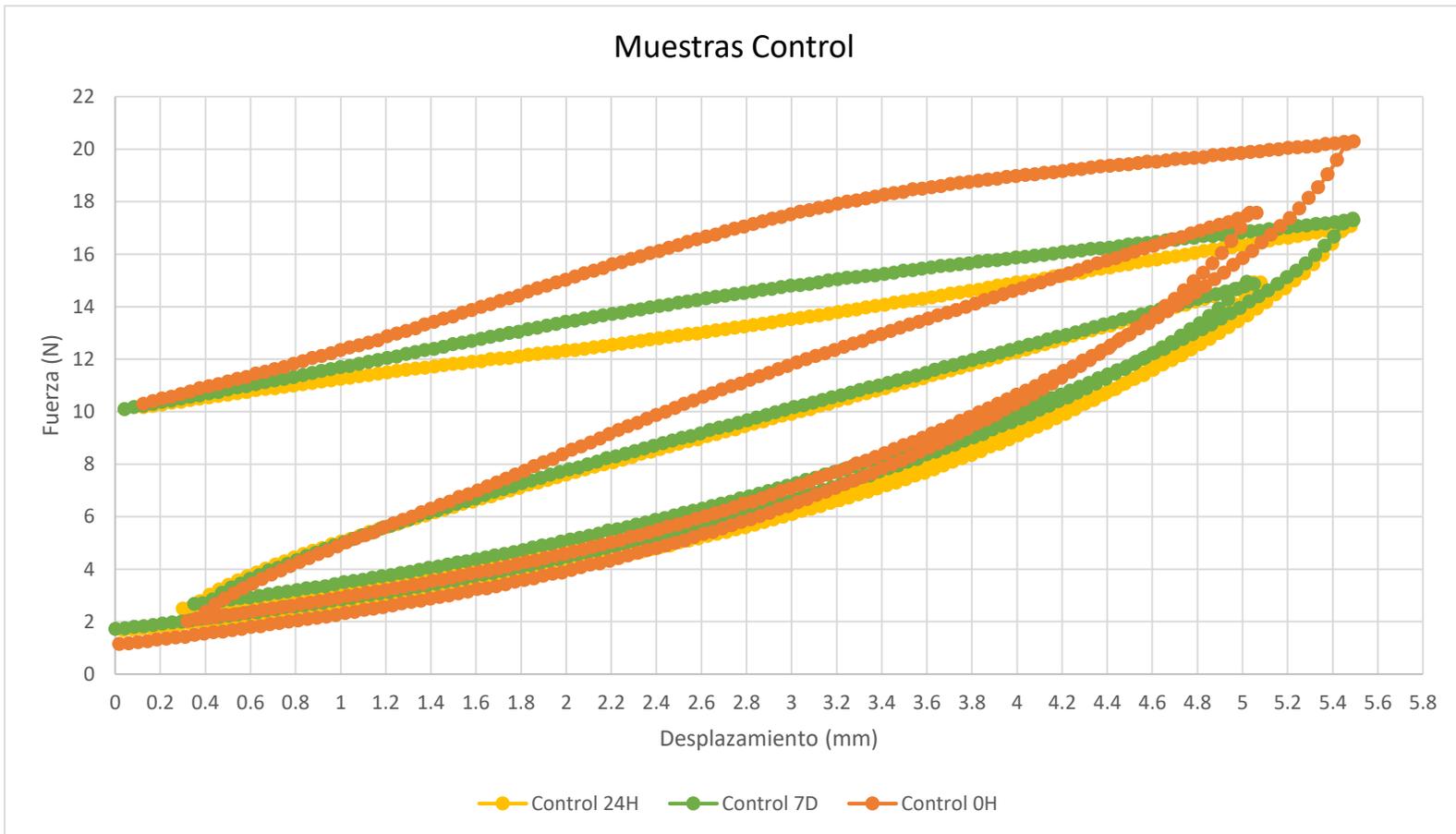
La producción de CO₂ en la masa se ve afectada por dos factores principalmente: disminución o pérdida de la actividad por la levadura y la incapacidad de la red de gluten para retener el gas durante el horneado. Esto puede ser debido a la pérdida de la humedad en la masa durante la etapa de ultracongelado y resguardo que afecta directamente la firmeza del pan (Meziani et al., 2012).

6.5 PRUEBA DE DEFORMACIÓN POR CICLOS Y RESILIENCIA

6.5.1 Prueba de deformación por ciclos

Las siguientes gráficas muestran los resultados obtenidos y se enlistan las observaciones correspondientes:

Gráfica 3. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras control.



Para las muestras control se pudo observar que durante los dos ciclos de compresión las muestras permanecieron prácticamente intactas ya que gráficamente cambiaron muy poco (menos del 5%) y de acuerdo a los cálculos:

$$a) 5.5mm \times \frac{18N}{5mm} = 19.8N$$

Para desplazar 5mm se requirieron 18N, por lo tanto para desplazar 5.5mm se requerirían **19.8N teóricamente**. Los resultados nos arrojaron una fuerza de 20 N que representa:

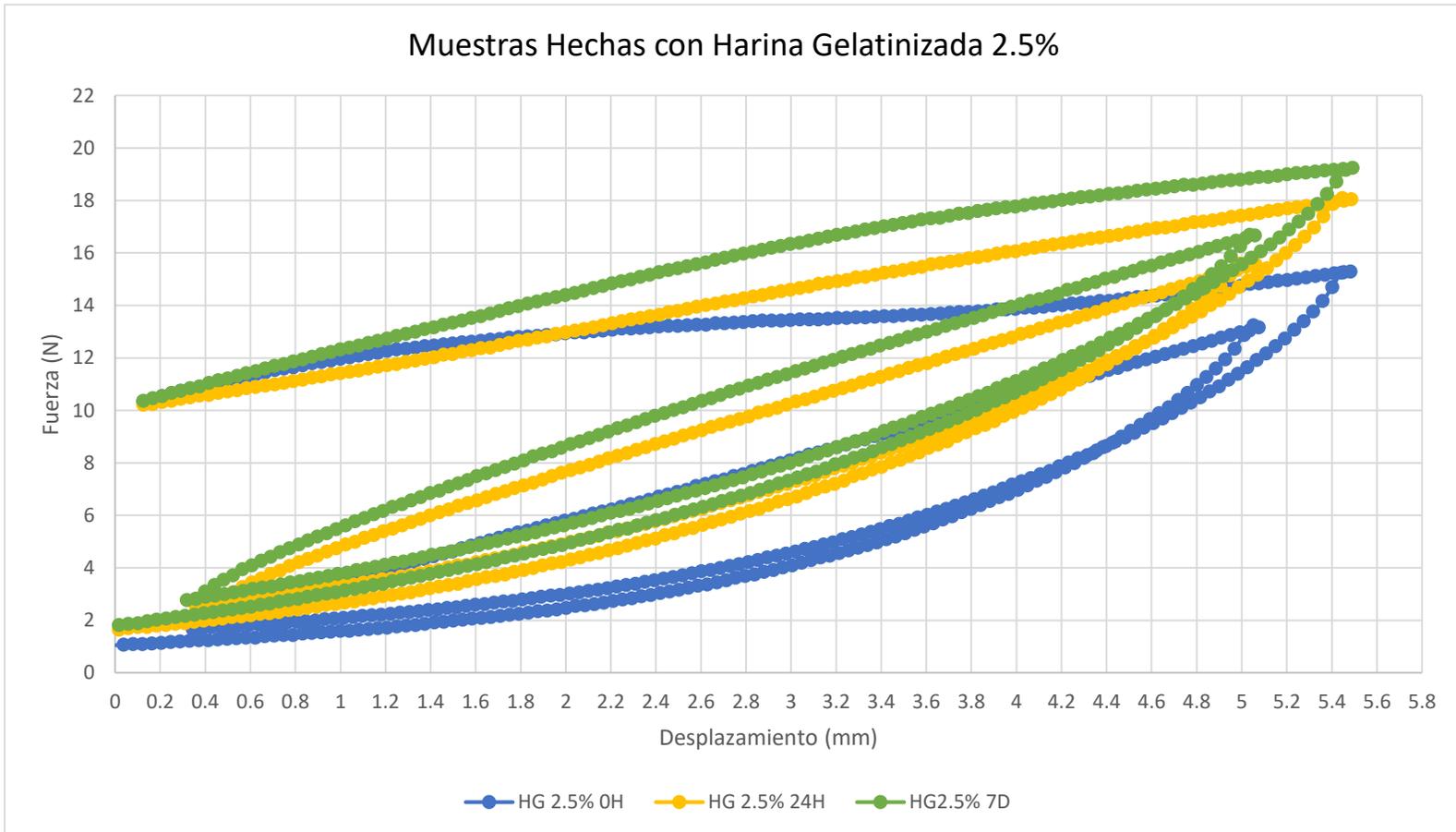
$$b) \frac{20N \times 100\%}{19.8N} = 101.01\% - 100\% = \mathbf{1.01\% \text{ de diferencia entre el valor teorico y el práctico}}$$

Esto quiere decir que el pan presenta buena elasticidad.

En ningún momento se puede apreciar que las muestras colapsen (esto puede ser observado gráficamente con un comportamiento típico dentro de la gráfica cuando se presenta alguna irregularidad notable).

