
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Delta

**Estudio de la fermentación en panes funcionales,
reducidos en grasas, carbohidratos y sal.**

Tesista: Lic. Debora Conde Molina

Director: Lic. Valeria Arqueros

Director de estudio (UTN): Dra. Carla Quevedo

Tesis de posgrado para optar al título de
Master en Procesos Biotecnológicos

Abril 2014

*A Mauri y Luca, con todo
y mucho más*



Agradecimientos

A la Lic. Valeria Arqueros, por dirigir este trabajo. Además, porque en los 6 años de trabajo compartidos su acompañamiento ha hecho un importante aporte a mi formación profesional y personal.

A la Dra. Carla Quevedo, por su colaboración y seguimiento durante la cursada de la Maestría y en esta tesis. Además, por su tiempo dedicado a la corrección de este trabajo escrito.

A la Dra. Giuletti, por sus aportes en la corrección de este trabajo escrito.

A Granotec Argentina, por permitirme realizar esta Maestría y la presente tesis, promoviendo mi crecimiento profesional.

A la UTN FRD, por el nivel de los docentes que abarcaron la Maestría.

A mi familia, por su ayuda, comprensión y estímulo en todos los proyectos que he emprendido.

A todas aquellas personas que compartieron conmigo este trayecto de mi vida.

Índice

Resumen	1
Capítulo 1. <i>Introducción</i>	
1.1. Tendencias de alimentos saludables	4
1.2. Panificación	5
1.2.1. Historia de la panificación	6
1.2.2. Fermentación panaria	7
1.2.3. Producción y retención de gas	8
1.3. La sustitución de grasas aplicada a panificados	9
1.3.1. Sustitutos de naturaleza lipídica	10
1.3.2. Ingredientes basados en proteínas	11
1.3.3. Emuladores de materia grasa basados en hidratos de carbono y fibras	11
1.3.4. Emuladores de la materia grasa a base de estabilizantes y gomas	12
1.4. La sustitución de azúcares aplicada a panificados	12
1.4.1. Edulcorantes nutritivos	13
1.4.2. Edulcorantes no nutritivos	14
1.5. La sustitución de carbohidratos aplicada a panificados	15
1.5.1. Almidón resistente	17
1.6. La sustitución de sal aplicada a panificados	18
Capítulo 2. <i>Objetivos</i>	
2.1. Objetivo general	22
2.2. Objetivos específicos	22

Capítulo 3. *Materiales y métodos*

3.1. Caracterización de la harina para elaboración de pan lacteado	25
3.1.1. Humedad en harina	25
3.1.2. Cenizas en harina	25
3.1.3. Determinación de gluten	26
3.1.4. Falling Number	26
3.1.5. Alveograma	27
3.1.6. Mixolab	28
3.1.7. Reofermentograma	29
3.1.8. Almidón dañado	30
3.2. Evaluación de las masas: fermentación y reología	30
3.2.1. Reofermentograma	30
3.2.1.1. Principio de funcionamiento	30
3.2.1.2. Curva de desarrollo de la masa	31
3.2.1.3. Curva de desprendimiento gaseoso	32
3.2.2. Consistencia de masa en Mixolab	34
3.2.3. Determinación del comportamiento reológico en Mixolab	34
3.3. Panificación experimental	34
3.3.1. Ingredientes	35
3.3.2. Procedimiento	35
3.3. Evaluación del producto terminado	36
3.3.1. Peso y volumen específico	36
3.3.1. Características externas e internas	37
3.3.1. Textura	37
3.4. Análisis de los resultados	38

Capítulo 4. *Resultados y discusiones*

4.1. Caracterización de harina base para la elaboración de pan lacteado	40
--	----

4.2. La sustitución de grasa en pan lacteado	48
4.2.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de grasa en harina base	48
4.2.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de grasa en pan lacteado	51
4.2.3. Efecto del reemplazo de grasa en Mixolab	52
4.2.2. Evaluación del reemplazo de grasa en la panificación experimental	54
4.3. La sustitución de azúcar en pan lacteado	57
4.3.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de azúcar en harina base	57
4.3.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de azúcar en pan lacteado	60
4.3.3. Efecto del reemplazo de azúcar en Mixolab	62
4.3.2. Evaluación del reemplazo de azúcar en la panificación experimental	65
4.4. La sustitución de carbohidratos en pan lacteado	67
4.4.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de carbohidratos en harina base	67
4.4.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de carbohidratos en pan lacteado	69
4.4.3. Efecto del reemplazo de carbohidratos en Mixolab	70
4.4.2. Evaluación del reemplazo de carbohidratos en la panificación experimental	72
4.5. La sustitución de sal en pan lacteado	75
4.5.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de sal en harina base	75
4.5.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de sal en pan lacteado	77
4.5.3. Efecto del reemplazo de sal en Mixolab	79
4.5.2. Evaluación del reemplazo de sal en la panificación experimental	81

Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Conclusiones parciales 84

5.3. Conclusiones generales 86

Referencias 89

Resumen

Se estudió el proceso de fermentación del pan lacteado reducido en grasa, azúcar, carbohidratos o sal. Para ello se evaluaron sustitutos disponibles en el mercado, con el fin de estudiar los efectos producidos en los panes funcionales, contribuyendo en las campañas de estilos de vida saludables.

En principio, se caracterizaron harinas de trigo para la elaboración de pan lacteado de acuerdo a las especificaciones del proceso de panificación y del producto terminado. Estas harinas fueron las bases para estudiar los efectos de los distintos ingredientes y sus correspondientes sustitutos. En términos generales, las harinas presentaron cenizas inferiores a 0.650 %, gluten húmedo con un nivel de 28 %, W de 300 10⁻⁴ J, y P/L de 1.2.

Se evaluó la etapa fermentativa en el reofermentógrafo, se comparó el efecto de la adición grasa (3 % base harina) o el sustituto Toler Fat Less Saladas (0.6 % base harina, más 2.4 % de agua) sobre la harina y el pan lacteado. Globalmente no se vieron efectos significativos en esta etapa del proceso., solo se observó que ambos ingredientes mantuvieron la tolerancia a la fermentación.

Además, se realizó la panificación experimental de pan lacteado con el agregado de grasa o Toler Fat Less Saladas. En el producto terminado se observó el efecto más significativo, dando una estructura de la miga más pareja, con alveolos homogéneos. Asimismo, esto incidió directamente sobre la frescura del pan, principalmente en los primeros 5 días de vida útil dando en ambos casos menor firmeza que la referencia.

Para analizar el reemplazo de azúcar se empleó el producto Granofiber Sweet. Se ensayó la adición de azúcar o el sustituto en la harina y el pan lacteado, a iguales dosis de 7.5 %. En la fermentación se observó un aumento en el desarrollo de masa y en la cantidad de CO₂ producido por la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). En estos ensayos, no se observaron efectos inhibitorios sobre la levadura por presión osmótica, se mantuvo una fermentación sostenida y aumentó el coeficiente de retención de gases.

Asimismo, los efectos del azúcar y Granofiber Sweet se validaron en la panificación experimental, los cuales reflejaron un incremento del rendimiento del

producto final en comparación al blanco. Por otro lado, no se registraron aporte de frescura por parte de estos ingredientes, en los 15 días de vida útil.

La sustitución de harina se estudió con la incorporación de Granofiber Sym 200. Para ello se evaluaron masas en el reofermentógrafo, a partir de la harina y la fórmula de pan lacteado, con el reemplazo de harina de 3 y 6 %. En ellos se observó una disminución del desarrollo de masa con respecto a la harina base, con mayor incidencia cuando el reemplazo fue del 6 %. En cuanto a la producción de CO₂, la disminución fue más leve, para ambas sustituciones. No obstante, con el agregado del sustituto, se mantuvo el coeficiente de retención gaseosa.

Posteriormente se realizó la panificación experimental ensayando el uso de Granofiber Sym 200. Aquí se detectó menor volumen de las piezas cocidas, para 3 y 6 % de reemplazo de harina, aunque esta caída de volumen no fue tan grande como la registrada en el desarrollo de masa durante la fermentación.

Para evaluar la sustitución de sal en un panificado, se ensayó la capacidad fermentativa de la harina y la fórmula de pan lacteado, en comparación con el agregado de sal y del sustituto de sal, Granosalt CV Sustisal 100. Se observó que el efecto de presión osmótica sobre la levadura generada por la sal y el sustituto, provocó una reducción de producción de gas, mientras que en el desarrollo de masa el descenso no fue tan grande. No obstante, la tolerancia a la fermentación se mantuvo, y la retención gaseosa aumentó.

La validación en la panificación experimental, demostró que la sal y Granolife CV Sustisal 100 provocaron un volumen de pieza cocida menor al blanco. Sin embargo, no fue una baja de volumen significativamente tan grande como lo visto en el desarrollo de masa en el reofermentógrafo.

Capítulo 1:

Introducción

1.1. Tendencias de alimentos saludables

El alimento constituye una parte esencial de la vida diaria, pero no siempre se comprende el verdadero significado del mismo. Muchos creen que el alimento es todo lo que comemos, pero no siempre todo lo que comemos es alimento. Existen muchas definiciones de alimento. Por ejemplo, el Diccionario Médico Ilustrado Dorland se refiere a él como *“todo aquello que a partir de su introducción a través del tubo digestivo, sirve para nutrir o formar tejidos, o bien suministrar calor al cuerpo”*. El diccionario de Nutrición y Tecnología Alimentaria Bender se refiere a él como *“sustancias que entran al cuerpo por la boca y mantienen la vida y el crecimiento, suministrando energía formando y reparando los tejidos. Los componentes químicos de los alimentos que realizan estas funciones se denominan nutrientes y no podrá existir alimentos que no los contengan”*. En las definiciones clásicas, no se habla específicamente de la prevención de enfermedades ni del mejoramiento de procesos metabólicos del organismo. Por ello, es importante agregar un nuevo concepto, el de **“alimento funcional”**, dando una visión más completa y dentro de la definición clásica del alimento.

El concepto de alimento funcional cada vez está más difundido en la población. Se considera así a todo **alimento que contiene uno o más ingredientes que aportan algún beneficio comprobable para la salud** (Functional Food Science in Europe, 1998). Estos ingredientes pueden ser naturales (el tomate contiene licopeno, la zanahoria contiene carotenos, el pescado contiene omega-3) ó obtenidos a través de su procesamiento (leche rica con aporte extra de calcio, cereales ricos en ácido fólico). En los últimos años los alimentos funcionales han adquirido un lugar muy importante dentro de la demanda de los consumidores. El aumento del consumo está estimulado por campañas saludables. Dichas campañas surgen en el caso específico de panificados de un mayor conocimiento de los efectos adversos del consumo excesivo de grasas, azúcares y sal, y de la experiencia del incremento de enfermedades relacionadas a una ingesta excesiva de estos alimentos. En efecto, existe una mayor preocupación social por aspectos como la imagen y la salud.

Se calcula que en el mundo existen 300 millones de personas obesas, y más de 1.000 millones con problemas de sobrepeso. Además el sobrepeso infantil

afecta un 10% de la población mundial (OMS, 2010). Estos problemas son más frecuentes en los países occidentales del tercer mundo, donde la globalización ha modificado el rostro de la obesidad. El exceso de peso solía ser señal de riqueza, hoy ya es un indicador de pobreza.

La mayor disponibilidad de alimentos a muy bajos precios significa que las clases pobres o menos pudientes tienen acceso a alimentos más calóricos, y por ende más peligrosos para la salud, en tanto las clases medias y altas de la sociedad adoptan formas de vida más sanas, en donde el factor cultural y educativo les permite tener acceso a información calificada acerca de los peligros que conlleva una dieta muy rica en calorías.

Se considera que la obesidad es el sexto factor en importancia que contribuye a la mortalidad mundial, y está demostrado que el sobrepeso reduce la esperanza de vida, incrementa el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, hipertensión, y ciertos tipos de cáncer (Halam & James 2005; Moayyedi 2008). Aunque no es el único motivo, la causa principal de los problemas de sobrepeso es la ingesta excesiva de calorías, por lo que para reducir el sobrepeso puede lograrse con una dieta hipocalórica.

En base a toda esta información, es importante el desarrollo de productos saludables. Dado que el pan es un alimento de alto consumo en Argentina, la generación de panificados funcionales indicaría ser un paso muy importante para acompañar la planificación de políticas alimentarias de estilos de vida saludables. Por lo tanto, resulta interesante estudiar la reducción y/o sustitución de grasas, carbohidratos y sal en panificados, desde el punto de vista de la fermentación, para poder llevar esta información nivel industrial.

1.2. Panificación

Los cereales han sido compañeros del hombre a lo largo de toda su historia. Para su aprovechamiento y consumo, la humanidad ha desarrollado diversas técnicas, que han ido evolucionando conforme los cambios de modo de vida lo iban requiriendo. Es así que, descubrimientos casuales generaron cambios drásticos al abrirse nuevos usos potenciales, o al mejorar significativamente las características

de lo conocido. Uno de los descubrimientos fue la capacidad de una masa de harina de trigo para aumentar de volumen en un lugar cálido y húmedo; es decir, la fermentación panaria, lo cual está documentada desde tiempos bíblicos. Sin duda, de la adecuada fermentación panaria ella depende la fabricación de un buen pan (Bloksma 1990).

1.2.1. Historia de la panificación

La fermentación panaria surge en la época de los egipcios, basada en condiciones de humedad y temperatura favorables y un aire bien cargado de levaduras y bacterias, reforzando la propia flora de la harina. Esta era una práctica muy habitual. Se cree que accidentalmente olvidaron una masa hasta el día siguiente, y así vieron que el factor tiempo generaba el crecimiento de la masa. De esta manera, comenzó el consumo de panes de masa fermentada, más ligeros y aromáticos que los obtenidos hasta ese entonces.

Durante milenios los panaderos continuaron inoculando sus masas con una parte de masa fermentada. Y así ha llegado a nuestros tiempos. El enigma de la producción de pan recién comienza a desvelarse a mediados del siglo XIX, cuando Louis Pasteur demuestra que los agentes causales de leudado de las masas son las levaduras presentes en estas. La levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) comienza a utilizarse como iniciador de la fermentación. La irregularidad de los resultados obtenidos con esta levadura, cultivada y conservada bajo condiciones no controladas hace que surja en Austria la primera fábrica de levadura de panadería, utilizando granos de cereales como sustrato. Esta levadura cultivada bajo un proceso optimizado y controlado, ofrecía frente a la levadura de cerveza tradicional las siguientes ventajas: pureza, mayor poder de fermentación, calidad estandarizada, y ausencia de sabores extraños.

Tras la primera guerra mundial, se construyen muchas fábricas de levadura, estableciéndose los primeros procesos de fabricación en sistemas de cultivos alimentados empleando melazas de remolacha como principal fuente de nutrientes (Tannahill 1973). En nuestro país se emplea la melaza proveniente de la elaboración de azúcar y se usa para la fermentación.

Actualmente la producción de levaduras está optimizada, y gracias a la instrumentación del control y a la automatización de las operaciones, a los avances en la higiene y al aseguramiento de la calidad, la fiabilidad de los productos resulta ser muy alta.

1.2.2. Fermentación panaria

La levadura (*S. cerevisiae*) es un microorganismo que entra en la etapa de latencia después de su producción industrial. La misma es causada, ya sea por la desecación en el caso de la levadura seca, o por la baja temperatura de conservación en el caso de la levadura prensada. Cuando se agrega levadura a una masa, se crean las condiciones adecuadas para que salga del estado de latencia y se vuelva activa. Una vez que la masa de pan está formada, se debe dejar fermentar durante un tiempo suficientemente largo para permitir que la levadura se multiplique utilizando como fuente de carbono a los carbohidratos de la masa (Potus et al. 1994).

La levadura es un microorganismo versátil, puede fermentar tanto bajo condiciones aeróbicas como anaeróbicas (Brock 2003). En la fermentación de una masa, la levadura consume rápidamente el oxígeno generándose las condiciones anaeróbicas, y asimismo se produce poco crecimiento de la levadura. Los productos principales de la fermentación son: dióxido de carbono y etanol (**Fig. 1.1.**). Al producirse el dióxido de carbono en la fase acuosa, el pH desciende y la fase acuosa se satura de dióxido de carbono. Una vez saturada el agua, el dióxido de carbono en exceso entra en las burbujas de aire preexistentes, y aumenta la presión. Dada las propiedades viscoelásticas de la masa, la celda de gas se expande para equilibrar la presión (Hoseney, 1984); es así que el volumen total de la masa aumenta, generando el sistema de esponja.

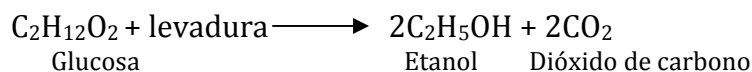


Fig.1.1.: Proceso de fermentación aeróbica de los hidratos de carbono por la levadura, hasta los productos finales: etanol y dióxido de carbono.

En la masa de pan, el CO₂ es retenido en dos fases: 1) en las celdas en forma de gas y 2) disuelto en la fase acuosa. La mayor parte del dióxido de carbono está presente como CO₂, y en menor proporción como CO₃H₂, CO₃-H o CO₃⁼.

La expansión de CO₂ en las celdas de gas y el CO₂ que surge de la fase acuosa, no son suficientes para justificar por completo el aumento de volumen de la masa en el horno. La vaporización del etanol, y hasta cierto punto, de agua, debida al calentamiento, contribuye a la expansión general de la masa.

En la masa de pan, la fase continua está constituida por un sistema proteico de gluten insoluble, aunque altamente hidratado, con almidón y burbujas de aire en forma de fases discontinuas. El desarrollo de una buena formulación de un panificado recae principalmente en la capacidad de retención de gas en la masa.

1.2.3. Producción y retención de gas

La levadura como cualquier organismo viviente requiere de ciertas condiciones para que su metabolismo funcione de manera óptima. Por lo tanto, para una adecuada fermentación se requiere de ciertos factores, como nivel de humedad adecuado, temperaturas moderadas, apropiado grado de acidez, fuente de carbohidratos fermentables y fuente de nitrógeno asimilable. Así como también ciertos minerales esenciales. El crecimiento propio de la levadura trae cambios en el medio durante la fermentación, tales como depleción de sustancias fermentables, acumulación de productos que aportarán al sabor (dióxido de carbono, alcoholes, ácidos y ésteres), disminución del pH, desarrollo de la red de gluten. etc. (Cauvain & Young 2007). Todos estos efectos pueden ir variando en las diferentes formulaciones.

Es así que el gas producido durante un proceso de panificación depende principalmente del tiempo de fermentación, características y cantidad de la levadura. La cantidad de gas retenido depende principalmente de las condiciones del proceso y de los ingredientes (He & Hosene 1992, Hayman *et al.* 1998). Sin embargo existen otros factores que pueden afectar la interacción entre la producción y la retención de gas:

- *Alta temperatura de fermentación* incrementa la producción de gas y disminuye la retención del mismo. A bajas temperaturas se generan masas

más duras, dando un desarrollo más lento, mientras que altas temperaturas generan masas débiles que crecen rápidamente.

- *Alta absorción de agua*, cuando el agua es mayor a la absorción necesaria para el desarrollo de la masa, incrementa la producción de gas y disminuye la retención; diluir los sólidos disueltos permite que la levadura esté más activa, así mismo diluye el gluten reduciendo la extensibilidad del gluten.
- *Azúcar*, incrementa la producción de gas cuando la concentración de azúcar es alrededor de 5%, y disminuye a mayores niveles de azúcar debido a la presión osmótica.
- *Sal (NaCl)*, disminuye la producción de gas porque aumenta la presión osmótica.
- *Propionato de calcio*, disminuye la producción de gas, especialmente por la acidificación de la masa.
- *Proteína de la harina y gluten agregado*, generan la óptima retención de gas cuando la estructura de gluten es lo suficiente fuerte para mantener las burbujas de gas, pero lo suficiente extensible para expandirse sin colapsar.
- *Oxidantes* (ácido ascórbico, azodicarbinamida): aportan un óptimo nivel para la retención de gas y la tolerancia a la fermentación.
- *Contenido de fibra* o contenido de harina integral reducen la retención de gas y la tolerancia, debido a que la fibra interfiere en la estructura de gluten.

Para elaborar un pan funcional se propone sustituir grasas, azúcares, carbohidratos y/ sal. A continuación se describen los sustitutos empleados generalmente a nivel industrial, los cuales se encuentran disponibles en el mercado.

1.3. La sustitución de grasas aplicada a panificados

El principal problema del consumo excesivo de grasas es el incremento de las calorías en la ingesta, lo que puede conducir a la obesidad (Bray et. Al, 2004). Una elevada ingesta de grasas también puede provocar un aumento del nivel de

colesterol en sangre, primer factor del riesgo en las enfermedades cardiovasculares (Field *et al.* 2001). En base a estas referencias, y a que las grasas son el constituyente de mayor aporte calórico en un alimento (grasas: 9 kcal/g; hidratos de carbono: 4 kcal/g; proteínas: 4 kcal/g), resulta primordial lograr la reducción de las mismas.

Cuando se intenta sustituir un ingrediente en una formulación, se debe tener en cuenta la función que cumple dicho ingrediente en el proceso de elaboración y en las características finales del producto. En base a esto, se debe considerar las posibles modificaciones, tanto en el proceso productivo como la formulación, para obtener un producto lo más similar posible al original.

Algunos panes se formulan con baja cantidad de grasa (1-6%) con el fin de obtener masas mejor terminadas, con mejor tolerancia a la fermentación y con mayor aumento de volumen en el horneado. Los productos finales presentan mayor volumen, migas suaves y con alveolado uniforme, y mayor vida útil.

Existen otros productos panificados con alto contenido de grasa (20-100% base harina), donde el efecto de la grasa se centra en una textura mucho más blanda, alveolado más fino y homogéneo, y mayor vida útil. También modifica la masticabilidad de los productos y facilita el corte de las piezas (Cauvain & Young 2007).

Dado la funcionalidad de las grasas en los panificados, para lograr disminuir su contenido, pueden reemplazarse con sustitutos que cubran su funcionalidad.

Los sustitutos de grasas pueden clasificarse en: a) sustitutos de naturaleza lipídica, b) emuladores basados en proteínas c) emuladores basados en hidratos de carbono, fibras, espesantes y gomas (Roller & Jones 1996).

1.3.1. Sustitutos de naturaleza lipídica

Los sustitutos de naturaleza lipídica pueden tener diversa estructura molecular, destacando los triacilglicéridos sintéticos y componentes grasos acalóricos (azúcares y polialcoholes esterificados con ácidos grasos) (Akoh 1995). Los primeros presentan moléculas compuestas por ácidos grasos de difícil absorción o menor valor calórico (aportan sólo 5 kcal/g). Los componentes grasos acalóricos no son digestibles, con lo que no aportan calorías, como es el caso del

poliéster de sacarosa (Olestra) (FDA 1996). Estos productos son estables a las temperaturas de cocinado, y soportan la fritura sin cambios importantes. En teoría, pueden reemplazar a la grasa en cualquier producto y tipo de formulación.

1.3.2. Ingredientes basados en proteínas

Para la sustitución de la materia grasa los ingredientes basados en proteínas, tienen buenas propiedades ligantes, aunque soportan mal los procesos de calentamiento. Se han utilizado proteínas microparticuladas de origen lácteo, proteínas de soja por sus propiedades emulsionantes y gelificantes, gelatina, etc. (Roller & Jones 1996). Las proteínas, al tener un valor energético inferior al de las grasas, actúan disminuyendo la densidad energética en tanto que reemplazan parte de las grasas convencionales del producto original.

1.3.3. Emuladores de materia grasa basados en hidratos de carbono y fibras

Los emuladores de materia grasa basados en hidratos de carbono y fibras, suelen tener la propiedad de captar agua y formar geles, además de poseer un gran poder ligante y espesante, lo que confiere al producto una textura y sensación en la boca similar a la que proporciona la grasa (Giese 1996). La mayoría de ellos no pueden ser utilizados en productos que posteriormente deben freírse, aunque pueden actuar formando una capa protectora para evitar la absorción de grasa durante el cocinado. Estos emuladores de grasas, actúan diluyendo el poder energético de las grasas al sustituirlas por agua, fibras u otros componentes menos energéticos. Dentro de este grupo se han utilizado almidones modificados, maltodextrinas, hidrolizados de arroz, celulosa microcristalina, hidroximetilcelulosa, inulina y fibra dietética de distintos orígenes. Desde el punto de vista energético, estos sustitutos aportan entre 1 y 4 kcal/g. Quizás la más utilizada es la celulosa microcristalina, que es una sustancia GRAS y tiene la capacidad de formar coloides con características reológicas similares a las de la grasa (Cho *et al.* 2005).

1.3.4. Emuladores de la materia grasa a base de estabilizantes y gomas

Constituyen el grupo más numeroso, con una gran variedad de ingredientes: gomas (xantaca, guar, arábica, garrofín), carrageninas, alginatos, pectinas, etc. Son agentes capaces de proporcionar viscosidad al producto, imitando algunas de las propiedades relacionadas a la textura aportada por las grasas (Roller & Jones 1996). La mayoría están autorizados como aditivos en muchos alimentos, lo que facilita enormemente su utilización en diversas combinaciones.

Existen, también, sustitutos de las grasas que son mezcla de varios productos (Lucca & Tepper 1994). La idea de sustituir las grasas de los alimentos por ingredientes de bajo poder energético viene suscitando un gran interés científico, industrial y por parte de los consumidores que se ven influenciados por los medios de comunicación. Como ventajas más evidentes de estos sustitutos de las grasas tenemos: reducir la ingesta de grasa, reducir la ingesta y la absorción de colesterol y disminuir la ingesta energética.

1.4. La sustitución de azúcar aplicada a panificados

La ingesta de azúcares simples causa un rápido incremento de glucosa en sangre, lo cual incrementa la secreción de insulina y estimula la producción de triglicéridos. Esto provoca una sensación de saciedad momentánea y placentera, pero poco duradera, ya que el nivel de glucosa en sangre disminuye rápidamente y vuelve a aparecer la sensación de hambre. Por el contrario, la ingesta de azúcares complejos, de lenta asimilación, provoca un menor incremento de la glucosa en sangre, de la secreción de insulina y de la formación de triglicéridos, los niveles de glucosa en sangre se mantienen durante períodos más prolongados y la sensación de hambre aparece más lentamente. El mercado más importante para los productos sin azúcar lo constituyen los enfermos diabéticos. Éstos son incapaces de generar la insulina necesaria para procesar la glucosa en sangre, o la insulina que generan no es capaz de realizar esta función correctamente, de manera que suelen presentar problemas asociados a un alto nivel de glucosa en sangre, que en los casos más graves puede desembocar a la muerte del paciente. Aunque estos

enfermos suelen estar educados desde niños para reducir los productos dulces en su dieta, la posibilidad de obtener productos sin azúcares iguales a los convencionales puede mejorar su calidad de vida, especialmente en aspectos sociales, como la convivencia en grupos. En el caso en que la enfermedad aparezca en la edad adulta, resulta más difícil cambiar los hábitos alimenticios y la oferta de productos sin azúcar puede facilitar este cambio (Mazza 2000).

En algunos productos alimenticios el azúcar tiene sólo la función edulcorante, pero en los productos horneados su función es mucho más compleja. En general, la presencia de azúcar afecta al color y al aroma de las piezas, debido a su participación en las reacciones de Maillard (entre azúcares y aminoácidos). Otra función importante del azúcar consiste en retrasar la gelatinización del almidón, y por lo tanto permite una mayor expansión en el horneado. A su vez la presencia de azúcares reduce la actividad del agua y en consecuencia el desarrollo de microorganismos, y así prologa la vida útil de los productos (Alexander 1998; Sluimer 2005).

1.4.1. Edulcorantes nutritivos

Para lograr la disminución y/o reemplazo de azúcar (sacarosa), pueden usarse edulcorantes nutritivos. Estos compuestos proveen a la dieta 4 kcal/g, de manera similar a los carbohidratos o las proteínas; sin embargo su poder endulzante es mayor al de azúcar (**Tabla 1.1.**), a tal efecto que estos edulcorantes se usan en menor proporción en relación al azúcar, resultando en menor aporte calórico.

Los edulcorantes nutritivos comprenden: los azúcares refinados, el jarabe de maíz de alta fructosa, la fructosa cristalina, la glucosa, la dextrosa, los edulcorantes provenientes del maíz, la miel, la lactosa, la maltosa, varios jarabes, los azúcares invertidos o el jugo concentrado de frutas; y los polioles de baja energía o alcoholes del azúcar: sorbitol, manitol, xilitol, isomaltosa y los hidrolizados de almidón hidrogenados.

Debido a la función compleja que cumple el azúcar en los productos horneados, debe ser sustituido por un agente de carga, como la oligofructosa y la polidextrosa, en combinación con algún edulcorante intensivo para corregir el

sabor final de los productos obtenidos (Olinge & Velasco 1996). La oligofructosa y la polidextrosa son oligosacáridos de bajo aporte calórico, y funcionan como fibras solubles con beneficios nutricionales, con buena tolerancia para los diabéticos. Sustituyen muy bien la sacarosa en cuanto al aporte a la textura del producto final, sin embargo su poder edulcorante es bastante reducido (Hicsasmaz et al. 2003). Para compensar la pérdida de sabor dulce en los productos sin azúcar elaborados con oligosacáridos, suele recurrirse la adición de edulcorantes intensivo.

Los polioles (alcoholes de azúcares) también pueden ser categorizados como sustitutos del azúcar porque pueden reemplazar a los edulcorantes de azúcar, usualmente en una relación uno a uno: ofrecen menos energía y potenciales beneficios de salud (reducida respuesta glicémica y menor riesgo de caries dentales). Los polioles sorbitol, manitol y xilitol se los encuentra en las frutas. Comercialmente, estos edulcorantes son sintetizados y no se los extrae de fuentes naturales. Todos los polioles son absorbidos lenta e incompletamente en el intestino mediante difusión pasiva. No obstante, una carga excesiva (más de 50 g de sorbitol o 20 g de manitol al día) puede causar diarrea. Si los polioles fueran absorbidos en forma completa el metabolismo directo podría proveer las usuales 4 kcal/g. Pero la absorción incompleta causa el metabolismo indirecto de los polioles por medio de la degradación fermentativa producida por la flora intestinal. La energía proveniente del metabolismo indirecto es menor que la de la vía directa, por lo que los polioles son denominados edulcorantes de baja o reducida capacidad energética (2,4 kcal/g) (Livesey 2003). En virtud de la absorción incompleta, los polioles producen una baja respuesta glicémica. Sin embargo, en las reacciones de Maillard y caramelización de los productos horneados, los polioles pueden generar un color más claro en el producto final, en relación al azúcar.

1.4.2. Edulcorantes no nutritivos

Los edulcorantes de alta intensidad pueden ofrecer a los consumidores una manera de disfrutar el sabor de la dulzura con poca o ninguna ingesta de energía o respuesta glicémica (**Tabla 1.1.**). Los edulcorantes no nutritivos pueden contribuir al control del peso o de la glucosa en sangre y a la prevención de las caries dentales. La industria de la alimentación valora estos edulcorantes por muchos

atributos; entre ellos cualidades sensoriales: sabor dulce puro, ausencia de sabor amargo o de olor, seguridad, compatibilidad con otros ingredientes alimentarios y estabilidad en diferentes entornos alimentarios. La tendencia en la industria alimenticia es combinar los edulcorantes de alta intensidad. Las combinaciones pueden causar sinergia (la combinación es más dulce que los componentes individuales) lo que puede reducir la cantidad de edulcorante necesario y puede mejorar el sabor dulce general. Entre ellos se encuentran: sucralosa, sacarina, acesulfame-K, aspartato, ciclamato, sucralosa u otros (Attia *et al.* 1993, Lin & Lee 2005), e incluso steviósida, que un edulcorante natural obtenido a partir de las hojas de la planta de Stevia Rebaudiana, la cual ha adquirido gran interés por los consumidores debido su origen natural.

	Origen	Kcal/g	Poder endulzante
Edulcorante nutritivo			
Sacarosa (azúcar)	Natural	4	1
Fructosa	Natural	4	1.8
Oligofructosa	Natural	1.5	0.3
Polidextrosa	Sintético	0	0*
Polioles	Sintético	2.4	0.9
Edulcorante no nutritivo			
Sucralosa	Sintético	0	600
Sacarina	Sintético	0	500
Acesulfame K	Sintético	4**	200
Aspartamo	Sintético	0	200
Steviosida	Natural	0	150
Ciclamato	Sintético	0	50

Tabla 1.1. Edulcorantes nutritivos y no nutritivos, según sus orígenes de obtención, las Kcal/g que aportan a la dieta y el poder endulzante con respecto al azúcar. * La polidextrosa no aporta poder endulzante, pero funciona como agente de carga en relación al azúcar. ** Acesulfame K se considera no nutritivo ya que se consume en dosis tan bajas que no aporta energía.

1.5. La sustitución de carbohidratos aplicada a panificados

Si bien los azúcares son carbohidratos, también dentro de la formulación de panificados se encuentran carbohidratos que no aportan sabor dulce, tal como es el almidón. La harina de trigo contiene alrededor de un 70% de almidón, y el

aporte calórico del mismo es de 3,5 Kcal/g. El hecho de sustituir la harina de trigo por fuentes acalóricas, contribuye a la generación de productos para la gama de dietas hipocalóricas.

Para entender el significado nutricional y fisiológico de los carbohidratos, es esencial reconocer las diferencias entre los distintos grupos de carbohidratos, en relación a su estructura y funcionalidad.

Los alimentos funcionales con alto contenido en fibra alimentaria son estudiados en relación a su efecto sobre la reducción de los niveles de colesterol y de respuesta glicémica, al aumento de la velocidad del tránsito intestinal, a la excreción de sustancias tóxicas, al aumento de la secreción de ácidos biliares, al alivio de la constipación, y a la mejora de la microflora intestinal y la reducción de incidencia de cáncer de colon (Sgarbieri & Pacheco 1999). En el año 2003 especialistas de la Organización Mundial de la Salud y de la Organización de Alimentos y Agricultura afirmaron que la dieta rica en polisacáridos no almidonosos, como la fibra alimentaria, promueve la pérdida de peso. Entre azúcares, almidón y fibra alimentaria existe la diferencia dietaria de aporte calórico, siendo en valor energético de azúcares y almidones de 4 Kcal/g, en tanto que la fibra alimentaria es mucho menor, 0,2 Kcal/g.