Las muestras conservan buenas propiedades de compresión pues resistieron más de 5mm de deformación o desplazamiento sin perder su integridad, aunque **la muestra control sin ultracongelar** fue la que presentó mayor firmeza pues requirió de una fuerza mayor para ser comprimida (20N). Pueden monitorearse al menos dos ciclos más para determinar si las muestras colapsan o mantiene su integridad.

Gráfica 4. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5%.

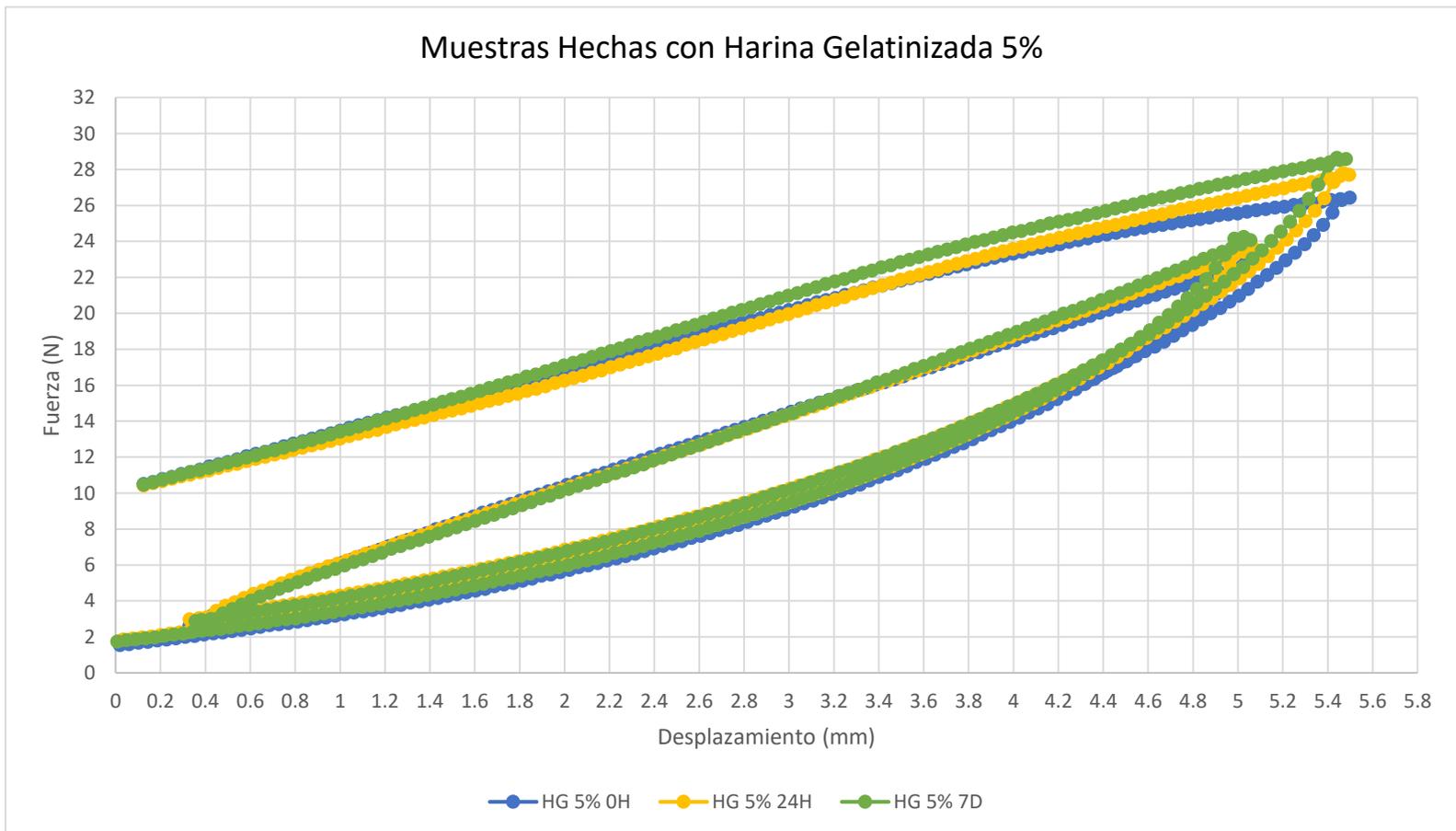


Para las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5% se pudo observar que durante los dos ciclos de compresión las muestras permanecieron intactas ya que gráficamente cambiaron muy poco (menos del 5%). Entre el valor teórico esperado y el valor práctico obtenido sólo hubo diferencia del 1% lo que quiere decir que el pan presenta buena elasticidad.

No se pudo apreciar que las muestras colapsaran y además se puede percibir que en comparación con las muestras control, estas requirieron de menor fuerza para ser comprimidas.

Esto quiere decir que las muestras conservan buenas propiedades de compresión pues resistieron más de 5mm de deformación o desplazamiento sin perder su integridad, aunque **la muestra ultracongelada y horneada a los 7 días** fue la que presentó mayor firmeza pues requirió de una fuerza mayor para ser comprimida (19N). Pueden monitorearse al menos dos ciclos más para determinar si las muestras colapsan o mantiene su integridad.

Gráfica 5. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%.

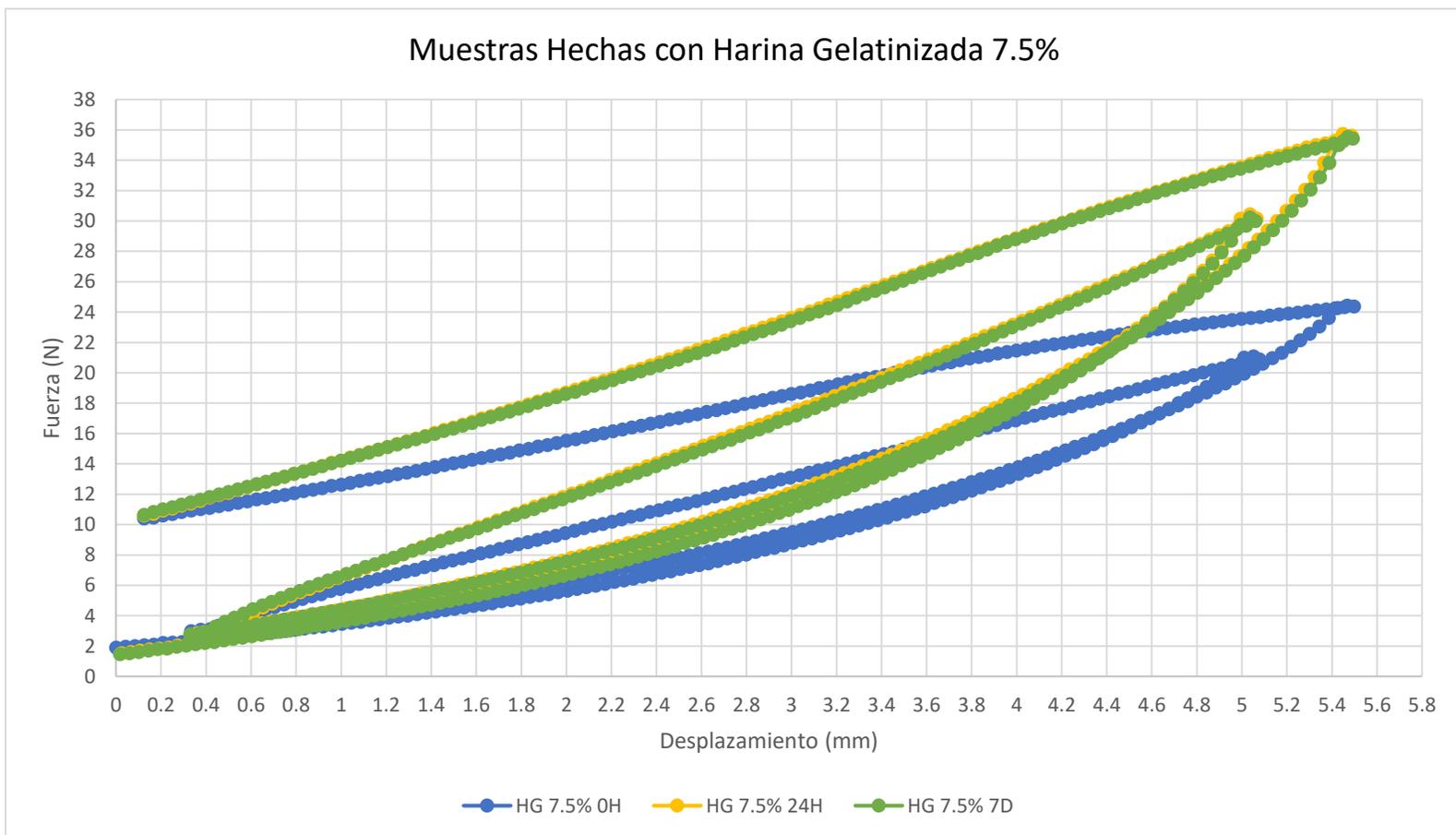


Para las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5% se pudo observar que durante los dos ciclos de compresión las muestras permanecieron intactas ya que gráficamente cambiaron muy poco (menos del 5%), lo que quiere decir que el pan presenta buena elasticidad.

No se pudo apreciar que las muestras colapsaran, aunque se puede percibir que en comparación con las muestras control y las muestras elaboradas con harina gelatinizada al 2.5% éstas requirieron de mayor fuerza para ser comprimidas.