Según la American Association of Cereal Chemists (AACC 2001), *“fibra alimentaria es la parte comestible de plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino humano con completa o parcial fermentación en el intestino grueso. La fibra alimentaria incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias de plantas asociadas. La fibra alimentaria promueve efectos fisiológicos benéficos incluyendo laxación y/o atenuación de los niveles de colesterol en sangre y/o atenuación en los niveles de glucosa en sangre”*. En base a esta definición los componentes de la fibra alimentaria se pueden clasificar como se muestra en la **tabla 1.2**.

La fibra alimentaria cuando se digiere, pasa por el intestino delgado y en el intestino grueso se somete a la fermentación por la microflora existente. Como resultado de este proceso, la fibra alimentaria puede contribuir con algún aporte calórico, pero la cantidad de energía consumida en este proceso no se conoce bien y puede variar de acuerdo a las bacterias existentes en el colon, las diferencias de

metabolismo individual y otros factores. La FDA (Food and Drug Administration) recomienda una ingesta diaria de 25 a 35 g de fibra alimentaria.

Componentes	Tipo	Sub-tipo	
Polisacáridos no-almidonosos y oligosacáridos resistentes	Celulosa	-	
	Hemicelulosa	Arabinoxilanos	Arabinoglactanos
		Polifruktosas	Inulina Oligofruktanos
	Galacto-oligosacáridos	-	
	Gomas	-	
	Mucílagos	-	
	Pectinas	-	
Carbohidratos análogos	Dextrinas no digeribles	Maltodextrinas resistentes (de maíz y otras fuentes)	
		Dextrinas resistentes de batata	
		Polidextrosa	
		Metil celulosa	
	Componentes de carbohidratos sintéticos	Hidroxipropilcelulosa	
	Almidones no digeribles (resistentes)	-	
Lignina	-	-	
Sustancias asociadas a polisacáridos complejos no almidonosos y lignina en plantas	Ceras	-	
	Fitato	-	
	Cutina	-	
	Saponinas	-	
	Suberinas	-	
	Taninos	-	

Tabla 1.2. Componentes de la fibra alimentaria según la clasificación de AACC 2001.

En panificados, al realizar la sustitución de una fracción de harina de trigo por fibra alimentaria, puede usarse la alegación “fuente de fibras” cuando el contenido es superior a 3 g por 100 g de alimento, y la de “alto contenido de fibra” cuando la cantidad es superior a 6 g por 100 g. Tecnológicamente, la sustitución de harina de trigo por fibra alimentaria puede afectar la calidad del pan, a través de interferencias en la interacción de las proteínas formadoras de la red de gluten.

1.5.1. Almidón resistente

Dentro de las fibras, los carbohidratos que tienen mayor interés son los oligosacáridos y los almidones resistentes, ya que ambos son considerados como

material alimentario con un amplio espectro de efectos fisiológicos, inclusive actuando como prebióticos (McCleary y Brown 2004).

Se define como almidón resistente a la suma del almidón y sus productos de degradación que no son absorbidos en el intestino delgado de individuos saludables (Asp 1992). El almidón resistente puede contribuir de modo significativo a mejorar el perfil nutricional de los alimentos en dietas de baja ingesta de carbohidratos, tanto en alimentos comunes como en especiales.

Los almidones resistentes han sido aplicados en una amplia variedad de productos, tales como panes, pastas, galletas, cereales para desayuno, bebidas y yogurt, entre otros. En el pan blanco, por ejemplo, se obtiene una significativa reducción en la respuesta glicémica, si se sustituye una cantidad superior al 20% de harina por almidón resistente; generando una respuesta glicémica de 53 %, en comparación con la respuesta de referencia 100 (Brown et al. 1995).

1.6. La sustitución de sal aplicada a panificados

La sal (cloruro de sodio), un compuesto químico que contiene aproximadamente un 50 % de sodio. Según la OMS y la FAO, se recomienda consumir 5 g de cloruro de sodio (o 2 g de sodio) por día. Existen datos que prueban la relación entre el consumo de sal y las enfermedades crónicas (OMS 2006, Paris). La ingesta de sodio, procedente de todas sus fuentes influye en los niveles de presión arterial de toda la población. El exceso de sodio en el organismo provoca retención de líquidos y agrega una carga extra al corazón y a los vasos sanguíneos.

La reducción de 1 g de sal en la dieta, trae un 4 % de reducción en mortalidad cardiovascular. Por lo tanto, es muy importante que se controle la ingesta de sal para reducir el riesgo de padecer cardiopatías coronarias y accidentes cerebrovasculares. Muchos de los casos de hipertensión se deben factores ambientales: el estilo de vida y el consumo de sal (Innova Database).

Se ha demostrado que las intervenciones para reducir el consumo de sal son sumamente rentables, de ahí la urgencia para aplicar estrategias, políticas y programas que afronten la cuestión de la reducción del consumo de sal. Para llevar

a cabo la reducción de sal deberían considerarse ciertos temas relacionados con el consumidor, tales como la reeducación sensorial, desacostumbrar el paladar al sabor salado excesivo y volver a sentir los sabores originales de los alimentos; ya que el exceso de sal en las comidas produce acostumbamiento. Asimismo, modificar conductas en el hábito doméstico, modalidad de compras y preparación de comidas.

En la Argentina la hipertensión explica el 12 % de las muertes, con una población de entre un 20 - 30 % de personas hipertensas. El 50 % del sodio ingerido en Argentina proviene de alimentos procesados. Se consume diariamente entre 8 y 15 g de sal por persona por día, lo cual excede los requerimientos diarios de sodio, pues la dieta de un adulto no debería aportar más de 5 g de sal por día.

En 2008 el Ministerio de Salud de la Nación creó el Plan Nacional Argentina Saludable, de manera de impulsar las iniciativas que contribuyan a lograr un cambio social en la promoción de una alimentación saludable. Por otro lado, el Código Alimentario Argentino reglamenta que un alimento "reducido en sodio" (en valor relativo) contiene como mínimo un 25% menos de sodio que el producto tradicional.

El pan es el producto que más contribuye a la ingesta de cloruro de sodio en la población adulta. Para elaborar 1 Kg de pan se requieren 800 g de harina y se adiciona un 2 % de sal (base harina); por ello 1 Kg de pan contiene 16 g de sal. El consumo de pan en Argentina es de aproximadamente 90 Kg/Hab/ año, lo que equivale a 250 g de pan por día; esto indica que el pan estaría aportando 4 g de sal por día, aproximadamente un 40 % del total de sal ingerida. Estas cifras demuestran claramente la importancia de disminuir el contenido de sal en panificados.

Sin embargo, la sustitución de sal no es un tarea fácil de realizar en el pan. Ya que la sal presenta tres funciones principales en la masa: realzar el sabor del pan; inhibir la actividad de la levadura, reduciendo la producción de gas e inhibiendo también la actividad de microorganismos (control de microflora de la masa); refuerza el gluten de la masa, debido al efecto inhibitorio sobre las enzimas proteolíticas y la acción reforzadora de la sal sobre las proteínas de la harina (Mazza 2000).

En muchos casos, el sabor es una de las barreras más importantes asociadas a la sustitución. La sustitución parcial puede lograrse con combinaciones de: sales como KCl, MgCl₂; aminoácidos como la lisina y otros; y resaltadores de sabor como glutamato monosódico, nucleótidos, extracto de levaduras, etc.

Los resaltadores del sabor se definen como *“sustancias que a las concentraciones que se utilizan normalmente en los alimentos, no aportan un sabor propio, sino que intensifican o resaltan el sabor de los otros componentes presentes”*. Los resaltadores del sabor más usados son: el glutamato monosódico (GMS) y los 5'-ribonucleótidos, como son la inosina 5'-monofosfato (IMF) y la guanosina 5'-monofosfato (GMF) o sus sales (Fuke & Konosu 1991); dichos ribonucleótidos se encuentran naturalmente en muchos alimentos. El GMF y el IMF tienen la habilidad de incrementar la afinidad del sitio receptor del GMS, y se produce un efecto sinérgico que permite utilizar menor cantidad de ellos para obtener el mismo efecto potenciador del sabor. Además, se ha observado que la presencia de 1,2% de cloruro de sodio en combinaciones de GMS-GMF (1:1) acentúan el efecto sinérgico (Delay *et al.* 2000). Estudios con paneles sensoriales indican que el óptimo efecto potenciador del sabor se logra usando GMS en concentraciones que van entre 0,2-0,8% (p/p), pero cuando se usan mezclas de GMF-IMF solo se requiere entre 0,02-0,04% (p/p) de GMS para obtener el mismo efecto. Se debe considerar que siempre esa cantidad va a ser dependiente del tipo de alimento, el resaltador elegido para el propósito y la aplicación.

La exitosa reducción del cloruro de sodio en alimentos es un proceso largo que depende de resolver aspectos tecnológicos en cada una de las industrias de alimentos, despertar la conciencia saludable de los consumidores, y una complementación adecuada de la industria de alimentos con los programas de gobierno. Lograr la reducción de sal, traerá como beneficio vivir más años y tener una mejor calidad de vida, y contribuir a bajar los costos que genera la atención de salud de la población.

Capítulo 2:

Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo general del siguiente trabajo es el estudio de sustitutos disponibles en el mercado, diseñados para el reemplazo de grasa, azúcar, harina o sal; focalizando el estudio principalmente en la etapa de fermentación del proceso, y validando los resultados mediante la panificación experimental de pan lacteado.

Dado que en Argentina, el pan lacteado es el panificado de mayor producción a nivel industrial, se pretende aportar conocimientos sobre los efectos que ocurren en los panes funcionales, con el fin de contribuir indirectamente en las campañas de estilos de vida saludables.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterización de harinas bases para la elaboración de pan tipo lacteado, las cuales, posteriormente, serán empleadas para evaluar la influencia de distintos ingredientes presentes en la formulación y sus correspondientes sustitutos
- ✓ Estudiar la capacidad fermentativa de la harina o el pan lacteado frente a la adición de grasa o el sustituto Toler Fat Less Saladas, y validar sus efectos mediante la panificación experimental.
- ✓ Estudiar la capacidad fermentativa de la harina o el pan lacteado frente a la adición de azúcar o el sustituto Granofiber Sweet, y validar sus efectos mediante la panificación experimental.
- ✓ Estudiar la capacidad fermentativa de la harina o el pan lacteado frente a la sustitución de harina por el sustituto Granofiber Sym 200, y validar su efecto mediante la panificación experimental.

- ✓ Estudiar la capacidad fermentativa de la harina o el pan lacteado frente a la adición de sal o el sustituto Granosalt CV Sustisal 100, y validar sus efectos mediante la panificación experimental.

Capítulo 3:

Materiales y métodos

3.1. Caracterización de la harina para elaboración de pan lacteado

Inicialmente se caracterizaron las harinas bases que se emplearon en todos los ensayos.

3.1.1. Humedad en harina

Se pesaron dos cápsulas de aluminio (50 mm de diámetro x 25 mm de altura) y se registró el peso de cada cápsula (P1). A continuación se pesaron 5 g +/- 0.0010 g de harina (P). Las cápsulas se colocaron destapadas en una estufa de aire forzado (Dalvo) a 130 °C +/- 3 °C durante 60 min. Luego, se dejaron enfriar en un desecador. Finalmente se pesaron y se registró el peso (P3).

Cálculo:

$$\text{Humedad (g / 100 g)} = \frac{P - (P3 - P2)}{P} \times 100$$

La determinación se hizo por duplicado. La diferencia entre ambos valores fue inferior a 1% del promedio (NORMA IRAM 15850, Versión 2001)

3.1.2. Cenizas en harina

En cápsulas de porcelanas (40 mm de diámetro x 45 mm de altura) se colocaron 5,0 g +/- 0.0010 g de harina (P). El peso de la cápsula vacía se registró como P1. Las cápsulas con la muestra se colocaron en una mufla (Dalvo) a 900°C +/- 20°C hasta peso constante, aproximadamente 3 h.

Posteriormente se dejaron enfriar en el desecador. Se pesaron las cápsulas y se registró el peso (P3).

El contenido de cenizas se calculó en base a la humedad de la harina (H):

$$\text{Cenizas (g/100g muestra seca)} = \frac{P3 - P1}{P} \times \frac{100}{(100 - H)} \times 100$$

La determinación se hizo por duplicado. La diferencia entre ambos valores fue inferior al 2% (NORMA IRAM 15851, Versión 2001).

3.1.3. Determinación de Gluten

El gluten es una sustancia gomosa de color blanco amarillento que se obtiene lavando la masa mediante una corriente de agua para eliminar el almidón y las proteínas solubles (albúmina y globulinas), quedando las proteínas insolubles (gliadinas y gluteninas) que constituyen el gluten húmedo y seco.

Para la determinación del gluten húmedo, seco e index se utilizó el equipo Glutomatic Perten 2200 (NORMA IRAM 15864 Versión 2002). Se colocaron 10 gramos de harina en los vasos del equipo (tamiz, malla y vaso de plástico). Luego se agregó 4,9 ml de agua destilada. La temperatura del agua de lavado estuvo entre 22 y 24°C. Se amasó y se lavó la muestra durante 8 min. El gluten obtenido se centrifugó (Centrifugue 2015 Gluten Index), luego se registró el peso total como gluten húmedo, y el pasante por los cassettes como gluten Index. El total se secó en el Glutork 2020. El parámetro de Gluten Index es un indicador de las características del gluten.

Los cálculos se expresaron en Base 13,5%, considerando la humedad de la muestra:

$$\text{Gluten Húmedo (\%)} (\text{Base } 13,5 \%) = \frac{\text{gluten total (g)}}{10 \text{ (g)}} \times 100 \times \frac{86.5}{(100-H)}$$

$$\text{Gluten Seco (\%)} (\text{Base } 13,5\%) = \frac{\text{gluten seco (g)}}{10 \text{ (g)}} \times 100 \times \frac{86.5}{(100-H)}$$

$$\text{Gluten Index (\%)} = \frac{(\text{gluten total (g)} - \text{gluten que pasó por cassettes (g)})}{\text{Gluten total (g)}} \times 100$$

3.1.4. Falling Number

La determinación de la actividad de la alfa amilasa (número de caída) se midió con el equipo Falling Number 1500 (Perten). El peso de la muestra a ensayar se definió en base a la humedad de la harina y según la **Tabla 3.1**. (Norma IRAM 15862/ ICC 107/1/ AACC 56-81B, Versión 2003/1995/1999).

La muestra se diluyó con 25 mL de agua destilada en un tubo viscosimétrico, con agitación de 30 segundos. El tubo se colocó con un émbolo agitador dentro del baño a 100 °C. La medición se realizó automáticamente y se expresó en segundos (s).

%	.0	.2	.4	.6	.8	
8	6,54	6,56	6,57	6,59	6,60	
9	6,62	6,63	6,64	6,66	6,67	G
10	6,69	6,70	6,72	6,73	6,75	R
11	6,76	6,78	6,80	6,81	6,83	A
12	6,84	6,86	6,87	6,89	6,90	M
13	6,92	6,94	6,95	6,97	6,98	O
14	7,00	7,02	7,03	7,04	7,07	S
15	7,08	7,10	7,12	7,13	7,15	
16	7,17	7,18	7,20	7,22	7,24	
17	7,25	7,27	7,29	7,31	7,32	

Tabla 3.1. Cantidad de harina a pesar (g) según la humedad de la harina, teniendo en cuenta un decimal del % de humedad.

3.1.5. Alveograma

Mediante el equipo Alveógrafo Chopin, fue posible medir y registrar la fuerza requerida para inflar y reventar una burbuja de masa, bajo las condiciones estipuladas en el procedimiento (NORMA IRAM 15857 / ISO 5530 / ICC 121 / AACC 54-30^a).

Se amasó 250 g de harina con solución salina 2,5 % (ajustada a 55 % de hidratación en función de la humedad de la harina), durante 8 min a 24 °C. Luego, se extrajeron 5 pastones, los cuales se laminaron 12 veces y se dejaron reposar en la cámara de descanso del Alveógrafo, a 25 ° C, hasta cumplidos los 28 min de iniciado el ensayo.

Cumplido el tiempo del ensayo, se insufló cada pastón sobre la platina del Alveógrafo. Las curvas graficadas en el AlveoLink se obtuvieron por quintuplicado, y del promedio de las mismas se determinaron los parámetros del alveograma (Fig. 3.1).