Esto quiere decir que las muestras conservan buenas propiedades de compresión pues resistieron más de 5mm de deformación o desplazamiento sin perder su integridad. **La muestra ultracongelada y horneada a los 7 días** fue la que presentó mayor firmeza pues requirió de una fuerza mayor para ser comprimida (28N). Pueden monitorearse al menos dos ciclos más para determinar si las muestras colapsan o mantiene su integridad.

Gráfica 6. Resultados obtenidos para la prueba de deformación en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5%.



Para las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5% se pudo observar que durante los dos ciclos de compresión las muestras permanecieron intactas ya que gráficamente cambiaron sólo el 2% (menos de 5%) entre el valor teórico esperado y el obtenido, lo que quiere decir que el pan presenta buena elasticidad.

No se pudo apreciar que las muestras colapsaran, aunque se puede percibir que en comparación con las muestras control, las muestras elaboradas con harina gelatinizada al 2.5% y las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5% éstas requirieron de mayor fuerza para ser comprimidas.

Esto quiere decir que las muestras conservan buenas propiedades de compresión pues resistieron más de 5mm de deformación o desplazamiento sin perder su integridad. **La muestra ultracongelada y horneada a las 24 horas y la muestra ultracongelada y horneada a los 7 días** son las que presentaron mayor firmeza pues requirieron de una fuerza mayor para ser comprimidas (35N). Pueden monitorearse al menos dos ciclos más para determinar si las muestras colapsan o mantiene su integridad.

En general para esta prueba las muestras que tuvieron un mayor rendimiento son la que se hicieron con **masas elaboradas con 2.5% de harina de trigo gelatinizada** pues requirieron de menor fuerza de compresión.

Sin embargo, todas las pruebas muestran resultados satisfactorios pues en todo momento se mantuvo la integridad y no colapsaron.

6.5.2 Resiliencia

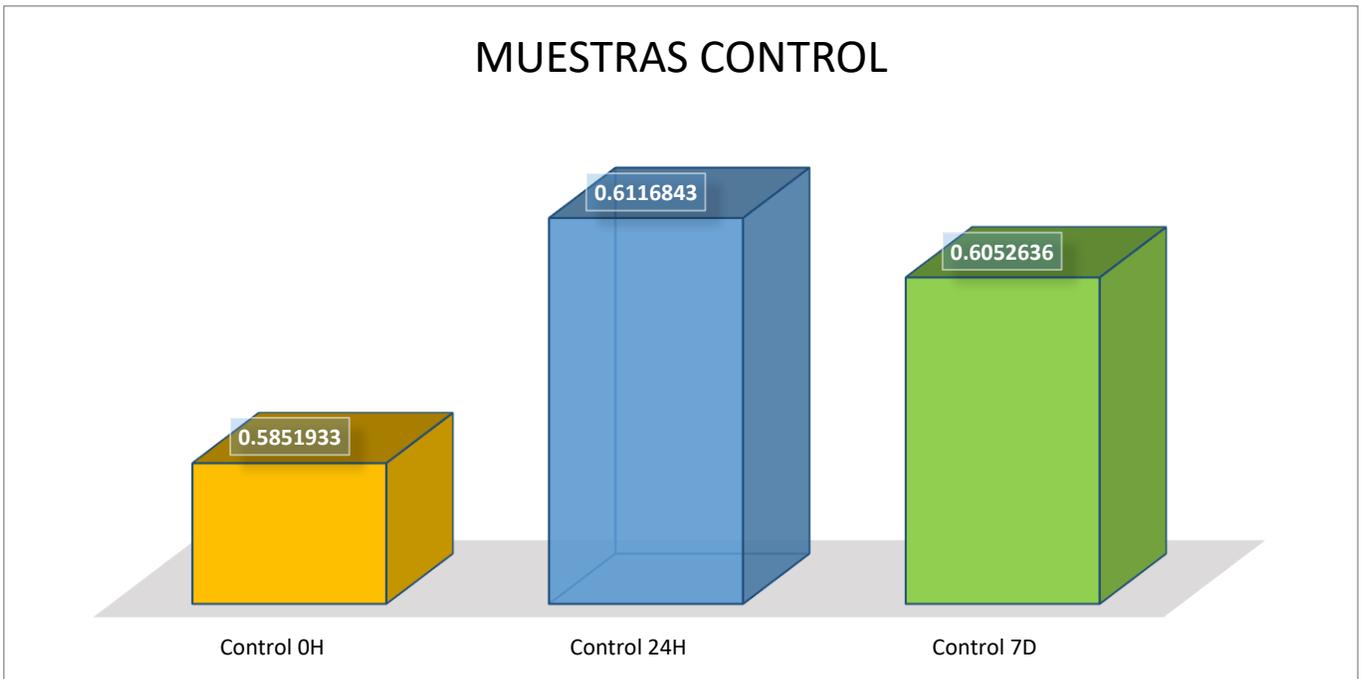
En el cuadro 13 se pueden observar los resultados de resiliencia obtenidos para las muestras:

Cuadro 13: Resultados de resiliencia obtenidos para las muestras.

TIPO DE MUESTRA	RESILIENCIA OBTENIDA
Muestra Control 0H	0.5851933
Muestra Control 24H	0.6116843
Muestra Control 7D	0.6052636
Muestra HG 2.5% 0H	0.5509571
Muestra HG 2.5% 24H	0.6065046
Muestra HG 2.5% 7D	0.6092448
Muestra HG 5% 0H	0.6106461
Muestra HG 5% 24H	0.6172338
Muestra HG 5% 7D	0.6065682
Muestra HG 7.5% 0H	0.6164615
Muestra HG 7.5% 24H	0.6178369
Muestra HG 7.5% 7D	0.6175072

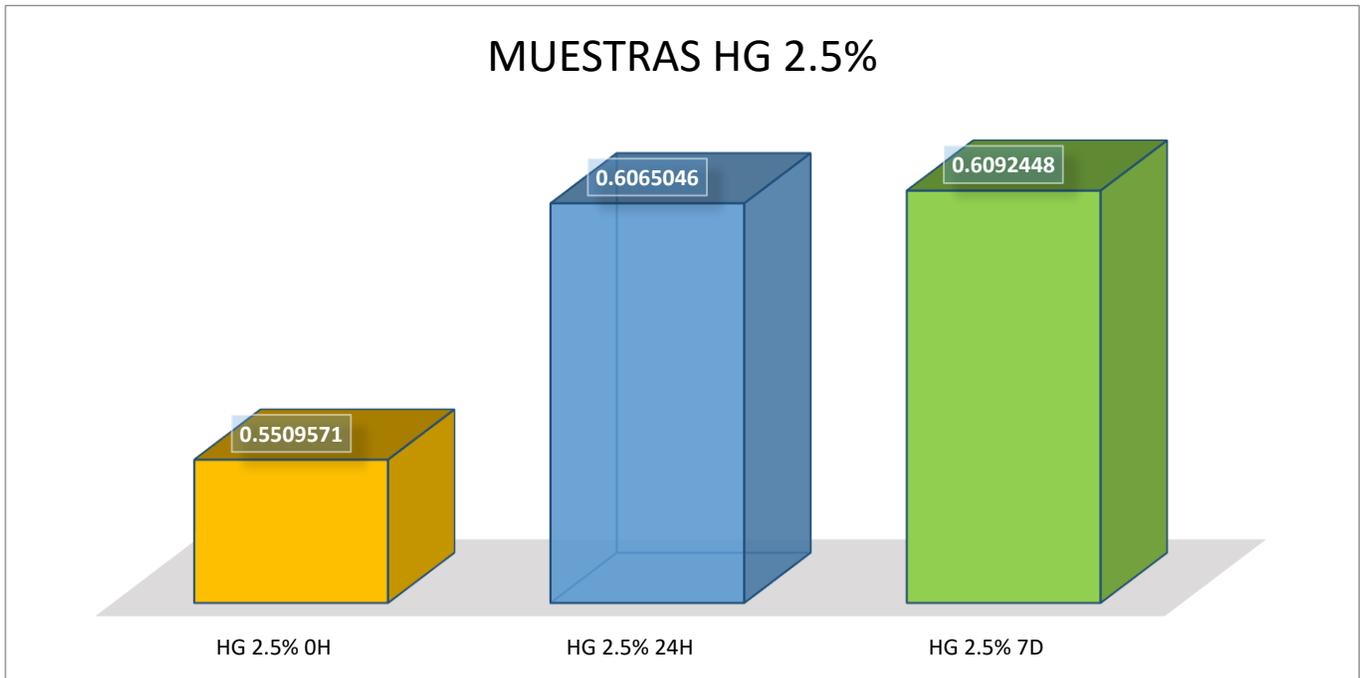
En las siguientes gráficas de barras se muestran los resultados obtenidos:

Gráfica 7. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras control.