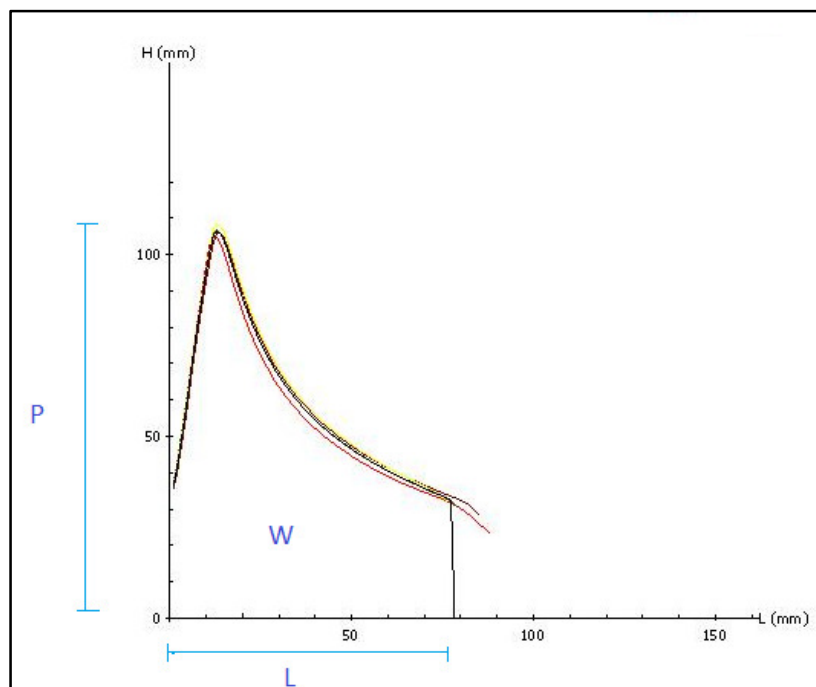


Fig. 3.1. Curva alveográfica, principales parámetros: P, tenacidad y capacidad de absorción de agua de la masa; L, extensibilidad de la masa; P/L, equilibrio entre tenacidad y extensibilidad; W, fuerza de la masa

3.1.6. Mixolab

Las harinas también se caracterizaron en el equipo Mixolab (Chopin, 2012). Este equipo permite medir en tiempo real la consistencia de la masa (expresada en Nm), en función de la fuerza que ejerce la misma sobre dos brazos amasadores. Los ensayos se realizaron mediante el protocolo Granotec 1 (**Fig. 3.2**), incorporando 50 g de mezcla dentro de la amasadora y se agregando la cantidad de agua necesaria para tener una consistencia de masa en 1,1 Nm (± 0.05), a hidratación adaptada (75 g de masa). Los parámetros de velocidad de amasado, temperatura y tiempo fueron los establecidos en el protocolo correspondiente (**Tabla 3.2.**).

Los resultados obtenidos a partir de la curva (C1, C2, C3, C4, C5) aportan información del potencial de absorción de agua, de la estabilidad de la proteína frente a la fuerza mecánica (etapa 1), la fuerza del gluten (etapa 2), la gelatinización del almidón (etapa 3), la actividad amilásica (etapa 4) y la retrogradación del almidón (etapa 5) respectivamente (**Fig. 3.2**).

<i>Etapas</i>	<i>Valores</i>
Velocidad de amasado	80 rpm
Temperatura del agua	30 °C
Temperatura de la 1º etapa	30 °C
Duración de la 1º etapa	22 min
Gradiente de calentamiento	4 °C / min
Temperatura de la 2º etapa	90 °C
Duración de la 2º etapa	7 min
Gradiente de enfriamiento	4 °C / min
Temperatura de la 3º etapa	50 °C
Duración de la 3º etapa	5 min
Tiempo total del análisis	59 min

Tabla 3.2. Parámetros del protocolo Granotec 1 (Mixolab).

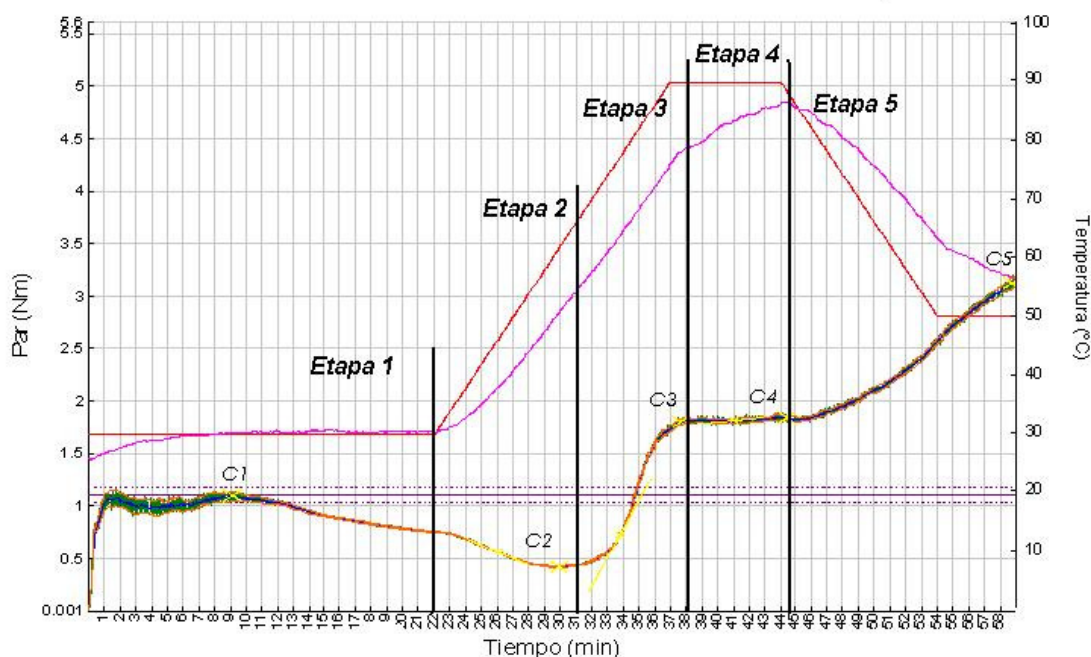


Fig 3.2. Curva del Mixolab, etapas del ensayo y parámetros C1, C2, C3, C4 Y C5. Temperatura teórica (rojo) y temperatura de la masa (rosa).

3.1.7. Reofermentograma

Se evaluó la capacidad fermentativa de cada harina en el Reofermentógrafo F3 (Chopin). Para ello se obtuvo el bollo en la amasadora del Alveógrafo, en condiciones estandarizadas a 28.5 °C (Manual de uso del Reofermentógrafo, 1996).

Para preparar la masa se utilizó 250 g de harina, 3 g (1,2%) de levadura seca, 5 g de sal, a hidratación establecida en el Manual de uso del Reofermentógrafo (pag. 6 y 7), en función la humedad y la tenacidad (P, alveógrafo) de la masa. Luego, en el reofermentógrafo se ensayaron 315 g de masa, aplicando 2 Kg de pesas. La fermentación se llevó a cabo a 28 °C durante 3 hs.

Al final del ensayo se obtuvieron las curvas de desarrollo de masa y de desprendimiento gaseoso, con sus respectivos parámetros (ver **1.3.2. y 1.3.3.**).

3.1.8. Almidón dañado

La cantidad de almidón dañado de las harinas se determinó por el equipo SDmatic (Chopin). El principio de funcionamiento se basa en la determinación de la medida amperométrica de la cantidad de yodo que es absorbido por los gránulos de almidón, presentes en una solución de harina (AACC 76-33 / ICC 172).

La reacción se ensayó sobre 1 g de harina disuelto en una solución de: 120 mL de agua, 3 g de ácido bórico, 3 g de ioduro de potasio y una gota de tiosulfato de sodio a 0.1 M. Se llevó a cabo a 35 °C (Manual de uso SDmatic, 2003).

La intensidad de medida es inversamente proporcional al nivel de almidón dañado, expresado en UCD (Unidades Chopin Dubois).

3.2. Evaluación de las masas: fermentación y reología.

3.2.1. Reofermentograma

3.2.1.1. Principio de funcionamiento

El reofermentógrafo es un aparato que permite estudiar la capacidad de producción de CO₂ durante el proceso fermentativo, y la retención del gas por parte de las masas durante el proceso fermentativo; lo cual se correlaciona simultáneamente con el desarrollo de la masa (Chopin 1996).

El desarrollo de una masa en el momento de ser cocido depende a la vez de la cantidad de CO₂ incluida en la fase acuosa de la masa y de las propiedades reológicas de la masa propiamente dicha. Este desarrollo depende también de la capacidad de la red proteica a deformarse bajo la presión gaseosa y de la capacidad de la masa de conservar esta presión interna hasta la desnaturalización térmica de las proteínas y la gelificación del almidón. La medida de las amplitudes fermentativas de las harinas, por consiguiente, está asociada a la red proteica de la masa durante su desarrollo (Czuchajowska & Pomeranz 1993).

El reofermentómetro estudia la evolución de una muestra de prueba colocada en una vasija de prueba que va a fermentar bajo condiciones establecidas (temperatura, tamaño de muestra, tiempo, peso sobre la muestra). Sobre la muestra se coloca un pistón, que está conectado directamente a un sensor de altura que va a medir el desarrollo de la masa. Además, el recinto de reofermentómetro está conectado a un sensor de presión por medio de un circuito neumático que mide el aumento de presión de la masa en fermentación. El resultado de una prueba está constituido por: la curva de desarrollo de la masa y la curva de desprendimiento gaseoso.

La curva de desarrollo de la masa se obtiene mediante medidas efectuadas con regularidad por el desprendimiento gaseoso. Para establecer la curva de desprendimiento gaseoso, el circuito neumático del reofermentómetro efectúa ciclos de medida de presiones. Estas medidas de presión se convierten en flujo por medio del microprocesador tomando en consideración el tiempo de cuaje de presión. El principio de los ciclos consiste en medir la totalidad de la producción gaseosa y la producción gaseosa liberada de su gas carbónico tomado por la trampa (constituida por el cartucho de cal sodada). La diferencia entre las dos curvas de producción gaseosa proporciona la cantidad de gas carbónico liberado por la masa durante la prueba (Chopin 1996).

3.2.1.2. Curva de desarrollo de la masa

En la curva de desarrollo de la masa, la medida de la combinación de los cinco parámetros (**Fig. 1.2.**) suministra indicaciones para apreciar la calidad de las masas. T₁, así como (H_m-h)/H_m indican los momentos óptimos para trabajar la

masa. No obstante, el tiempo T1 depende mucho de la rapidez de la levadura y de su actividad.

La Hm está relacionada con el volumen de los panes, y T2 es un indicador de la tolerancia de las masas durante la fermentación (Chopin 1996).

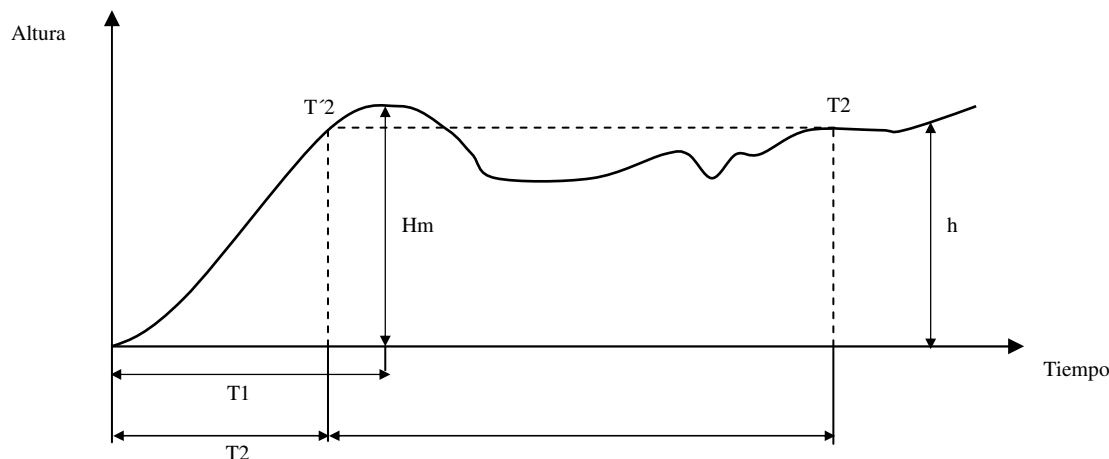


Fig. 3.2. Curva de desarrollo de la masa

T1: tiempo de desarrollo máximo de la masa expresado en horas y minutos.

Hm: altura de desarrollo de la masa, expresada en mm.

T2 y T'2: tiempo de relativa estabilización en el punto máximo situado en una altura de 0,88 Hm sin ser inferior a Hm-6 mm.

-T2 = T2-T'2 = tolerancia de la masa

H: altura de desarrollo de la masa al final de la prueba.

(Hm-h)/Hm: el % de descenso de desarrollo en el tiempo total de fermentación con relación a T1.

3.2.2.3. Curva de desprendimiento gaseoso

La curva de desprendimiento gaseoso permite determinar un coeficiente interesante: el coeficiente de retención R (**Fig. 1.3.**). Está definido como la relación en % entre el volumen retenido en la masa y el volumen total de gas producido durante la prueba. R es muy cercano a 1 con harinas extraídas del centro del grano sano. Puede bajar a 0,5/0,6 con harinas procedentes de las capas externas del endosperma (final de la trituración o de reducción en el sistema de molienda) o con harinas extraídas de granos averiados o mal conservados. Resulta evidente que la prolongación de la liberación de CO₂ a través del tiempo es un factor primordial.

Además como las medidas se efectúan con temperaturas comprendidas ente 27 °C y 30 °C, la acción de las enzimas en muy visible con el reofermetómetro (Chopin 1996).

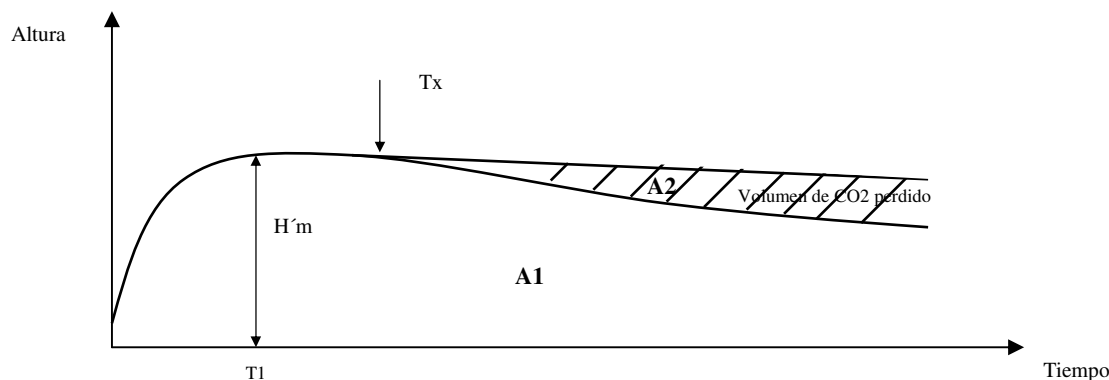


Fig. 1.3. Curva de desprendimiento gaseoso

H'm: altura máxima de la curva de desprendimiento gaseoso.

T1: tiempo necesario para obtener la H'm.

Tx: tiempo de aparición de la porosidad de la masa (momento en que la masa comienza a dejar de escapar CO₂)

Volumen total: volumen de de desprendimiento gaseoso en ml (A1+A2 de la curva).

Volumen de CO₂ perdido: volumen de gas carbónico en ml que la masa ha dejado escapar durante su fermentación (A2).

Volumen de retención: volumen de gas carbónico en ml retenido en la masa al final de la prueba (A1).

Mediante el reofermentómetro es posible estudiar el grado de desarrollo de la masa, la tolerancia a la fermentación, la calidad y las condiciones de uso de los formulados, el nivel de poder fermentativo, la producción de CO₂ y la capacidad de formar esponja. Este sistema permitirá estudiar formulados propuestos en el presente trabajo, en comparación con el pan tradicional; con el fin generar aportes académicos transpolares a la industria, en la dirección comprometida de un estilo de vida saludable.

Todas las formulaciones evaluadas se estudiaron en el Reofermentógrafo F3. Para ello se obtuvo cada bollo en la amasadora (Hobart, modelo A-120T). En el caso de las fórmulas de pan lacteado, se amasó 1 min en posición lenta (Nº 1), 2 min en posición media (Nº 2) y 3 min en posición rápida (Nº 3), con 65% de hidratación. Para el caso de fórmulas con harina base (más azúcar, grasa, sal o sus respectivos sustitutos), se amasó 1 min en posición lenta y 4 min en posición media, con 55 % de hidratación.

En fórmulas de pan lacteado se fermentaron 200 g de masa, para obtener resultados dentro de los límites de detección del Reofermentógrafo. Cuando se analizó la harina base más determinado ingrediente, se utilizó 315 g de masa, (Manual de uso del Reofermentógrafo, 1998).

La fermentación se llevó a cabo con pesas de 2 kg sobre la masa. Las condiciones de fermentación fueron de 28 °C durante 3 hs (Manual de uso del Reofermentógrafo, 1998). Al final del ensayo se obtuvieron las curvas de desarrollo de masa y de desprendimiento gaseoso, con sus respectivos parámetros (ver 1.3.2. y 1.3.3.).

3.2.2. Consistencia de masa en Mixolab

En los ensayos de evaluación de las masas con el agregado de azúcar, grasa, sal o sus respectivos sustitutos, o en la sustitución de harina por fibra, se midió la consistencia de cada masa inmediatamente después de terminado el amasado, que correspondió a la consistencia con que comenzó la fermentación.

Para ello, de la masa obtenida de la amasadora Hobart, se colocaron 75 g en la cuba del Mixolab. Se midió la consistencia instantánea (C1, Nm) a 100 rpm de velocidad (protocolo: Consistencia) (Mixolab, Manual de aplicaciones, 2012).

3.2.3. Determinación del comportamiento reológico en Mixolab

Se evaluaron los cambios reológicos que se genera sobre una masa, cuando se agrega azúcar, grasa, sal o sus respectivos sustitutos, o cuando se reemplaza harina por fibra. Este análisis se hizo mediante el Mixolab (Dubat 2010), según el protocolo Granotec 1, ver 3.1.6.

3.3. Elaboración de pan lacteado

Para estudiar la sustitución de grasa, azúcar, carbohidratos o sal, se realizaron ensayos de elaboración de pan lacteado (método interno de Granotec

Argentina); con el fin evaluar las características del producto terminado, volumen, aspecto externo e interno, y textura (Kamel & Stauffer, 1993; Doerry, 1995).

La elección de emplear el pan lacteado como matriz de estudio para este trabajo, se debió a que en Argentina, este tipo panificado es el mayor contenido de grasa (3%) y azúcar (7,5%), producido a escala industrial. De esta manera poder evaluar con mayor claridad los efectos de los ingredientes en cuestión. Además se incluye dentro de las variedades de panes industriales de mayor consumo en el mercado (SAGyP).

3.3.1. Ingredientes

Harina (g)	1000
Sal (g)	20
Levadura seca (g)	12
Agua (ml)	600
Azúcar (g)	75
Grasa (g)	30
Leche en polvo (g)	20
Gluten de trigo (g)	10
Propionato de Calcio (g)	3,5
Toler Miga Bollo Directo * (g)	15

Tabla 3.3. Ingredientes de la fórmula tradicional de pan lacteado. *Toler Miga Bollo Directo: mezcla de agentes oxidantes y enzimáticos, Granotec Argentina.

3.3.2. Procedimiento

Antes de comenzar cada ensayo de panificación se controló la temperatura del ambiente, la temperatura de la harina y la temperatura del agua. La suma de las tres temperaturas no debió ser inferior a los 78°C.

Amasado. Se pesaron por separado todos los ingredientes, se colocaron en la amasadora (Hobart, modelo A-120T) y luego se agregó el agua. Se amasó durante 1 min en posición lenta, luego 2 min en posición media y finalmente 3 min en posición rápida. Se verificó que la temperatura final de la masa se encontrara entre 24 y 26°C. Al salir de la amasadora, se determinó la pegajosidad de la masa y blandura de la misma (**Tabla 3.4.**).

Descanso. La masa se cortó en trozos de 500 g. Luego de bollar (dar forma de bollo), se dejó en reposo durante 10 min. Durante el descanso la masa quedó tapada con un plástico, para evitar el secado de la masa.

Sobado. La masa se estiró en 2 pasadas por la sobadora (Indupan, modelo 0203), en posición N° 11. Las pasadas fueron en forma cruzada.

Armado. Una vez que la masa salió de la sobadora, se estiró sobre el torno y se dió forma de pan, enrollado en forma de pionono. La pieza se colocó en moldes de 20 cm x 10 cm x 10 cm, con tapa (para medir textura) o sin tapa (para medir volumen).

<i>Amasado</i>			
Pegajosidad	0-Muy pegajosa	5-Referencia	10-Poco pegajosa
Blandura	0-Muy dura	5-Referencia	10-Muy blanda
<i>Armado</i>			
Extensibilidad	0-Muy corta	5-Referencia	10-Muy extensible

Tabla 3.4. Score de evaluación de la masa durante el amasado y el armado de las piezas, interno de Granotec Argentina.

Fermentación. La fermentación se llevó a cabo a 36 °C y 80 % de humedad. Se registró el tiempo de fermentación hasta que el pan de referencia llegó a su punto.

Cocción. La cocción se realizó en el horno (RPO4A10-2, Eurofours), a 150 °C durante 35 minutos.

Desmolde. A la salida del horno se desmoldaron los panes y se colocaron sobre una superficie enrejada. Una vez frío se realizó su correspondiente evaluación o envasado.

3.4. Evaluación del producto terminado

3.4.1. Volumen y peso específico

A los panes cocinados en los moldes sin tapa se les determinó el volumen en el Volumenter (Chopin), previamente calibrado con un patrón de 1500 cm³. El

principio de medición se basa en el desplazamiento de volumen. Además se pesaron las piezas de panes. Se determinó el volumen específico (cm³/g) y el peso específico (cm³/g), tomando como 100% la correspondiente referencia para cada caso.

3.4.2. Características externa e interna

A los panes cocinados en los moldes con tapa se evaluó el color como característica externa, y el alveolado y el color de la miga como característica interna, según Score de Evaluación (interno de Granotec Argentina) (Tabla 3.5.).

<i>Características externas</i>			
Color	0-Muy claro	5-Referencia	10-Muy oscuro
<i>Características internas</i>			
Color	0-Muy oscura	5-Referencia	10-Muy blanca
Alveolado	0-Muy cerrado	5-Referencia	10-Muy abierto

Tabla 3.5. Score de evaluación de producto final, interno de Granotec Argentina.

3.4.3. Textura

La textura de los panes cocidos se determinó con QTS Farnel Texture Analyser (Brookfield). Para ello, se cortaron los panes en rebanadas de 28 mm, sobre las cuales se ensayaron dos metodologías, Firmeza y TPA (Texture Profile Analysis).

Para determinar la firmeza se realizó en un ciclo de compresión, siendo el punto gatillo de 4 g, la velocidad de 120 mm/min, y la distancia desde el punto gatillo de 10 mm. El accesorio de compresión utilizado fue un cilindro de aluminio de 36 mm de diámetro (AACC 74-09). Mediante el software Textute Pro v. 2.1 se graficó la curva de medición (fuerza vs tiempo), donde la firmeza se define como el pico máximo de la curva. Este parámetro se correlaciona con la vida útil del producto terminado.

Otro factor a analizar, es el grado de apelmazamiento de la miga, el cual es posible medirlo mediante TPA (Bourne 2002). Consta de dos ciclos de compresión, siendo el punto gatillo de 4 g, la velocidad de 60 mm/min, y la distancia desde el punto gatillo de 15 mm. El accesorio de compresión utilizado fue un cilindro perpex de 24.4 mm de diámetro. En el primer ciclo el accesorio aplasta la miga, y durante el segundo ciclo se mide el grado de recuperación de la miga. Cuanto mayor es la diferencia entre los picos medidos en ambos ciclos, mayor es el grado de apelmazamiento que sufre la miga.

3.5. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico utilizando análisis de la varianza (ANOVA), a través de los *software* Origin 6.0 y Microsoft Excel 2003. La significancia de los coeficientes fue determinada mediante el test *t* de Student y el valor *P*.

Capítulo 4:

Resultados y discusiones

4.1. Caracterización de harina base para la elaboración de pan lacteado

Dentro de las formulaciones de los panificados, la harina de trigo es el principal componente, y el más crítico dentro del proceso. Por ello, es muy importante definir las especificaciones la harina y llevar a cabo su control de calidad.

En el transcurso en que se realizaron los ensayos, se fueron empleando harinas de características similares; todas ellas fueron harinas sin aditivos (virgen) y sin el agregado de vitaminas o minerales. Para poder caracterizarlas se determinó: humedad, cenizas, gluten, falling number, alveograma, almidón dañado, mixolab (**tabla 4.1.2.**) y reofermentograma (**tabla 4.1.3.**).

En primera instancia, las humedades de las harinas fueron de 14.22 ± 0.13 % (**tabla 4.1.1.**), cumpliendo con la reglamentación del Código Alimentario Argentino (Art 661), donde se especifica que la humedad máxima de la harina de trigo debe ser de 15%. Una humedad de harina elevada sería un ambiente propicio para generar una contaminación microbiana, además, de traer cambios de fluidez del polvo y por ende problemas en el manejo habitual de la misma.

Al analizar cada uno de los parámetros, también es significativo considerar el contenido de cenizas de las harinas. Las cenizas es el material mineral sólido incombustible contenido en la harina. Representa un indicador del proceso de molienda, ya que las porciones de salvado y del germen contienen mayores porcentajes de cenizas que la porción central del grano de trigo. El color grisáceo de las harinas está asociado a colores y pigmentos de las partículas del germen y del salvado, que contienen cantidades relativamente alta de minerales (Pomeranz, 1998). Una harina con un valor de cenizas menor a 0.65 % dará una miga blanca, acorde con las particularidades de un pan de molde tradicional. En el presente trabajo, las harinas presentaron cenizas de 0.637 ± 0.012 % (**tabla 4.1.1.**).

El gluten es un indicador muy importante en las características que presenta la masa. Está constituido por proteínas insolubles (gliadina y glutenina), cuya función principal es dar coherencia y aglutinar al almidón (Cauvain & Young, 2007). En la panificación, el gluten es el que retiene los gases que se desprenden durante la fermentación. En el caso de las harinas bases, se determinó un valor de gluten

húmedo de 28.80 ± 1.01 % (**tabla 4.1.1.**), condición necesaria para soportar el riguroso trabajo mecánico del proceso de elaboración del pan lacteado.

En cuanto al valor Index, es un indicador de las características del gluten, poniendo de manifiesto la fuerza y calidad del mismo. En Argentina, generalmente las harinas presentan valores de 95 a 100 %, correspondiendo a harinas de gluten fuerte. Las harinas bases empeladas en este trabajo presentaron 99% de gluten Index.

Con respecto a la determinación gluten seco, en general, este parámetro tiene buena correlación con el contenido de proteína. En los resultados obtenidos los valores fueron de 10.58 ± 0.65 % identificados dentro del rango normal de las harinas de trigo.

Análisis	Harina 1	Harina 2	Harina 3
<i>Humedad</i> (g/100g de muestra)	14.23	14.35	14.09
<i>Cenizas</i> (g/100g de muestra) base seca	0.639	0.648	0.625
<i>Gluten</i>			
Gluten Húmedo (% base 13,5%)	28.20	28.23	29.97
Gluten Seco (% base 13,5%)	11.29	10.44	10.02
Gluten Index (% base 13,5%)	99	99	99
<i>Falling Number</i> (s)	415	404	427
<i>Alveograma</i>			
P (mm/mm)	104	99	96
L (mm/mm)	79	86	86
G	19.8	20.6	20.6
W (10 -4 J)	308	306	306
P/L	1.32	1.15	1.12
I.e. (%)	61.5	59.9	61.5
W(40) (10 -4 J)	184	173	169
Almidón Dañado (UCD)	22.6	22.1	22.4

Tabla 4.1.1. Características de las harinas bases: humedad, cenizas, gluten, falling number, alveograma, almidón dañado.

Mediante el ensayo de Falling Number se mide la actividad amilásica de las harinas. Se ha reportado que la actividad de la alfa amilasa en un trigo es variable, en donde las condiciones climáticas al momento de la cosecha influyen sobre la misma. Los climas húmedos y calurosos hacen que la actividad de las enzimas aumente, sobre todo en granos germinados, licuando las masas y provocando panes de miga pegajosa. En el ensayo de Falling Number, de acuerdo al tiempo de caída (en segundos), se puede estimar la actividad enzimática. En Argentina, normalmente no se dan las condiciones climáticas para producir granos de trigos brotados, salvo en campañas excepcionales o en ciertas regiones de cultivos. Por ello, es habitual encontrar harinas de baja actividad alfa amilásica, con valores de Falling Number de 350-550 s; en esta oportunidad se registró 415 ± 12 s (**tabla 4.1.1.**).

Cuando las harinas presentan baja actividad alfa amilásica, comúnmente se complementan con alfa amilasa (EC 3.2.1.1.) de origen fungal, la cual hidrolizará las uniones α -1,4 internas de la cadena de almidón (amilosa y amilopectina), y en sinergia con amiloglucosidasa (EC 3.2.1.3) generarán azúcares disponibles para ser fermentados por la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Es decir que en el proceso de panificación, es en la fermentación cuando comienza a evidenciarse la actividad de las alfa amilasas (Moodei et. al, 1998). En esta instancia sólo el almidón que está dañado es susceptible al ataque de las alfa amilasas. Se producen dextrinas menores, que darán azúcares metabolizables por las levaduras (mayor velocidad de fermentación) y aportarán un color más intenso en la corteza del producto final (reacción de Malliard) (Sluimer, 2005).

Las alfas amilasas también juegan un rol en el momento en que el almidón es gelatinizado, de hecho el Falling Number ensaya este efecto. Los gránulos de almidón gelatinizados son susceptibles a la acción de estas enzimas, hasta que el gel alcanza los 80 °C, momento en el que son totalmente inactivadas (Kruger & Lineback).

En relación al ensayo alveográfico, simula gráficamente el comportamiento de la masa en la fermentación, imitando en gran escala la formación de los alveólos originados en la masa por el CO₂ que producen las levaduras. Permite medir la resistencia a la deformación y extensibilidad insuflando aire sobre una lámina de masa que se hincha hasta su ruptura, dando curvas llamadas alveogramas, donde

la superficie bajo la misma indica la fuerza panadera (W), la altura mide la tenacidad (P) y el largo de la curva la extensibilidad (L). La relación P/L expresa el equilibrio de la masa (Addo et. al, 1990). Los resultados alveográficos obtenidos fueron, W 307 ± 110^{-4} J, P/L 1.20 ± 0.11 (**tabla 4.1.1.**, **fig. 4.1.1.**). Estos valores corresponden a las especificaciones de la harina empleada en pan lacteado, con buena fuerza panadera (W) para soportar el proceso de la elaboración y la fermentación, dando panes de buen volumen.

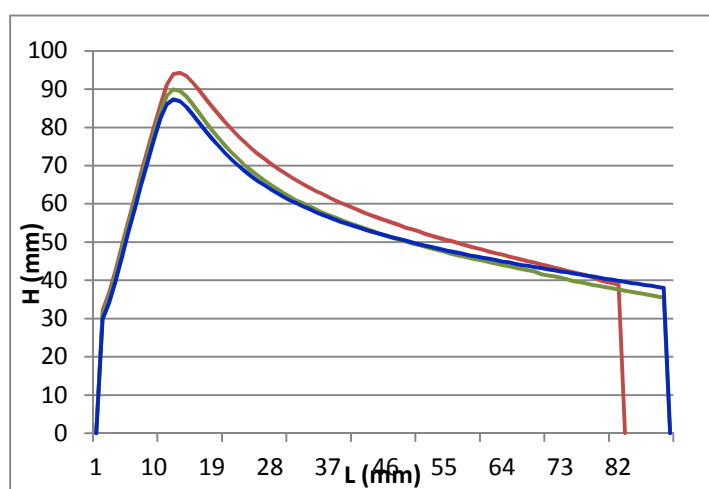


Fig. 4.1.1. Curvas alveográficas de las harinas bases, harina 1 (rojo), harina 2 (verde), harina 3 (azul).

La cantidad de almidón dañado de las harinas depende de las propiedades intrínsecas del trigo, pero sobre todo del proceso de molienda. El número de pasadas, la extracción y la separación de los cilindros durante la molienda, permiten modificar el contenido de almidón dañado. Cuanto más dañado está el almidón, la harina tiene mayor capacidad para absorber agua e hincharse (Cauvain & Young, 2007). Asimismo, una absorción de agua elevada, modificará la maquinabilidad de la masa, y una vez laminada y cortada se deformará.

Dado que el almidón dañado es susceptible a la acción de las amilasas, un alto nivel de almidón dañado generará excesiva de cantidad de azúcares reductores que incrementan la reacción de Maillard durante la cocción, conduciendo a un panificado de corteza demasiado oscura.

Las harinas bases empleadas presentaron 22.4 ± 0.25 UCD, lo que representa un 9% de daño sobre el almidón total (**tabla 4.1.1.**), acorde con una harina panificable.

	Harina 1	Harina 2	Harina 3
<i>Mixolab</i>			
Hidratación	58.0	57.2	58.0
C1			
Tiempo (min)	9.15	10.77	10.02
Par (Nm)	1.10	1.06	1.09
Temperatura de la masa (°C)	30.3	31.3	30.7
Amplitud (Nm)	0.08	0.08	0.08
Estabilidad (min)	12.93	14.38	13.48
C2			
Tiempo (min)	29.95	30.12	30.13
Par (Nm)	0.42	0.44	0.45
Temperatura de la masa (°C)	50.7	51.7	50.7
C3			
Tiempo (min)	37.67	38.68	38.68
Par (Nm)	1.80	1.76	1.83
C3-C2 (Nm)	1.38	1.32	1.38
Temperatura de la masa (°C)	78.0	80.7	79.4
C4			
Tiempo (min)	44.40	44.60	43.65
Par (Nm)	1.84	1.67	1.76
C4-C3 (Nm)	0.04	-0.09	-0.07
Temperatura de la masa (°C)	86.4	87.0	85.8
C5			
Tiempo (min)	58.75	59.05	59.05
Par (Nm)	3.12	2.84	3.21
C5-C4 (Nm)	1.28	1.18	1.45
Temperatura de la masa (°C)	56.8	55.8	56.4
α (min/Nm)	-0.060	-0.058	-0.042
β (min/Nm)	0.270	0.416	0.416
γ (min/Nm)	0.014	-0.024	-0.018
Indice	6-36-666	4-46-545	6-36-657

Tabla 4.1.2. Características de las harinas base: Mixolab, protocolo Granotec 1.