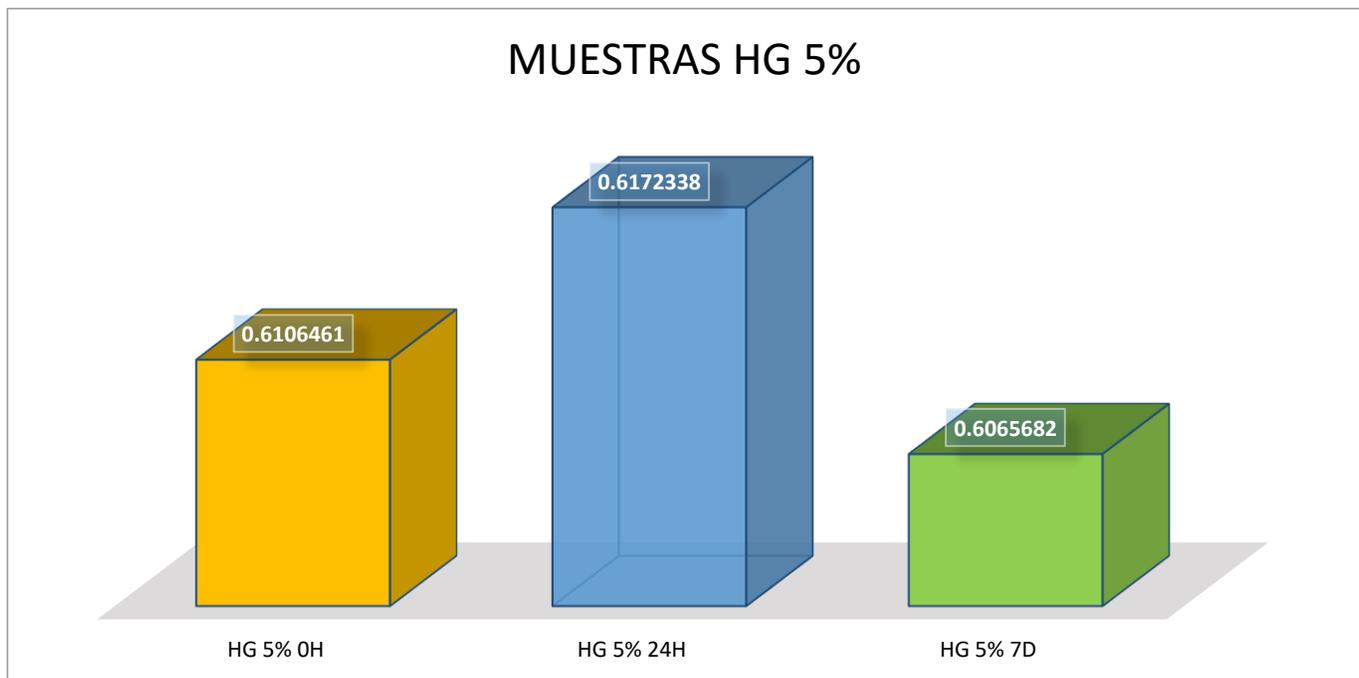
- Como se puede observar la muestra que presentó mayor resiliencia fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas**, esto quiere decir que el producto presenta una buena capacidad para regresar a su altura original gracias a sus elevadas propiedades viscoelásticas y a la firmeza del pan.

Gráfica 8. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 2.5%.



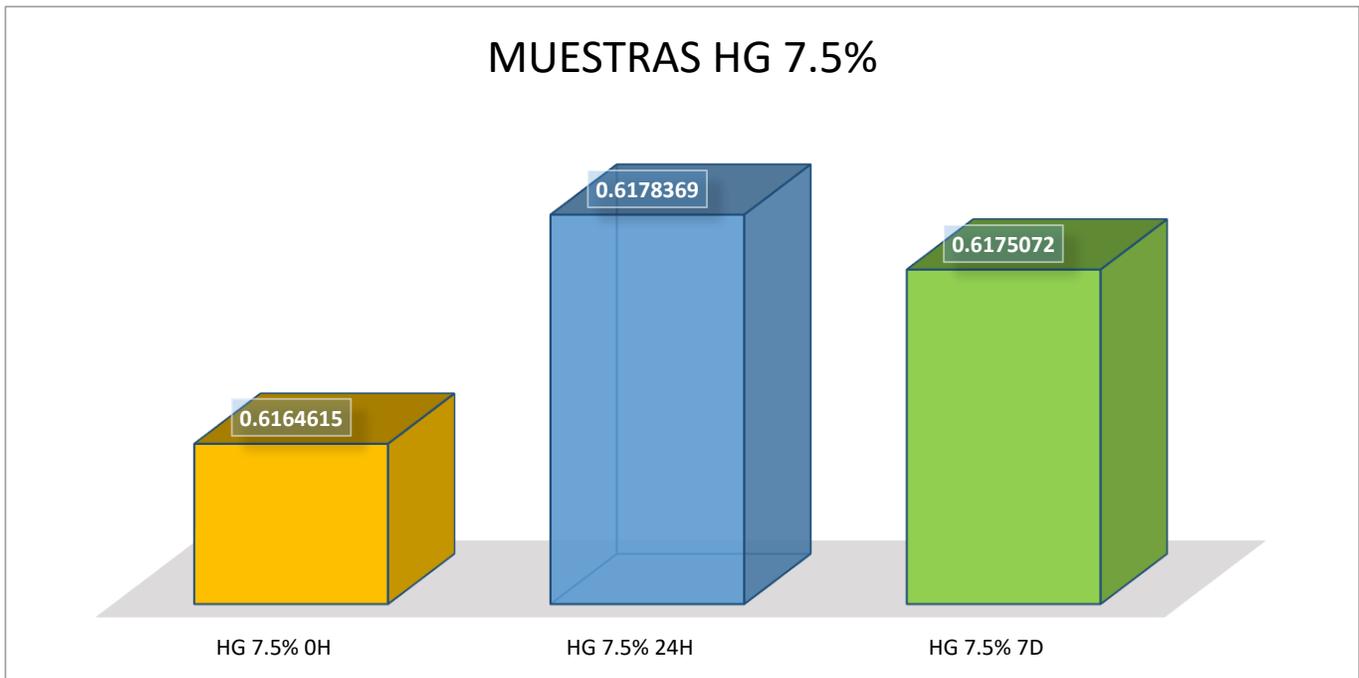
- Como se puede observar las muestras que presentaron mayor resiliencia son **la ultracongelada y horneada a las 24 horas y la ultracongelada y horneada a los 7 días**. Esto quiere decir que el producto presenta una buena capacidad para regresar a su altura original gracias a sus elevadas propiedades viscoelásticas.y a la firmeza del pan. A mayor fuerza de compresión (firmeza) mayor resiliencia.

Gráfica 9. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 5%.



- Como se puede observar la muestra que presentó mayor capacidad para regresar a su altura original fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas**. Esto quiere decir que el producto presenta una buena resiliencia gracias a sus elevadas propiedades viscoelásticas y a la firmeza del pan. A mayor fuerza de compresión (firmeza) mayor resiliencia.

Gráfica 10. Resultados recabados para la prueba de resiliencia en las muestras elaboradas con harina de trigo gelatinizada al 7.5%.



Como se puede observar la muestra que presentó mayor capacidad para regresar a su altura original fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas**. Esto quiere decir que el producto presenta buena resiliencia gracias a sus elevadas propiedades viscoelásticas y a la firmeza del pan. A mayor fuerza de compresión (firmeza) mayor resiliencia.

- En general, las muestras que presentaron mayor resiliencia fueron las que **se ultracongelaron y hornearon a las 24 horas**. Esto puede ser debido a que al ultracongelar y hornear a las 24 horas se retardan los fenómenos de retrogradación y envejecimiento del pan (hay menor agua libre, una estructura de la red de gluten más estable, menor daño a la levadura y su microambiente, una miga más compacta, entre otros) que afectan directamente las propiedades viscoelásticas de la miga.
- El porcentaje de resiliencia para todas las muestras fue bueno; entre un 55 a 62% de la altura original, esto significa que el pan conserva sus propiedades de resiliencia comparado con Bojana (2014) que va desde un 50% a un 76% y reflejan gran diferencia en los valores de resiliencia, lo que significa que las propiedades de resiliencia para sus muestras no se conservaron.

6.6 DETERMINACIÓN DE COLOR DEL PAN

Muestras horneadas sin ultracongelar

Cuadro 14. Valores obtenidos con el colorímetro para las muestras horneadas sin ultracongelar.

Muestra	L*	a*	b*
Control	44.4 ±0.9	14.33 ±0.8	29.75 ±0.6
Harina Gelatinizada 2.5%	50.83 ±0.7	13.34 ±0.9	31.35 ±0.2
Harina Gelatinizada 5%	56.94 ±0.6	12.44 ±0.7	38.66 ±0.5
Harina Gelatinizada 7.5%	64.44 ±0.3	8.38 ±1.1	36.46 ±0.9

Muestras ultracongeladas y horneadas a las 24H

Cuadro 15. Valores obtenidos con el colorímetro para las muestras ultracongeladas y horneadas a las 24 horas.

Muestra	L*	a*	b*
Control	53.63 ±0.2	13.15 ±0.3	35.4 ±1.1
Harina Gelatinizada 2.5%	54.72 ±0.7	13.39 ±0.6	36.79 ±0.5
Harina Gelatinizada 5%	65.13 ±0.5	6.54 ±0.4	35.63 ±0.7
Harina Gelatinizada 7.5%	67.48 ±1.0	5.48 ±0.8	34.42 ±0.3

Muestras ultracongeladas y horneadas a los 7 días

Cuadro 16. Valores obtenidos con el colorímetro para las muestras ultracongeladas y horneadas a los 7 días.

Muestra	L*	a*	b*
Control	51.38 ±0.9	9.85 ±0.7	23.29 ±1.2
Harina Gelatinizada 2.5%	50.98 ±0.5	9.40 ±0.4	23.20 ±0.3
Harina Gelatinizada 5%	59.99 ±0.7	4.55 ±0.9	23.23 ±0.7
Harina Gelatinizada 7.5%	57.84 ±0.2	7.84 ±0.8	24.43 ±0.6

6.6.1 Muestra control

Con respecto a la luminosidad (valor L) se puede decir que la muestra que presentó mayor oscurecimiento fue **la horneada sin ultracongelar** seguida por la **ultracongelada y horneada a los 7 días** y al último la que presentó mayor luminosidad o menor oscurecimiento fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas**.

La muestra control **horneada sin ultracongelar** presentó mayor oscurecimiento debido a que la mayor parte del azúcar adicionada es susceptible a sufrir reacciones de pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard que le proporciona ese color oscuro e intenso característico obtenido como resultado de la interacción del grupo amino de los aminoácidos de las proteínas del gluten y un azúcar reductor que es producido previamente de la hidrólisis de la sacarosa (glucosa+fructosa). Por otra parte al no ultracongelar la levadura muere hasta el horneado lo que le permite a este microorganismo aprovechar al máximo la sacarosa como sustrato favoreciendo la formación del color (Akbar Ali, 2012). Esto se puede comprobar con las determinaciones realizadas del incremento de volumen de las masas elaboradas a partir de diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada. Al haber un incremento de volumen, se sabe que la levadura vive y está metabolizando los azúcares, aunque con estas pruebas no es posible determinar con exactitud qué porcentaje de la levadura está actuando sobre la masa.

Entre la muestra **ultracongelada y horneada a las 24 horas** y la muestra **ultracongelada y horneada a los 7 días** presentó mayor oscurecimiento la segunda. Esto se debe a que al ultracongelar la levadura se inactiva o trabaja a una velocidad menor. Las muestras se ultracongelaron y se pasaron a un congelador por lo que al cabo de 24 horas la temperatura de la masa se encuentra muy cerca de la temperatura de ultracongelación (-18°C). Sin embargo la masa que lleva 7 días en el congelador ya presenta una mayor temperatura (cercano a los -12°C) lo que favorece que la levadura se active o trabaje a una mayor velocidad y pueda aprovechar la sacarosa como sustrato.

En cuanto a las coordenadas rojo/verde (Valor a) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **horneada sin ultracongelar**, seguida por la **ultracongelada y horneada a las 24 horas** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. En primera instancia un valor positivo nos indica una tendencia al color rojo, entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación hacia dicho color. A pesar de que no se obtuvo un valor negativo es importante mencionar que de haberlo obtenido, representaría una tendencia al color verde. Un valor

igual a cero representaría un color neutro (gris o blanco), de aquí la teoría de los colores complementarios que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo.

En cuanto a las coordenadas amarillo/azul (Valor b) la muestra que presentó mayor valor fue la **ultracongelada y horneada a las 24 horas**, seguida por la **horneada sin ultracongelar** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. En primera instancia un valor positivo nos indica una tendencia al amarillo, entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación hacia dicho color. A pesar de que no se obtuvo un valor negativo es importante mencionar que de haberlo obtenido, representaría una tendencia al color azul. De igual forma un valor neutro (igual a cero) representaría un color neutro (gris o blanco), reafirmando que dos colores no pueden ser amarillo y azul al mismo tiempo. El equipo mostró una inclinación al color amarillo debido a la naturaleza del pan que muestra una tonalidad “caléndula” típico de un proceso de horneado. La intensidad del color depende en gran forma del tiempo y temperatura de horneado.

6.6.2 Muestra harina gelatinizada 2.5%

Con respecto a la luminosidad (valor L) se puede decir que la muestra que presentó mayor oscurecimiento fue **la horneada sin ultracongelar** seguida por la **ultracongelada y horneada a los 7 días** y al último la que presentó mayor luminosidad o menor oscurecimiento fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas**. A su vez, se puede observar que a mayor porcentaje de harina de trigo gelatinizada mayor es la luminosidad. Hasta este punto podemos decir que hay una tendencia marcada y que sigue el mismo comportamiento que el observado con las **Muestras control** debido a los conceptos y fundamentos previamente expuestos.

En cuanto a las coordenadas rojo/verde (Valor a) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **ultracongelada y horneada a las 24 horas** seguida por la **horneada sin ultracongelar** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. El valor positivo nos indica una tendencia al rojo que aunque no es muy marcada si es representativo del proceso de horneado.

En cuanto a las coordenadas amarillo/azul (Valor b) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **ultracongelada y horneada a las 24 horas** seguida por la **horneada sin ultracongelar** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. El valor positivo nos indica una tendencia al amarillo además entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación

hacia dicho color. De igual forma se apreciaba una tonalidad “caléndula” en las muestras, característica del proceso de horneado.

6.6.3 Muestra harina gelatinizada 5%

Con respecto a la luminosidad (valor L) se puede decir que la muestra que presentó mayor luminosidad fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas** seguida por la **ultracongelada y horneada a los 7 días** y al último la que presentó menor luminosidad o mayor oscurecimiento fue **la horneada sin ultracongelar**. Hasta este punto se puede decir que hay una tendencia marcada y que sigue el mismo comportamiento que el observado con las **Muestras control**.

En cuanto a las coordenadas rojo/verde (Valor a) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **horneada sin ultracongelar** seguida por la **ultracongelada y horneada a las 24 horas** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. El valor positivo nos indica una tendencia al rojo que aunque no es muy marcada si es representativo del proceso de horneado por las propiedades físicas del producto.

En cuanto a las coordenadas amarillo/azul (Valor b) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **horneada sin ultracongelar** seguida por **ultracongelada y horneada a las 24 horas** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. El valor positivo nos indica una tendencia al amarillo además entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación hacia dicho color. De igual forma se apreciaba una tonalidad “caléndula” en las muestras, característica del proceso de horneado (La Commission Internationale de l'Éclairage, 2018).

6.6.4 Muestra Harina Gelatinizada 7.5%

Con respecto a la luminosidad (valor L) se puede apreciar que la muestra que presentó mayor luminosidad fue **la ultracongelada y horneada a las 24 horas** seguida por la **horneada sin ultracongelar** y al último la que presentó menor luminosidad o mayor oscurecimiento fue **ultracongelada y horneada a los 7 días**. De acuerdo con lo observado en los análisis anteriores no se siguió la tendencia que se había observado previamente, además, es importante mencionar que en general las muestras hechas con **harina gelatinizada 7.5%** fueron las que presentaron mayor luminosidad en comparación con las demás muestras. Esto indica que la reacción de oscurecimiento no enzimático de Maillard no se ve favorecida, pudiendo deberse a que al haber un mayor porcentaje de almidón gelatinizado este tiene una mayor retención e interacción con el agua de la región amorfa del gránulo. En consecuencia hay mayor competencia del agua de los gránulos de almidón

con los azúcares (disminución de la interacción proteína-azúcar reductor, no hay –OH disponibles para llevar a cabo la reacción) impidiendo que la reacción pueda llevarse a cabo fácilmente. En otras palabras los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo no se rompen y no permiten que haya una asociación con los grupos hidroxilos libres de los azúcares (Steven Du, 2017). O bien, para las muestras ultracongeladas puede deberse a que al haber mayor cantidad de agua congelada, la interacción amina-azúcar es menor.

Se sabe además, que la ruptura de los gránulos de almidón inducida por el calor provoca un estado desordenado de la estructura cristalina fragmentando las moléculas y dispersándolas, a esto lo podemos conocer como la pérdida de la birrefringencia. En el momento que se pierde la birrefringencia se sabe que es la temperatura óptima de gelatinización (Brumovsky, 2014).

En cuanto a las coordenadas rojo/verde (Valor a) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **horneada sin ultracongelar** seguida por la **ultracongelada y horneada a los 7 días** y al último la **ultracongelada y horneada a las 24 horas**. El valor positivo nos indica una tendencia al rojo que aunque no es muy marcada si es representativo del proceso de horneado por las propiedades físicas del producto. En general el valor obtenido para “a” de **las muestras de harina gelatinizada 7.5%** fue menor en comparación con las demás. Esto se debe a que la reacción de Maillard no se vió favorecida y hay una disminución en la obtención de los colores características del producto terminado propios de dicha reacción.

En cuanto a las coordenadas amarillo/azul (Valor b) la muestra que presentó mayor valor numérico fue la **horneada sin ultracongelar** seguida por **ultracongelada y horneada a las 24 horas** y al último la **ultracongelada y horneada a los 7 días**. El valor positivo nos indica una tendencia al amarillo además entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación hacia dicho color. De igual forma se puede observar una tonalidad amarillo “caléndula” ó “1235 CP” en la escala Pantone en las muestras, característica del proceso de horneado (La Commission Internationale de l'Éclairage, 2018; Pantone, 2018).

En el cuadro 17 se observan las muestras de pan tipo bizcocho elaboradas con distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada.

Cuadro 17. Imágenes obtenidas de las muestras de pan tipo bizcocho elaboradas con distintos porcentajes de harina de trigo gelatinizada.

TIPO DE MUESTRA	MASA SIN ULTRACONGELAR Y HORNEADA	MASA ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H	MASA ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS
CONTROL			
HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 2.5%			
HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 5%			
HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 7.5%			

Se puede observar que en general conforme aumenta el porcentaje de harina de trigo gelatinizada la luminosidad es mayor o hay menor oscurecimiento en el producto debido a que la reacción de Maillard se está llevando en menor proporción por lo fundamentado anteriormente.