El estudio en el Mixolab nos permite obtener una visión global de lo que ocurre en una masa cuando es sometida al amasado y el calentamiento, imitando el

proceso de panificación (Fig. 3.2.). De esta manera, se obtiene información de la fracción proteica, que sostiene la estructura en la primera etapa del ensayo, y los almidones, que soportan la estructura en la segunda etapa (Dubat, 2010).

Particularmente las harinas bases presentaron tiempo de desarrollo de masa (C1) de 10.26 ± 0.97 min y estabilidad de 14.00 ± 0.94 min (tabla 4.1.2.), los cuales representan valores aceptables para la elaboración de un pan de molde. Lo mismo ocurrió para el dato de hidratación, 57.2 ± 0.8 %.

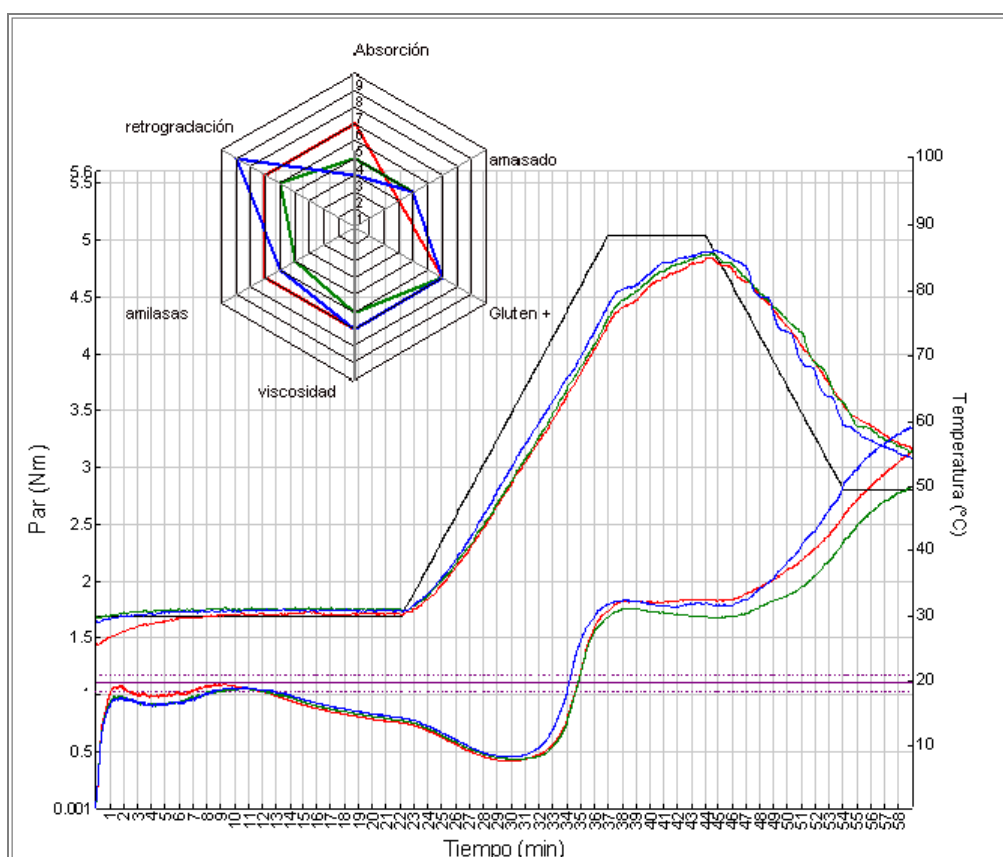


Fig. 4.1.2. Curvas de Mixolab de las harinas bases, harina 1 (rojo), harina 2 (verde), harina 3 (azul).

En el ensayo de Mixolab, cuando la masa es sometida al calentamiento (Fig. 4.1.2.), en primer instancia se rompen las uniones intermoleculares de las proteínas, reflejando la fuerza del gluten (C2, 0.44 ± 0.02 Nm) (tabla 4.1.2.). Cuando la temperatura alcanza los 58 °C comienza la gelatinización del almidón (C3-C2, 1.36 ± 0.03 Nm), etapa donde tiene incidencia la calidad de los almidones. Una vez que el almidón está gelatinizado se evidencia la actividad de las alfa amilasas que han actuado sobre los gránulos de almidón gelatinizados previo a la inactivación de la enzima (C4-C3, -0.02 ± 0.07 Nm), así como también se observa la estabilidad del almidón que

interacciona con las proteínas coaguladas. Finalmente la masa es sometida al enfriamiento hasta los 55 °C, etapa donde ocurre la retrogradación del almidón. En esta instancia se observa una alta desviación estándar de los valores C5-C4, 1.35 ± 0.22 , esto se debe a que esta característica de la harina no es controlada en la molinería, ya que los controles de calidad molineros normalmente no evalúan la calidad del almidón.

Para evaluar la capacidad fermentativa de cada harina base se realizaron reofermentogramas. Los datos obtenidos de este ensayo permiten caracterizar la tolerancia de la masa durante la fermentación, la fuerza de fermentación y la calidad de la red proteíca.

	Harina 1	Harina 2	Harina 3
Reofermentograma			
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	45.2	48.3	53.9
H (mm)	40.7	43.4	48.3
T1(h:m)	1:54	2:24	2:18
(Hm-h)/Hm	10.0	10.1	10.4
T2 (h:m)	-----	-----	-----
<i>Desprendimiento de gas</i>			
H`m (mm)	63.7	64.5	64.2
T`1 (h:min)	1:33	1:25	1:31
Tx (h:min)	1:22	1:07	1:22
Volumen total (ml)	1427	1451	1481
Volumen de CO2 desprendido (ml)	235	216	228
Volumen de CO2 retenido (ml)	1192	1235	1253
Coefficiente de retención (%)	83.5	85.1	84.6

Tabla 4.1.3. Características de las harinas base: reofermentograma.

La curva de desarrollo de masa (**Fig. 4.1.3.**) demuestra que las harinas base producen un buen desarrollo, siendo Hm 49.1 ± 4.4 mm, y presentan muy buena tolerancia, ya que no hay T2 (**Tabla 4.1.3.**); lo que permiten ser consideradas como harinas que no deben plantear problemas en la panificación. En cuanto al poder fermentativo, es normal (H`m 64.1 ± 0.4 mm) y se observó una aparición de Tx a $1:17 \pm 0:09$ h:min, con una prolongada producción de CO₂ (**Fig. 4.1.3.**). Las

características fermentativas respondieron adecuadamente para elaborar un pan de molde.

Dado que la gran incidencia que presenta la harina de trigo para la formulación de un panificado, es crítico conocer las características de la base desde la que se parte. Al trabajar con una harina estandarizada adecuada para el proceso, se asegura una buena performance del pan, y un buen blanco para poder interpretar los resultados posteriores.

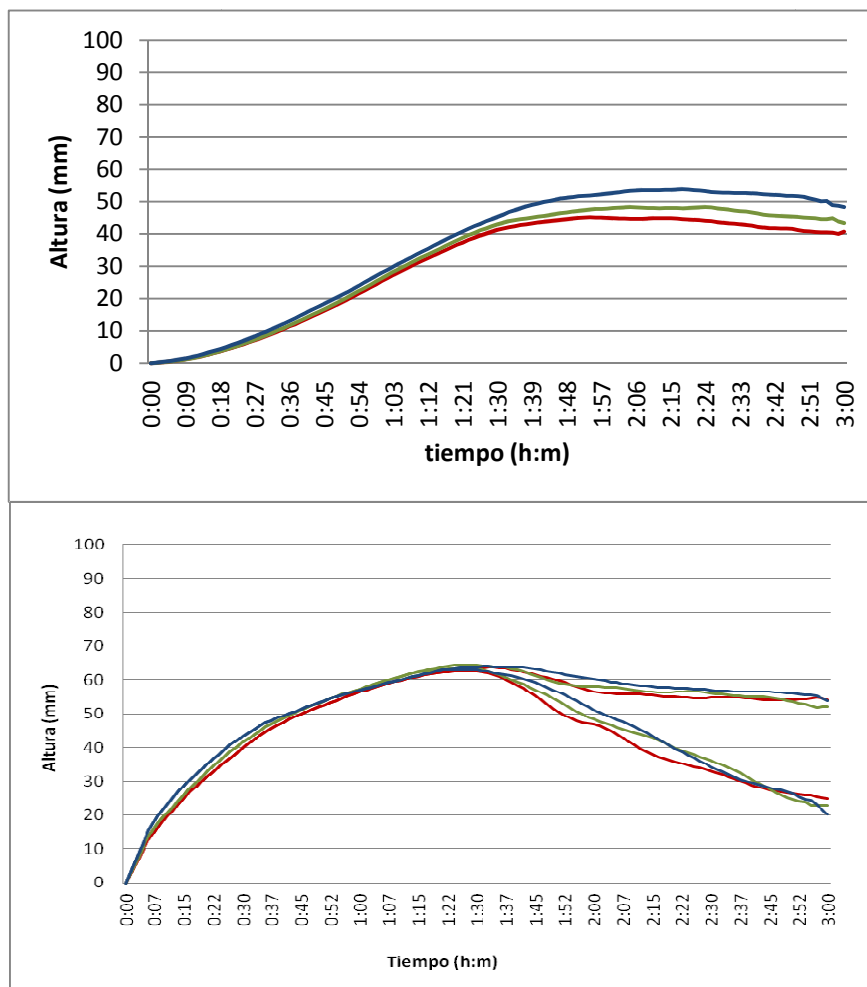


Fig. 4.1.3. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de las harinas bases, harina 1 (rojo), harina 2 (verde), harina 3 (azul).

4.2. La sustitución de grasa en pan lacteado

Los panes leudados deben muchas de sus propiedades a la estructura del gluten de la masa. En el pan lacteado es necesario que el carácter firme y elástico del gluten se compense con otros materiales que posean un efecto suavizante. Es así, que la grasa se usa en las masas para lubricar las cadenas de gluten y para suavizar la corteza de la pieza final. Su uso disminuirá la firmeza de la corteza del pan, producirá una estructura de miga más brillante, y mejorará materialmente la calidad de conservación del pan (Cauvain & Young, 2007).

En Argentina, es práctica habitual que los panificados industriales presenten en sus formulaciones un máximo de 4.5% de grasa (base harina) (Informe SAGyP). De hecho, el pan lacteado es el pan industrial que presenta mayor contenido de grasa.

En los panificados, se emplean grasas tanto de origen vegetal como animal, las de uso más habituales son aceite de girasol y oleomargarina. En el caso del pan lacteado, es predominante el uso de aceite de girasol, siendo la materia grasa empleada en este trabajo.

Como sustituto de grasa se analizó Toler Fat Less Saladas (Granotec Argentina), el cual es una mezcla a base de fibras de trigo, almidón modificado, hidrocoloides y lecitina de soja. Se emplea para reemplazar entre el 50 % y 100 % de la grasa, y su modo de aplicación es usar 200 g de Toler Fat Less Saladas más 800 ml de agua por cada kg de grasa a reemplazar.

4.2.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de grasa en harina base

Para evaluar el comportamiento de Toler Fat Less Saladas se realizaron reofermentogramas sobre la harina base, la harina más 3 % de grasa, y la harina más 0.6 % de Toler Fat Less Saladas (compensado con 2.4% de agua, para el reemplazo total del 3% de grasa).

Al comparar el efecto que produce la adición de grasa a la harina, en relación al sustituto Toler Fat Less Saladas, se observó que en ambos casos el desarrollo de masa fue similar a la harina base (**Tabla 4.2.1.**). Asimismo, se notó

que el desarrollo con Toler Fat Less Saladas comenzó unos minutos antes que la grasa, 00:12 y 00:20 h:m respectivamente. Ambas curvas continuaron con una pendiente similar hasta 01:00 h:m, a este tiempo, el crecimiento con el sustituto llegó a la etapa estacional, mientras que la grasa lo hizo a la 01:30. Si bien, ambos casos difieren levemente en el desarrollo en la primera etapa de la fermentación, a partir 01:30 h:m el comportamiento es semejante, con valores de Hm similares, 31.1 y 33.1 mm. Las curvas continúan de igual manera incluso hasta las 03:00 h:m, momento en que se completa la fermentación (**Fig. 4.2.1.**).

Siendo que la adición de grasa y Toler Fat Less Saladas mantuvieron la tolerancia a la fermentación (Hm-h)/Hm (%), la harina base bajó el 9.7%.

Tabla 4.2.1. Parámetros de reofermentograma: harina, harina más grasa (3%), harina más Toler Fat Less Saladas (0.6 %). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Harina	Harina más grasa (3 %)	Harina más Toler Fat Less Saladas (0.6%)
Reofermentograma			
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	30.9	31.1	33.1
h (mm)	27.9	31.1	33.1
(Hm-h)/Hm (%)	9.7	0	0
T1 (h:m)	02:25	03 00	03 00
T2 (h:m)	02:58	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
H`m (mm)	54.2	52.0	54.5
T`1 (h:m)	02:31	01:19	01:21
Tx (h:m)	01:21	01:36	01:30
Volumen total (ml)	1604	1654	1679
Volumen CO2 perdido (ml)	348	325	316
Volumen de retención (ml)	1256	1302	1344
Coficiente de retención (%)	78.3	80.3	81.2
Mixolab			
Consistencia de masa	2.87	2.73	2.66

El desprendimiento gaseoso, para los tres casos fue similar, siendo los valores de H`m (mm): 54.2 para la base, 52.0 con grasa y 54.5 con Toler Fat Less Saladas. También, se obtuvieron registros similares en el volumen de gas producido (**Tabla 4.2.1.**).

No hay evidencia de que la gasea o componentes de Toler Fat Less Saladas estimulen la actividad fermentativa de la levadura, pero probablemente, de manera indirecta están generando un medio favorable para que la levadura comience a fermentar ligeramente más rápido en el periodo de 00:15 a 00:30 h:m, lo cual generó dos curvas levemente superiores a la harina base, pero significativamente similares (**Fig. 4.2.1.**). Estas condiciones podrían estar relacionadas a la disponibilidad de ciertos nutrientes presentes en el medio.

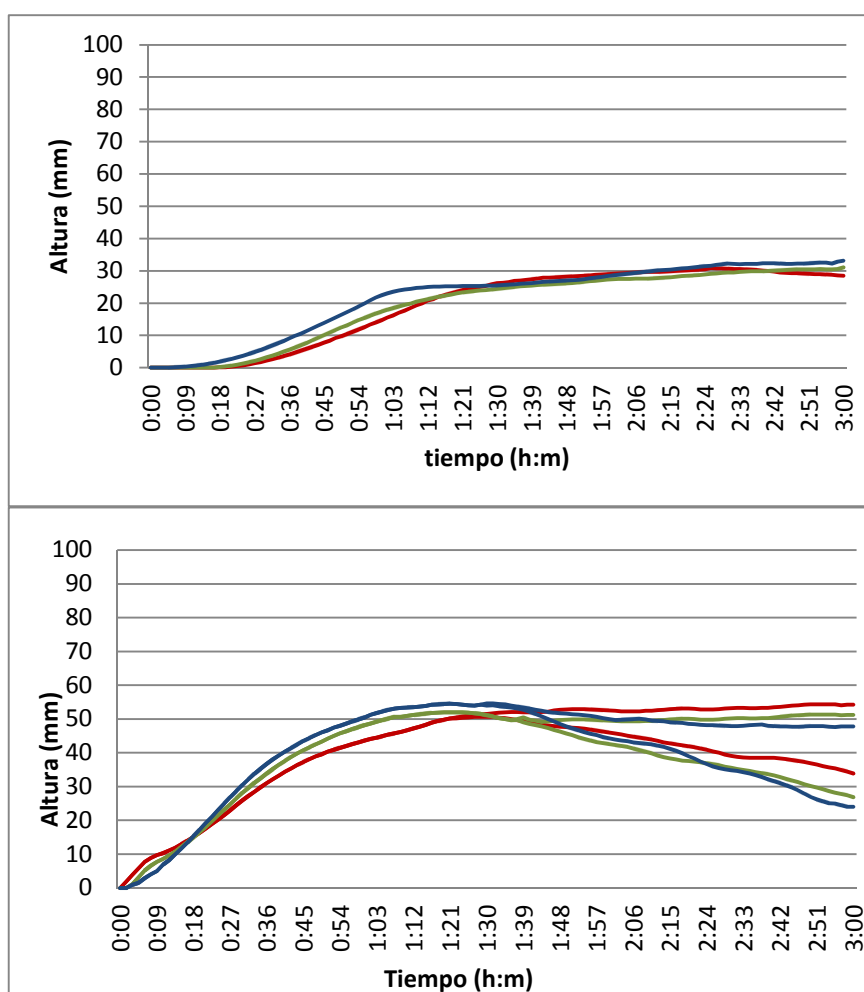


Fig. 4.2.1. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: harina (rojo), harina más grasa (3%) (verde), harina más Toler Fat Less Saladas (0.6%) (azul).

En términos generales del proceso, Toler Fat Less Saladas aporta similar consistencia de masa con respecto a la grasa, y alcanza las mismas características de fermentación a las 3 hs (**Tabla 4.2.1.**). El hecho de medir la consistencia de masa en el Mixolab, permitió verificar que las condiciones de fermentación, en

cuanto a la consistencia, fue similar en todos los casos, y por ende la validez de los ensayos.

4.2.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de grasa en pan lacteado

Cuando se estudió el efecto de la grasa y de Toler Fat Less Saladas en la fórmula completa de pan lacteado, ambos ingredientes generaron un efecto similar al blanco sin grasa, tanto en el desarrollo de la masa como en el desprendimiento gaseoso (**Tabla 4.2.2., Fig. 4.2.2.**). Estos resultados se correlacionan con los ensayos realizados sobre la harina base (**4.2.1.**).

Por lo tanto, el aporte de la grasa y el sustituto en esta fórmula no influyen en la etapa fermentativa del proceso, de hecho esto mismo se observó en la panificación experimental (**4.2.4.**), donde las piezas de los panes presentaron similares características al ingresar al horneado.

Tabla 4.2.2. Parámetros de reofermentograma: pan lacteado sin grasa, pan lacteado más grasa (3%), pan lacteado más Toler Fat Less Saladas (0.6%). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Pan lacteado sin grasa	Pan lacteado más grasa (3%)	Pan lacteado más Toler Fat Less Saladas (0.6%)
Reofermentograma			
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	29.5	27.0	27.4
h (mm)	27.6	27.0	27.4
(Hm-h)/Hm (%)	6.4	0	0
T1 (h:m)	02:55	03:00	03:00
T2	-----	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
H`m (mm)	32.8	32.7	30.1
T`1 (h:m)	03:00	02:57	02:22
Tx (h:m)	-----	-----	-----
Volumen total (ml)	562	549	553
Volumen CO2 perdido (ml)	2	4	3
Volumen de retención (ml)	560	545	550
Coficiente de retención (%)	99.6	99.2	99.4
Mixolab			
Consistecia de masa	1.77	1.79	1.80

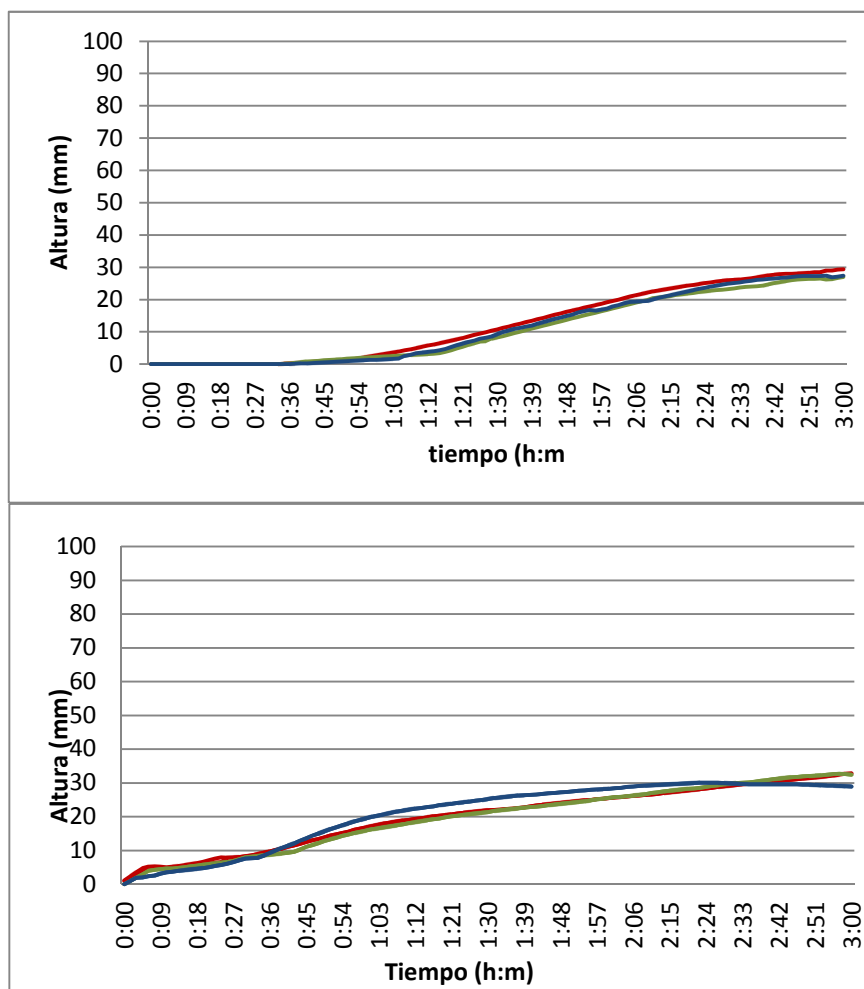


Fig. 4.2.2. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: pan lacteado sin grasa (rojo), pan lacteado más grasa (3%) (verde), pan lacteado más Toler Fat Less Saladas (0.6%) (azul).

4.2.3. Efecto del reemplazo de grasa en Mixolab

Se estudió en el Mixolab el efecto de la grasa y de Toler Fat Less Saladas sobre una masa sometida al amasado, calentamiento y enfriamiento. En principio, hubo un leve aumento de estabilidad en el caso del Toler Fat Less Saladas, siendo 2 puntos superior a la harina base, 15.20 min en comparación con 13.48 min (Tabla 4.2.3.). El hecho de que el sustituto influya sobre el aumento de estabilidad al amasado, puede deberse a que este producto está formulado a base de materias primas que pueden actuar como emulsionantes. Sin embargo, en este caso el aumento de estabilidad observado es poco significativo.

Tabla 4.2.3. Mixolab, protocolo Granotec 1: harina, harina más grasa (3%), harina más Toler Fat Less Saladas (0.6%).

Mixolab	Harina	Harina más grasa (3%)	Harina más Toler Fat Less Saladas (0.6 %)
Hidratación	58	58.8	58
C1			
Tiempo (min)	10.02	7.90	11.03
Par (Nm)	1.09	1.14	1.13
Temperatura de la masa (°C)	30.7	30.7	31.0
Amplitud (Nm)	0.08	0.08	0.05
Estabilidad (min)	13.48	12.07	15.20
C2			
Tiempo (min)	30.13	30.30	29.97
Par (Nm)	0.45	0.35	0.46
Temperatura de la masa (°C)	50.7	53.8	50.7
C3			
Tiempo (min)	38.68	38.35	38.68
Par (Nm)	1.83	1.84	1.93
C3-C2 (Nm)	1.38	1.50	1.47
Temperatura de la masa (°C)	79.4	80.5	79.4
C4			
Tiempo (min)	43.65	44.47	44.45
Par (Nm)	1.76	1.98	1.87
C4-C3 (Nm)	-0.07	0.14	-0.06
Temperatura de la masa (°C)	85.8	87.4	86.3
C5			
Tiempo (min)	59.05	58.82	59.00
Par (Nm)	3.21	3.63	3.26
C5-C4 (Nm)	1.45	1.65	1.39
Temperatura de la masa (°C)	56.4	57.5	56.9
α (min/Nm)	-0.042	-0.038	-0.060
β (min/Nm)	0.416	0.160	0.414
γ (min/Nm)	-0.018	0.016	-0.024
Indice	6-36-657	1-23-784	6-56-767

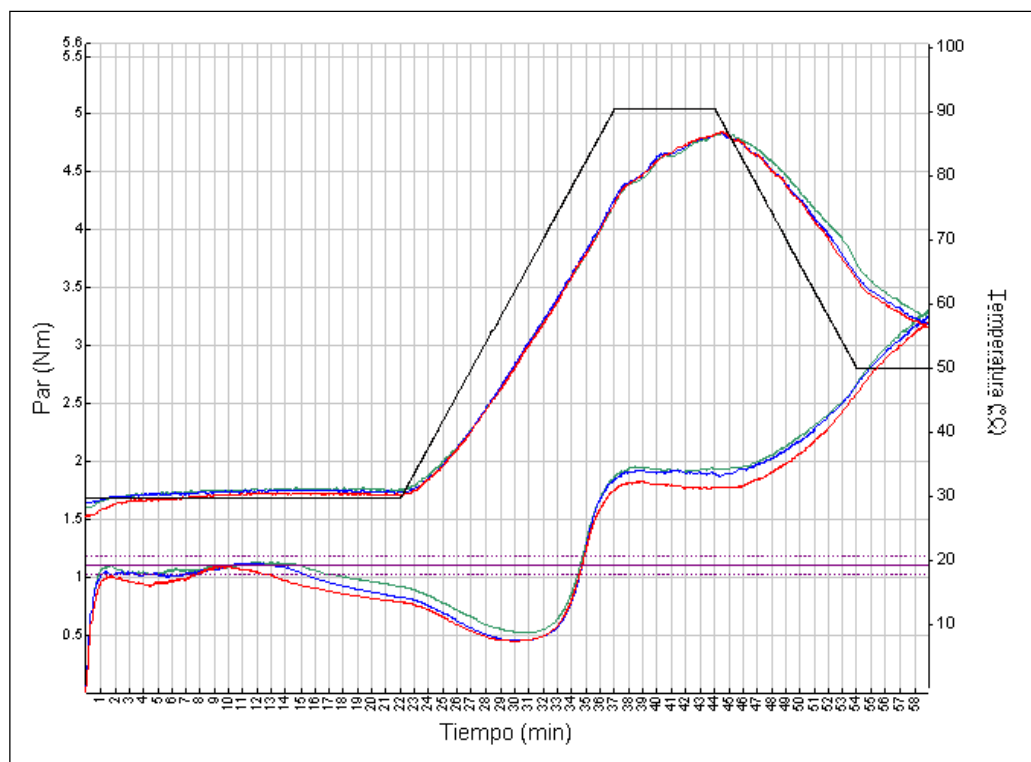


Fig. 4.3.2. Curvas de Mixolab: harina base (rojo), harina base más grasa (3%) (verde), harina base más Toler Fat Less Saladas (0.6 %) (azul).

En el Mixolab, la principal diferencia que mostraron la adición de grasa y el sustituto, en relación a la harina base, se encontró en la tercera etapa de la curva (**Fig. 4.3.2**). Se registraron diferencias de C3-C2 mayores con la grasa y el sustituto, siendo de 1.5 y 1.47 Nm respectivamente, en comparación con 1.38 Nm para la harina base. Mayor diferencia entre C3 y C2, indicaría un grado de gelatinización del almidón más elevado, incidiendo principalmente en la estructura de la miga de la pieza de pan (Dubat 2010). Este hecho se correlaciona con los datos recolectados en la panificación experimental (**4.2.4.**), donde la característica principal del efecto de la grasa y el sustituto se reflejan en la estructura de miga, y no en efectos reológicos durante el proceso de panificación, ni sobre la fermentación (**4.2.1.** y **4.2.2.**).

4.2.4. Evaluación de reemplazo de grasa en la panificación experimental

La panificación experimental es el análisis más representativo de la calidad industrial de un trigo, ya que es una prueba directa en pequeña escala donde se evalúa la aptitud de las harinas para formar un pan de buenas características. Permite valorar las diferentes etapas de fabricación, observando el tiempo que tarda la masa en desarrollar,

el comportamiento durante la fermentación, el volumen del pan y aspecto interior y exterior del mismo. Por lo tanto, la panificación es un ensayo global donde se practica la aplicación final de los insumos.

Al producir panes lacteados sin grasa, con grasa y con Toler Fat Less Saladas, no mostraron diferencias en cuanto a la pegajosidad luego del amasado, y a la blandura luego del descanso en el torno (**Tabla 4.2.4.**), sin cambios en la elasticidad y extensibilidad de la masa durante el manejo de la masa. Las piezas fermentadas mostraron igual volumen luego de 1:30 h:m. Incluso mantuvieron similar volumen a la salida del horno.

Tabla 4.2.4. Parámetros de la panificación experimental: pan lacteado sin grasa, pan lacteado más grasa (3%), pan lacteado base más Toler Fat Less Saladas (0.6 %).

	Pan lacteado sin grasa	Pan lacteado más grasa (3%)	Pan lacteado más Toler Fat Less Saladas (0.6 %)
Características de la masa			
<i>Amasado</i>			
Pegajosidad	5	5	5
Blandura	5	5	5
<i>Armado</i>			
Extensibilidad	5	5	5
Características del producto final			
<i>Peso</i>			
Peso horneado (g)	435	439	442
Peso específico (g/cc pan)	0.17	0.17	0.17
<i>Volumen</i>			
Volumen (cc)	2500	2550	2545
Volumen específico (cc/g pan)	5.75	5.80	5.76
Indice Volúmen Específico	100	100	100
<i>Características externas</i>			
Color	5	5	5
<i>Características internas</i>			
Color	5	5	5
Alveolado	5	5.1	5.1
Textura			
<i>Firmeza (g)</i>			
Día 5	464	400	413
Día 10	902	852	881
Día 15	1394	1358	1669
<i>TPA (g)</i>			
Día 5	40	41	39
Día 10	75	68	79
Día 15	116	111	117

Estos resultados siguen los mismos alineamientos de estudios previos. No obstante, el efecto de la grasa agregada a un panificado, se evidencia recién en los primeros minutos de horneados, en la etapa llamada “oven spring”, momento en que la pieza desarrolla volumen en el horno. Una pieza con contenido de grasa realiza el “oven spring” minutos antes que una pieza que no la contiene pero al final del horneado ambas piezas alcanza el mismo volumen (Williams 1989). Este suceso podría deberse a que la grasa lubrica la masa y esto facilita la expansión de la masa en el horno, favoreciendo el crecimiento en los primeros minutos de horneado.



Fig. 4.3.3. Piezas de panes: pan lacteado sin grasa, pan lacteado más grasa (3%), pan lacteado más Toler Fat Less Saladas (0.6%).

El efecto de la grasa y el sustituto contribuyó en la formación de alveolos homogéneos, dando una miga más pareja en el producto final (**Tabla 4.2.4.**). Esto tuvo incidencia en la textura de la miga principalmente en los primeros 5 días de la vida útil, dando registros de firmeza de 14 y 11 % inferior al pan sin grasa. A los 15 días de fabricación los panes con grasa y el sustituto no mostraron diferencias significativas en las mediciones con el texturómetro. Lo mismo ocurrió en los registros de TPA en las tres mediciones llevadas a cabo durante los 15 días de vida útil, para los tres casos de panificados.

Es decir, que en un pan lacteado el efecto más importante de la adición de grasa recae en el producto terminado, contribuyendo a dar una miga más uniforme, que a lo largo de la vida útil del pan, tenderá a retardar el envejecimiento.

4.3. La sustitución de azúcar en pan lacteado

En la panificación, la principal función del azúcar es proporcionar alimento para la levadura. En la producción normal de pan, se requieren de 2 a 3 % de sólidos fermentables para mantener la actividad de la levadura (Dubois 1981). Este suministro de alimentos puede venir de azúcar añadido o de la conversión enzimática del almidón en azúcar o de una combinación de ambos. Por lo tanto, el azúcar no es un ingrediente esencial.

Hay variedades de panes que contienen de un 2-8 % de azúcar. Generalmente, en la práctica se usan mayores niveles de azúcar en las fórmulas de pan, debido a mejoras en el volumen del pan, color de la corteza, sabor, vida útil, etc. Altos niveles de azúcar, también, mantienen mayor tasa de fermentación durante el proceso de panificación. En el caso del pan lacteado, generalmente, está formulado con 7.5% de azúcar.

El sustituto de azúcar estudiado en este trabajo es Granofiber Sweet (Granotec Argentina), una mezcla de fibras y edulcorantes no nutritivos. El cual contiene un mínimo de 80% de fibra dietaria total. Este producto se recomienda a los efectos de rotular alimentos saludables ya que aumenta el contenido de fibra y permite la sustitución total del azúcar. Es empleado en la elaboración de productos panificados, galletitas, budines, bizcochuelos, tortas, bebidas, lácteos, etc. La relación con el azúcar es 1:1.