Otra cosa que se puede apreciar es que las masas que no se ultracongelaron (que se hornearon inmediatamente) presentaron un color uniforme y homogéneo, mientras que en las masas que se ultracongelaron y se resguardaron en congelación (ya sea 24 horas o 7 días) al momento de hornear presentaron “erupciones” o no tenían un color homogéneo presentando “manchas oscuras” en la superficie de nuestro producto. (Ver cuadro 9).

Esto puede ser debido a que al no ultracongelar, fermentar y hornear inmediatamente se produce CO₂ de manera uniforme en toda la superficie del pan, brindando un volumen homogéneo. Sin embargo, en las masas ultracongeladas y resguardadas en congelación 24 horas o 7 días, al momento de fermentar y hornear también se produce CO₂ pero de manera heterogénea ya que hay un daño en la estructura microscópica de la red de gluten, además de que se condensa el agua provocando la formación de pequeñas burbujas de distintos tamaños dentro de la miga del pan (especialmente en la superficie) y que al hornear se cuecen de diferente manera (Schulze, 2017).

A pesar de que se siguieron las recomendaciones de descongelado de las masas ultracongeladas previo al proceso de cocción, estas tuvieron daño en su estructura. Esto fue debido a los principios de la nucleación. Al congelar y descongelar se forman cristales de mayor tamaño que provocan daño en la estructura de la red de gluten.

Cuadro 18. Muestras de pan que presentaron manchas o erupciones después del horneado.

TIPO DE MUESTRA	MASA SIN ULTRACONGELAR Y HORNEADA	MASA ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LAS 24H	MASA ULTRACONGELADA Y HORNEADA A LOS 7 DÍAS
<p>HARINA DE TRIGO GELATINIZADA AL 7.5%</p>			

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que la elaboración de masas utilizando diferentes porcentajes de harina de trigo gelatinizada y la ultracongelación modifican significativamente las propiedades físicas, microestructurales y de resiliencia de la miga que impactan directamente en la elaboración pan tipo bizcocho. La utilización de un 2.5% y 5% de harina de trigo gelatinizada en la elaboración de masas mejora considerablemente las propiedades de la miga y del producto terminado.

La ultracongelación y el resguardo de las masas a temperaturas de -18°C modifican considerablemente el aspecto, tamaño de poro, producción de volumen en la fermentación y corteza de la miga que da lugar a la obtención de un producto de menor calidad que uno fresco.

La utilización de un 2.5% y 5% de harina de trigo gelatinizada aumenta el volumen, aspecto, tamaño de poro y disminuye una corteza gruesa en el pan. Sin embargo, cuando se ultracongela y entre mayor es el tiempo de resguardo a bajas temperaturas la miga presenta cambios y daños considerables.

La ultracongelación y el tiempo de resguardo no modifican considerablemente la resiliencia del pan leudado tipo bizcocho ya que presentan un 55 a 62% con respecto a este parámetro dando lugar a una buena estabilidad de la miga y no colapsar.

Por lo tanto, la utilización de un 2.5% y 5% de harina de trigo gelatinizada en la elaboración de masas para formular pan leudado tipo bizcocho es una buena alternativa para elaborar productos de calidad aceptable, siempre y cuando la masa se ultracongela y resguarda en un periodo máximo de 24 horas.

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Jdayil, B., Azzam, M. O. J., y Al-Malah, K. I. M. (2001). Effect of glucose and storage time on the viscosity of wheat starch dispersions. *Carbohydrate Polymers*, 46, 207–215.
- Agama-Acevedo Edith, Astrid Ottenhof Marie, A. Farhat Imad, Paredes-López Octavio, Ortíz-Cereceres Joaquín y A. Bello-Pérez Luis (2005). Isolation and characterization of starch from pigmented maizes. *Division of Food Sciences*, 39 (4).
- Ai, Y., y Jane, J. L. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch-Stärke*, 67(3-4), 213-224.
- Akbar Ali, Aamir Shehzad, Moazzam Rafiq Khan, Muhammad Asim Shabbir, Muhammad Rizwan Amjid (2012). Yeast, its types and role in fermentation during bread making process-A Review. 22(3): 171-179.
- Aleixandre, J. L. (1996). *Procesos de Elaboración de Alimentos*. Ed. U.P.V., Valencia.
- Amend T, Belitz H- D (1990). The formation of dough and gluten- A study by scanning electron microscopy. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 190: 401 – 409.
- Anovitz, L.M., Cole, D.R. (2015). Characterization and analysis of porosity and pre structures. *Rev. Mineral. Geochem.* 80, 61-164.
- Attfield, P. V. (1997). Stress tolerance: The key to effective strains of industrial baker's yeast. *Nature Biotechnology*, 15, 1351–1357.
- Auesukaree, C., Koedrith, P., Saenpayavai, P., Asvarak, T., Benjaphokee, S., Sugiyama, M., et al., (2012). Characterization and gene expression profiles of thermotolerant *Saccharomyces cerevisiae* isolates from Thai fruits. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 114(2), 144–149.
- Autio, K., y Sinda, E. (1992). Frozen doughs: Rheological changes and yeast viability. *Cereal Chemistry*, 69, 409–413.
- Badui Dergal Salvador (2006). *Química de los alimentos*. Editorial Pearson. 4^a Edición.
- Báguena, R., Soriano, M. D., Martínez-Anaya, M. A., Barber, C. B. (1991). Viability and performance of pure yeast strains in frozen wheat dough. *J. Food Sci.* 56, 1690-1694, 1698.
- Bajd Franci., Sersa Igor (2010). Continuous monitoring of dough fermentation and bread baking by magnetic resonance microscopy. *Science Direct. ELSEVIER.* 29 (2011) 434-442.

- Barreto Miriam (2015). Elaboración de un pan gourmet a base de harina de garbanzo y trigo; incorporando albahaca con cualidades nutritivas mejoradas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Belderok B, Mesdag H, Donner DA (2000). Bread-Making Quality of Wheat. Springer, New York.
- Beltran, G., Rozes, N., Mas, A., y Guillamon, J. M. (2007). Effect of low-temperature fermentation on yeast nitrogen metabolism. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(6), 809-815.
- Berglund, P. T., Shelton, D. R. (1993). Effect of frozen storage duration in firming properties of breads baked from frozen doughs. *Cereal Foods World*. 38, 89, 90, 92-93.
- Bojana Filipčev V. (2014). Texture and stress relaxation of spelt-amaranth composite breads. *Food and Feed Research*, 41(1), 1-9.
- Brown, A. (2014). *Understanding Food: Principles and preparation*. Nelson Education: USA.
- Brumovsky Luis A. (2014). *Química del almidón*. Universidad Nacional de Misiones.
- Bushuk, W., y Hlynka (1964). Water as a constituent of flour, dough and bread. *Baker's Dig*. 38 (6): 43.
- Calaveras, J (2000). *Nuevo tratado de panificación y bollería*. España: Mundi Prensa pp 25-29, 38, 125-139.
- Callejo, G. M. J. (2002). *Industrias de cereales y derivados*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 25-35; 67-72; 90-101; 191-208; 222-23.
- Calvel, R. (1983). *La Panadería moderna*. CAL. CIMMYT. No. 664.752.
- Canónico Franco Marcia (2003). *Agregación en gránulos de almidón*. Universidad Autónoma de Querétaro. Departamento de investigación y posgrado en ingeniería.
- Carrillo-Navas, A. Y. Guadarrama-Lezama, E. J. Vernon-Carter, S. García-Díaz, I. Reyes, y J. Alvarez-Ramírez (2016). Effect of gelatinized flour fraction on thermal and rheological properties of wheat-based dough and bread, *53 (11)*, 3996-4006.
- Chen, Y., Huang, S., Tang, Z., Chen, X., y Zhang, Z. (2011). Structural changes of cassava starch granules hydrolyzed by a mixture of α -amylase and glucoamylase. *Carbohydrate Polymers*, 85(1), 272-275.
- Chiotelli, E., y Lemeste, M. (2002). Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behavior of starch. *Cereal Chemistry*, 79 (2), 286-293.

- Chung, H. J., Lim, H. S., y Lim, S. T. (2006). Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. *Journal of Cereal Science*, 43(3), 353-359.
- Chung, H. J., Liu, Q., y Hoover, R. (2010). Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches. *Food Research International*, 43(2), 501-508.
- Coronado, Ma de Lourdes. (2000). Información técnica y normativa en apoyo a la industria de la panificación. Tesis de Titulación. UNAM, México.
- Dasappa, I., Pichan, P., Jyotsna, R., Venkateswara-Rao, G. (2002). Effect of storage on the rheological and parotta-making characteristics of frozen parotta dough. *Eur. Food Res. Technol.* 215, 484-488.
- De Guio F, Musse M. Benoit-Cattin H, Lucas T, Davenel A (2009). Magnetic resonance imaging method based on magnetic susceptibility effects to estimate bubble size in alveolar products: application to bread dough during proving. *Magn Reson Imaging.* 27 (4): 577-85.
- Díaz Yubero Ismael (2011). Historia y presente del pan. Importancia alimentaria y cualidades nutricionales.
- Dobraszczyk, B. J., y Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of cereal Science*, 38(3), 229-245.
- Donovan, J, W. (1979). Phase transitions of the starch water system. *Biopolymers* 18:263.
- Ebbutt, L. I. K. (1961). The relationship between activity and cell-wall permeability in dried baker's yeast. *Microbiology*, 25(1), 87–95.
- Edwards, W. P. (2007). The science of bakery products. Royal Society of Chemistry. Eliasson, A. C.
- Espitia-Rangel Eduardo, H. Eduardo Villaseñor-Mir, Eliel Martínez-Cruz, R. Hortelano Santa-Rosa, Azalia Lozano-Grande, Agustín Limón-Ortega (2017). Análisis de la estabilidad del volumen del pan de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) Mexicanos de secano. *Agrociencia* 51: 743-754.
- Figoni Paula (2011). How baking works. Exploring the fundamentals of baking science. 3rd Ed. Wiley Editorial.
- Flecha Manuel (2015). Procesos y técnicas de panificación.

- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., y Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931-942.
- G. Ponte Joseph (2000). *Handbook of cereal science and technology*. Marcel Dekker Inc. Pp 390-394 (Disponible en <https://books.google.com.mx/books?id=qtqEWcA73BEC&pg=PA391&lpg=PA391&dq=starch%20birefringence&source=bl&ots=HyFjhBRCBg&sig=63efSf4OfrKF-4mEgjBkkC53Ckk&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwilxeyy597SAhVB4iYKHc9JAmlQ6AEIcDAO#v=onepage&q=starch%20birefringence&f=false>).
- Gélinas, P., McKinnon, C.M., Lukow, O.M., Townley-Smith, F. (1996). Rapid evaluation of frozen and fresh dough involving stress conditions. *Cereal Chem.* 73, 767-769.
- Giannou, V., Kessoglou, V., Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends Food Sci. Technol.* 14, 99-108.
- Grant, C., MacIver, F., y Dawes, I. (1996). Glutathione is an essential metabolite required for resistance to oxidative stress in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Current Genetics*, 29(6), 511–515.
- Hallberg, L. M., y Chinachoti, P. (2002). A fresh perspective on staling: The significance of starch recrystallization on the firming of bread. *Journal of Food Science*, 67(3), 1092-1096.
- Han Tao, Pei Wang, Fengfeng Wu, Zhengyu Jin, Xueming Xu (2015). Particle size distribution of wheat starch granules in relation to baking properties of frozen dough. Elsevier. Science direct. *Carbohydrate polymers* 137.
- Hancock, S. M., Uprety, R., Deiters, A., y Chin, J. W. (2010). Expanding the genetic code of yeast for incorporation of diverse unnatural amino acids via a pyrrolysyl-tRNA synthetase/tRNA pair. *Journal of the American Chemical Society*, 132(42), 14819-14824.
- Havet, M., Mankai, M., Le Bail, A (2000). Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough. *J. Food Eng.* 45, 139-145.
- He, H., y Hosney, R. C. (1990). Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chemistry*, 67, 603–605.
- Hellwig, M., Henle, T. (2014). Baking, ageing, diabetes: a short history of the Maillard reaction. *Angewandte Chemie International Edition*, 53(39), 10316-10329.

- Hernández Valdez. C. E. (2009). Acción y efectos de la polifenoloxidasa en alimentos. Universidad Veracruzana. pp 8-10.
- Hosney, C. (1994). Cereals. Science and Technology. España: Acribia. pp. 129-138.
- Ishida N, Takano H, Naito S, Isobe S, Uemura K, Haishi T, et al., (2001). Architecture of baked breads depicted by magnetic resonance imaging. *Magn Reson Imaging*. 19 (6): 867-74.
- Jackel, S. S. Frozen dough opportunities keep heating up (1991). *Cereal Foods World*. 36, 529.
- Jinhee Yi (2008). Improving frozen bread dough quality through processing and Ingredients. Georgia, pp 40.
- Julie A. Albrecht. (1994). Functions of baking ingredients. University of Nebraska-Lincoln.
- Kerr W. L, Osuga D. T, Feeney R. E. (1987). Effects of antifreeze glycoproteins on linear crystallization velocities of ice. *Journal of Crystal Growth* 85(3):449-452.
- Kieffer, R., Kim, J.-J., Walther, C., Laskawy, G., y Grosch, W. (1990). Influence of glutathione and cysteine on the improver effect of ascorbic acid stereoisomers. *Journal of Cereal Science*, 11(2), 143–152.
- Kline, L., y Sugihara, T. F. (1968). Factors affecting the stability of frozen bread doughs I. Prepared by straight dough method. *Baker's Dig*. 42 (5):44.
- Konik-Rose Ch, Thistleton J, Chanvrier H, Tan I, Halley P, Gidley M, Kosar-Hashemi B, Wang H, Larroque O, Ikea J, McMaugh S, Regina A, Rahman S, Morell M, Li Z (2007). *Theor. Appl. Genet*. 115: 1053–106.
- Kugimiya, B. M., Donovan, J. W., y Wong, R. Y. (1980). Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches: A calorimetric study. *Stärke* 32:265.
- La Commission Internationale de l'Éclairage (2018). (Disponible en <http://www.cie.co.at/>).
- Lamacchia Carmela., Alessandra Camarca., Stefania Picascia., Aldo Di Luccia., Carmen Gianfrani (2014). Cereal-Based Gluten-Free Food: How to Reconcile Nutritional and Technological Properties of Wheat Proteins with Safety for Celiac Disease Patients. *Nutrients*, 6(2), 575-590.
- Lawrence, M., y Jiang, Y. (2017). Porosity, pore size distribution, micro-structure. In *Bio-aggregates Based Building Materials* (pp. 39-71). Springer, Dordrecht.

- LeBail, A. (2006). Freezing process: physical aspects', in Hui, YH.,Cornillon, P., Legaretta, IG., Lim, MH., Murrell, KD and Nip, WK. Handbook of Frozen Foods, Marcel Dekker, New York.
- 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. Food and Bioprocess Technology, 3(2), 197-203.
- Li, H., Wang, H. L., Du, J., Du, G., Zhan, J. C., y Huang, W. D. (2010). Trehalose protects wine yeast against oxidation under thermal stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 26(6), 969-976.
- Li, J., Kang, J., Wang, L., Li, Z., Wang, R., Chen, Z. X., y Hou, G. G. (2012). Effect of water migration between arabinoxylans and gluten on baking quality of whole wheat bread detected by magnetic resonance imaging (MRI). Journal of agricultural and food chemistry, 60(26), 6507-6514.
- Li, Tsiami, Bollecker, y Schofield. (2009). Glutathione and related thiol compounds II: The importance of protein-bound glutathione and its related compounds in gluten protein. Journal of Cereal Science. 39(2):213-224.
- Luchian M. I. y Canja. C. M. (2010). Effect of salt on gas production in bread dough. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Vol 3 (52).
- Luna-Fernández M., M. E. Bárcenas-Pozos (2011). Envejecimiento del pan: causas y soluciones. Temas selectos de ingeniería de alimentos. Vol. 5 (2): 40-53.
- Magaña Barajas Elisa., Benjamín Ramírez Wong., Patricia Isabel Torres Chávez., Dalia Isabel Sánchez Machado., Jaime López Cervantes (2011). Efecto del contenido de proteína, grasa y levadura en las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad de pan tipo francés. Redalyc. Vol. 36 (4).
- Mahmud, S. A., Hirasawa, T., Furusawa, C., Yoshikawa, K., y Shimizu, H. (2012). Understanding the mechanism of heat stress tolerance caused by high trehalose accumulation in *Saccharomyces cerevisiae* using DNA microarray. Journal of Bioscience and Bioengineering, 113(4), 526–528.
- Majzoubi M., A. Farahnaky., Sh. Agah (2011). Properties and Shelf-life of Part-and Full-baked Flat Bread (Barbari) at ambient and frozen storage. J. Agr. Sci. Tech. Vol. 13: 1077-1090.
- Martín Félix (2015). Cambios y alteraciones en los alimentos durante el proceso de congelación. Restauración colectiva. Versión 2. Pág. 2 (Disponible en

<http://www.restauracioncolectiva.com/n/cambios-y-alteraciones-en-los-alimentos-durante-el-proceso-de-congelacion-ii>).

- Martínez, M. M., Rosell, C. M., & Gómez, M. (2014). Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *Journal of Food Engineering*, 143, 74-79.
- Mazur, P. (1976). Mechanisms of injury in frozen-thawed cells cooled at suboptimal and supraoptimal rates. *Cryobiology*, 13, 645.
- Meric, L., Lambert-Guilois, S., Neyreneuf, O., Richard-Molard, D. (1995). Cryoresistance of baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* in frozen dough: contribution of cellular trehalose. *Cereal Chem.* 72, 609-615.
- Mesas, J. M.; Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 3 (5), pp. 307-313.
- Meziani, S., Ioannou, I., Jasniewski, J., Belhaj, N., Muller, J. M., Ghoul, M., y Desobry, S. (2012). Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network integrity of sweet dough. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 118-126.
- Miller, R.A., Hosney, R.C. (2008). Role of Salt in Baking. In: CFW 53, p. 4-6.
- Molinos Victoria (2018). (Disponible en www.molinosvictoria.com).
- Mondal, A., y Datta, A. K. (2008). Bread baking—a review. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 465-474.
- Moreiras Olga., Carbajal Ángeles., Cabrera Luisa., Cuadrado Carmen (2013). *Composición de alimentos*. Editorial Pirámide. 16ª Edición.
- Muhardina Virna (2015). A review: An innovation in bread making process by implementing freezing treatment to produce frozen dough. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*. Vol. 7 (1).
- Muñoz, L. A., Pedreschi, F., Leiva, A., y Aguilera, J. M. (2015). Loss of birefringence and swelling behavior in native starch granules: Microstructural and thermal properties. *Journal of Food Engineering*, 152, 65-71.
- Newbury, D. E., y Ritchie, N. W. (2013). Is Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM/EDS) Quantitative? *Scanning*, 35(3), 141-168.
- Neyreneuf, O., Van Der Plaats, J. B. (1991). Preparation of frozen French bread dough with improved stability. *Cereal Chem.* 68, 60-66.

- Nierle, W; El Baya, A. (1990). Functionality of modified gluten in baking. En W. Bushuk, & R. Trachuk (Eds.), *Gluten Proteins*. 42-46. St. Paul, MN: AACC International.
- Olivera, S. D. (2011). The effect of basic raw materials in the process of wheat dough freezing. *Food Feed Res*, 38, 9-19.
- Ordoñez Hernández Mariela, Durán Osorio Daniel (2012). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. 2012.10 (2):61-74.
- Osuna Mariana, María Alicia Judis, Ana Romero, Nora Bertola (2013). Características texturales y de color en panes con mezclas de harinas. *Publitech*.
- Panis Quadra (2016). Los ingredientes del pan. *Contemporary bakery*.
- Pastelería y panadería. Humanes Carrasco Juan Pablo (1994). Editorial Interamericana-McGraw Hill.
- Pérez, E. G. T., Hernández, A. O., y Santos, J. S. (2013). Aditivos alimentarios. *Toxicología de los alimentos*, 287.
- Pineda-Gómez P., D. F. Coral, M. L. Arciniegas, A. Rorales-Rivera, M. E. Rodríguez García (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*. Vol. 6 (11). páginas 129–141.
- Pomeranz (1985). *Functional Properties of Food Components*. Academic Press: Orlando, FL.
- Quora. (2017). Why Isn't Bread Alcoholic? *Revista Forbes 2017*. Disponible en <https://www.forbes.com/sites/civcnation/2018/04/26/five-numbers-that-show-the-impact-free-college-can-have/#71156dc87d01>
- Reed, G. (2012). *Yeast technology*. Springer Science & Business Media.
- Rettig Mathias, Hen Ah, K (2014). Color in food as a measurable quality criterion. *Agro Sur* 42 (2).
- Ribotta P. D., Perez G. T., Leon A. E., Anon M. C. (2004). Effect of emulsifier and guar gum on microstructural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids* 18(2):305-313.
- Ribotta, P. D., León, A. E., Añón, M. C. (2003). Effect of yeast freezing in frozen dough. *Cereal Chem.* 8, 80, 454-458. 21.

- Rodríguez-Torres, D., Murillo-Arango, W., Vaquiro-Herrera, H. A., y Solanilla-Duque, J. F. (2017). Thermal and physicochemical properties of starches from three Colombian rice varieties. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 116-124.
- Samir Ángelo Melim Miguel., Tathiana Souza Martins-Meyer., Érika Veríssimo da Costa Figueiredo., Bianca Waruar Paulo Lobo., Gisela Maria Dellamora-Ortiz (2013). *Enzymes in bakery: Current and future trends*. Federal University of Rio de Janeiro
- Schulze Eric (2017). *An Introduction to the Maillard Reaction: The Science of Browning, Aroma, and Flavor*. Serious Eats. (Disponible en <http://www.serious-eats.com/2017/04/what-is-maillard-reaction-cooking-science.html>).
- Seasoned Advice (2013). (Disponible en <https://cooking.stackexchange.com/questions/27855/what-makes-a-bread-either-close-or-open-crumbed-textured>).
- Secretaría de Economía (2018). *La industria de alimentos procesados en México*. PROMÉXICO. Inversión y Comercio. (Disponible en <http://www.promexico.gob.mx/documentos/sectores/presentacion-alimentos-procesados.pdf>).
- Seguchi, M., Nikaidoo, S., Morimoto, N. (2003). Centrifuged liquid and breadmaking properties of frozen-and-thawed bread dough. *Cereal Chem.* 80, 264-268.
- Selomulyo, V. O., y Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 45(1), 1-17.
- Servet Gulum Sumnu., Serpil Sahin (2008). *Food engineering aspects of baking sweet goods*. Contemporary food engineering series. Da-Wen Sun (Disponible en <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=nkgojLvTyFgC&oi=fnd&pg=PT49&dq=percentages+of+ingredients+in+baking&ots=5wBURE2hQi&sig=LESxN3Z0UHBkOEGwRIL5cVKRHrc#v=onepage&q=percentages%20of%20ingredients%20in%20baking&f=false>).
- Sharadanant R, Khan K. (2003). Effect of hydrophilic gums on frozen dough I. Dough quality. *Cereal Chem.* 80(6):764-772.
- Shehzad Aamir, Ali Akbar, Rafiq Khan Moazzam, Asim Shabbir Muhammad, Rizwan Amjid Muhammad (2012). Yeast, its types and role in fermentation during bread making process-A. 22(3).

- Shujun Wang, Caili Li, Xiu Zhang, Les Copeland y Shuo Wang (2016). Retrogradation enthalpy does not always reflect the retrogradation behavior of gelatinized starch. *Scientific Reports*.
- Silvas García, M. I., Ramírez Wong, B., Torres Chávez, P. I., Carvajal Millan, E., Bello Pérez, L. A., y Barrón Hoyos, J. M. (2013). Cambios fisicoquímicos en masa congelada y su efecto en la calidad del pan: una revisión. *Interciencia*, 38(5).
- Steven Du (2017). Maillard Reaction.
- Takagi, H., y Shima, J. (2015). Stress tolerance of baker's yeast during bread-making processes. In *Stress Biology of Yeasts and Fungi* (pp. 23-42). Springer Japan.
- Terao, Y., Nakamori, S., Takagi, H. (2003). Gene dosage effect of L-proline biosynthetic enzymes on L-proline accumulation and freeze tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 6527-6532.
- Tester, R. F., y Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches, I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67 (6) 551-557.
- Thombre, R., y Joshi, S. (2017). Industrial production and applications of yeast and yeast products. *Industrial Biotechnology: Sustainable Production and Bioresource Utilization*, 59.
- Toyosaki Toshiyuki y Sakane Yasuhide (2013). Effects of salt on wheat flour dough fermentation. *Advanced Journal of Food Science and Technology* 5(2) 84-89.
- Trinh, L., Lowe, T., Campbell, G. M., Withers, P. J., y Martin, P. J. (2015). Effect of sugar on bread dough aeration during mixing. *Journal of Food Engineering*, 150, 9-18.
- Tyagi, M. R. Manikantan., Harinder Singh Oberoi., Gurlen Kaur (2006). Effect of mustard flour incorporation on nutritional, textural and organoleptic characteristics of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1043-1050.
- Upadhyay, R., Ghosal, D., y Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 104-113.
- Varriano-Marston, E., HSU, K. H., y Mhadi, J. (1980). Rheological and structural changes in frozen dough. *Baker's Dig.* 54 (1):32-34, 41.
- Verstrepen, K.J., D. Iserentant, P.Malcorps, G.Derdelinckx, P.Van Dijck, J.Winderickx, y I.S. Pretorius. (2004). Glucose and sucrose: hazardous fast-food for industrial yeast? *Trends in Biotechnology* 22(10): 531–537.

- Vetter, J. L. (1979). Frozen unbaked bread dough: past, present, future. *Cereal Foods World*. 24, 42-43.
- Wang, P., Yang, R., Gu, Z., Xu, X., y Jin, Z. (2017). Comparative study of deterioration procedure in chemical-leavened steamed bread dough under frozen storage and freeze/thaw condition. *Food chemistry*, 229, 464-471.
- Wang, S., Zhang, X., Wang, S., y Copeland, L. (2016). Changes of multi-scale structure during mimicked DSC heating reveal the nature of starch gelatinization. *Scientific reports*, 6, 28271.
- Woosung Bae, Bon Lee, Gary G. Hou, Suyong Lee (2014). Physicochemical characterization of whole grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. Elsevier. *Journal of Cereal Science*, 60. Pp 520-525.
- Zhang, T., Wang, Z., Yin, Y., Cai, R., Yan, S., y Li, W. (2010). Starch Content and Granule Size Distribution in Grains of Wheat in Relation to Post-Anthesis Water Deficits. *Journal of Agronomy and crop science*, 196(1), 1-8.
- Zhu, F. (2014). Influence of ingredients and chemical components on the quality of Chinese steamed bread. *Food Chemistry*, 163, 154-162.
- Zounis, S., Quail, K. J., Wootton, M., Dickson, M. R. (2002). Studying frozen dough structure using low-temperature scanning electron microscopy. *J. Cereal Sci.* 35, 135-147.
- Zuzana Šramkováa., Edita Gregováb., Ernest Šturdíka (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*, Vol.2, No.1, 115-138.
- <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- <https://books.google.com.mx/books?id=F9FoNy06qvcC&pg=PA302&lpg=PA302&q=wheat+starch+gelatinization+temperature&source=bl&ots=WZAKu3Je8l&sig=iHDNHKbmo9ZI6pQ1ngPshB2RLxA&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjT3si667nSAhVP3GMKHRXRCLgQ6AEleDAN#v=onepage&q=wheat%20starch%20gelatinization%20temperature&f=false>
- <http://www.cie.co.at/>
- www.molinosvictoria.com
- <https://store.pantone.com/es/es/colorfinder/index/acfproduct/cid/3560/q/1235/>