4.3.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de azúcar en harina base

Se ha visto que altas concentraciones de azúcar y sales inorgánicas inhiben la fermentación por parte de las levaduras, como resultado de efectos fisicoquímicos producidos por la alta presión osmótica (Schulz. 1965). Además, se cree que todos los azúcares fermentables generan un efecto inhibitor sobre la levadura cuando la concentración excede determinado valor, con un grado de inhibición creciente a medida que aumenta a partir de la concentración óptima. Este efecto es más pronunciado en azúcares como la sacarosa, glucosa, fructosa, más que la maltosa (Koch et. al. 1954). Por otro lado, se ha citado que hay levaduras de panificación industrial que expresan altos niveles de actividad de la enzima invertasa, la cual desdobra la sacarosa y aumenta la presión osmótica sobre la levadura en masas dulces (Nagodawithana &

Trivedi 1990). Sin embargo, en los presentes ensayos no se registraron efectos inhibitorios por parte del azúcar o el sustituto, a la concentración y las matrices ensayadas. Incluso, estas suplementaciones han mantenido mayor tasa de fermentación durante el proceso, en relación a la harina base (**Fig. 4.3.1.**). Estos resultados podrían explicarse con antecedentes de estudios a nivel molecular, donde se ha visto que la capacidad de las cepas de *S. cerevisiae* para fermentar medios con altas concentraciones de sacarosa es, en cierta medida, inversamente proporcional con actividades de invertasa intrínsecas de las células (Evans 1990; Myers *et al.* 1997). Sin embargo, otros factores también son importantes. Oda y Ouchi (1990) informaron de que la fermentación de las masas dulces se correlaciona más fuertemente con la osmotolerancia de la levadura que con la invertasa.

Tabla 4.3.1. Parámetros de reofermentograma: harina, harina más azúcar (7.5 %), harina más Granofiber Sweet (7.5 %). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Harina	Harina más azúcar (7.5%)	Harina más Granofiber Sweet (7.5%)
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	30.9	40.4	38.5
h (mm)	27.9	40.4	38.0
(Hm-h)/Hm (%)	9.7	0	1.3
T1 (h: min)	02:25	03:00	02:45
T2 (h: min)	----	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
H ^o m (mm)	54.2	57.4	55.1
T ^o 1 (h:min)	02:31	01:27	01:30
Tx (h:min)	01:21	01:09	01:10
Volumen total (ml)	1604	1759	1725
Volumen CO2 perdido (ml)	348	176	190
Volumen de retención (ml)	1256	1583	1535
Coefficiente de retención (%)	78.3	90.0	88.9
Mixolab			
Consistencia de masa	2.87	2.57	2.48

Dado que cuando se agrega azúcar a un panificado, la sacarosa es hidrolizada a glucosa y fructosa por acción de enzimas de la levadura. Así, al final de la panificación toda la sacarosa es hidrolizada. En tanto que la levadura presenta la misma tasa por fermentar glucosa y fructosa cuando están presentes de forma separada; cuando ambas están presentes en forma simultánea, la preferencia por la glucosa es mayor (Griffit & Johnson. 1954). Por otro lado, la maltosa, generada a partir del almidón por la acción

hidrolítica de las amilasas, se mantiene sin ser fermentada por la levadura hasta que no exista la disponibilidad de glucosa y fructosa. Bajo este contexto podemos analizar que el agregado de azúcar a una masa generaría una fermentación distinta, ya que los azúcares disponibles serían la glucosa y la fructosa, generando una tasa de fermentación más sostenida, en comparación con la harina base. Este punto lo vemos en la **Fig. 4.3.1.**, donde el desarrollo de masa de la harina base decae 6.4% a partir de 02:25 h:m.

Granofiber Sweet generó un desarrollo de masa de manera similar al azúcar, a iguales concentraciones. Para ambos casos, los valores Hm registrados fueron 30 y 25% mayores a la harina base (**Tabla 4.3.1.**). Este desarrollo fue acompañado por una mayor producción gaseosa con respecto a la harina base (**Fig. 4.3.1.**). Es decir, el incremento del desarrollo en estos casos está directamente ligada a la producción gaseosa de CO₂ por parte de la levadura.

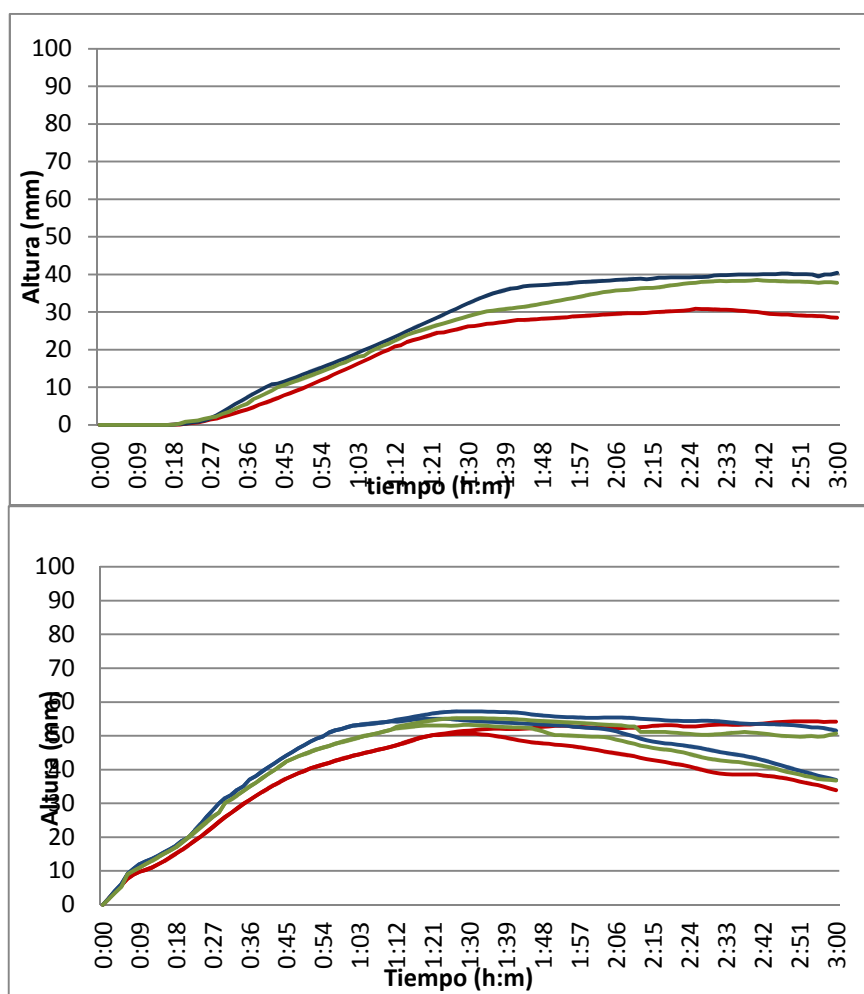


Fig. 4.3.1. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: harina (rojo), harina más azúcar (7.5%) (verde), harina más Granofiber Sweet (7.5%)(azul).

En la prueba de la harina con azúcar, gráficamente se observaron las curvas de desarrollo de masa y de desprendimiento gaseoso levemente superiores a las del sustituto.

Podría ser que los componentes de Granofiber Sweet hagan que la tasa de fermentación sea un tanto inferior a la sacarosa, sin embargo esta diferencia no sería significativa. Este sustituto contiene inulina, y tradicionalmente se ha considerado que *S. cerevisiae* no metaboliza este azúcar, principalmente porque no hay genes que codifican la inulinasa. Además, la invertasa de *S. cerevisiae* cataliza preferentemente la hidrólisis del disacárido sacarosa y el trisacárido rafinosa con limitada actividad hacia la inulina (Gascón *et al.* 1968, Schorr-Galindo *et al.* 2000). No obstante, con la ayuda de herramientas genómicas, se ha generado una amplia gama de cepas de *S. cerevisiae* que han notificado a ser capaz de utilizar inulina (Lim *et al.* 2011). Sin embargo, los mecanismos genéticos del metabolismo de inulina en tales cepas son desconocidos.

Dentro de los parámetros de la curva de desprendimiento gaseoso (**Fig. 4.3.1.**), se detectó que la harina con azúcar o Granofiber Sweet, produjeron un incremento en la capacidad de retención de CO₂ en comparación con la harina base, siendo los valores de coeficiente de retención entre 15 y 13 % mayores (**Tabla 4.3.1.**). Con lo cual, en este contexto, tanto el azúcar como el sustituto están generando un medio más propenso para retener el gas.

4.3.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de azúcar en pan lacteado

Al estudiar el efecto de la concentración de azúcar en el pan lacteado, la matriz se volvería más compleja por la presencia de otros componentes de la fórmula del pan que presentarían suma de efecto osmótico sobre la levadura. Por ejemplo, los efectos aportados por la sal y el propionato de calcio, podrían aumentar la incidencia negativa del azúcar sobre la fermentación, tanto en el desarrollo de masa como en desprendimiento gaseoso.

A pesar de este análisis, en la práctica los resultados fueron en aumento de desarrollo de masa y producción gaseosa tanto para el agregado de azúcar como el del sustituto. Aparentemente, esta fórmula de pan lacteado está lo suficientemente equilibrada para que los ingredientes en conjunto contribuyan a la buena performance del producto.

Además, el desempeño de Granofiber Sweet responde de manera ligeramente similar al azúcar, alcanzando valores de Hm significativamente similares, 37.2 % para el azúcar y 35.2 % para el sustituto, siendo 26 y 19 % mayores a la harina base (**Tabla 4.3.2.**). Del mismo modo, la curva y los parámetros de desprendimiento gaseoso siguen la misma tendencia que el desarrollo de la masa (**Fig. 4.3.1.**). Como ya se observó antes (**4.3.1.**), en este ensayo se volvió a ver que ambos tipos de curvas dado por el agregado de azúcar, van por encima de las curvas del sustituto.

Tabla 4.3.2. Parámetros de reofermentograma: pan lacteado, pan lacteado más azúcar (7.5%), pan lacteado más Granofiber Sweet (7.5%). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Pan Lactal sin azúcar	Pan Lactal más azúcar (7.5%)	Pan Lactal más Granofiber Sweet (7.5%)
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	29.5	37.2	35.2
h (mm)	27.6	37.2	35.2
(Hm-h)/Hm (%)	6.4	0	0
T1 (h. min)	02:55	03:00	03:00
T2 (h. min)	-----	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
Hm (mm)	32.8	40.1	39.0
T1 (h. min)	03:00	03:00	03:00
Tx (h. min)	-----	-----	-----
Volumen total (ml)	562	688	698
Volumen CO2 perdido (ml)	2	6	14
Volumen de retención (ml)	560	582	681
Coefficiente de retención (%)	99.6	99.1	98.0
Mixolab			
Consistencia de masa	1.77	1.79	1.58

También, se repitió el efecto de aumento de tolerancia a la fermentación, con el agregado de azúcar y Granofiber Sweet, aunque en menor medida, siendo (Hm-h)/Hm de 6.4% para el blanco. Este último contiene también Toler Miga Bollo Directo, que contribuye a aumentar la tolerancia a la fermentación, esto haría que en cierto grado equiparara la comparación del blanco con la prueba con el azúcar o el sustituto.

A diferencia del estudio efectuado en la harina base (**4.3.1.**), en el pan lacteado el azúcar y el sustituto no producen cambios significativos en el coeficiente de retención gaseosa en comparación al blanco. Esto podría deberse a que los componentes de la fórmula en conjunto contribuyen fuertemente a reforzar la red de gluten, como es el caso del Toler Miga Bollo Directo y el gluten vital de trigo agregado.

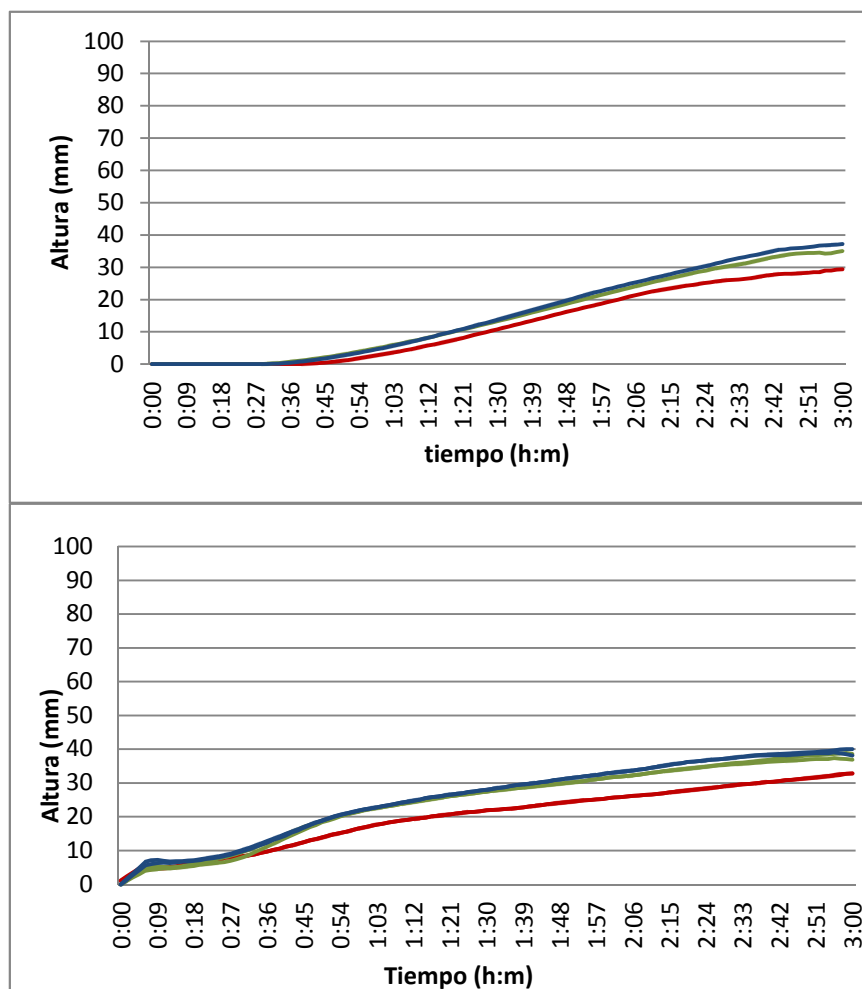


Fig. 4.3.2. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: pan lacteado sin azúcar (rojo), pan lacteado más 7.5 % azúcar (verde), pan lacteado más 7.5 % Granofiber Sweet (azul).

4.3.3. Efecto del reemplazo de azúcar en Mixolab

Continuando con el estudio del agregado de azúcar o Granofiber Sweet a una masa, se hicieron pruebas en el Mixolab (**Tabla 4.3.3., Fig. 4.3.3.**). En principio se notó una disminución en la absorción de agua cuando se incorporaron ambos ingredientes. Además, en el ensayo con el sustituto aumentó considerablemente la estabilidad, subiendo a de 13.48 a 24 min, mientras que con el azúcar dió 12.07 min. Podría pensarse que esto sucede debido a efectos estabilizantes de la polidextrosa contenida en Granofiber Sweet (Kamel & Stauffer 1993).

Tabla 4.3.3. Mixolab, protocolo Granotec 1: harina, harina más azúcar (7.5 %), harina más Granofiber Sweet (7.5 %).

Mixolab	Harina base	Harina base más azúcar (7.5 %)	Harina base más Granofiber Sweet (7.5 %)
Hidratación	58.0	49.8	50.0
C1			
Tiempo (min)	10.02	7.90	20.92
Par (Nm)	1.09	1.14	1.07
Temperatura de la masa (°C)	30.7	30.7	31.0
Amplitud (Nm)	0.08	0.08	0.04
Estabilidad (min)	13.48	12.07	24.00
C2			
Tiempo (min)	30.13	30.30	32.28
Par (Nm)	0.45	0.35	0.40
Temperatura de la masa (°C)	50.7	53.8	55.47
C3			
Tiempo (min)	38.68	38.35	39.17
Par (Nm)	1.83	1.84	1.78
C3-C2 (Nm)	1.38	1.5	1.38
Temperatura de la masa (°C)	79.4	80.5	79.2
C4			
Tiempo (min)	43.65	44.47	44.35
Par (Nm)	1.76	1.98	2.01
C4-C3 (Nm)	-0.07	0.14	0.23
Temperatura de la masa (°C)	85.8	87.4	86.9
C5			
Tiempo (min)	59.05	58.82	58.57
Par (Nm)	3.21	3.63	3.42
C5-C4 (Nm)	1.45	1.65	1.41
Temperatura de la masa (°C)	56.4	57.5	57.1
α (min/Nm)	-0.042	-0.038	0.012
β (min/Nm)	0.416	0.160	0.240
γ (min/Nm)	-0.018	0.016	0.042
Indice	6-36-657	1-23-784	1-81-5841

En la segunda parte de la curva se refleja cierta relajación de la red de gluten, para el azúcar y el sustituto, con disminución de C2, 0.35 Nm y 0.4 Nm

respectivamente, en relación a la harina base, 0.45 Nm. Mientras que en la etapa de gelatinización del almidón, reflejó ser mayor el grado cuando se usó azúcar, siendo C3-C2 igual a 1.5 Nm vs. 1.38 Nm.

En lo que respecta al momento que las masas son sometidas alrededor de 90 °C, el azúcar aumentó la estabilidad del almidón gelatinizado (C4-C3: 0.14 Nm), pero aún más lo hizo Granofiber Sweet (0.23 Nm), con respecto a la harina (-0.07).

Finalizando con la curva del Mixolab, cuando la temperatura de la masa desciende hasta alrededor de 55 °C, la retrogradación del almidón es ligeramente superior en el caso de la masa con azúcar, C5-C4: 1.65 Nm, lo cual indicaría menor vida útil para el producto terminado en comparación con la harina base (1.45 Nm) (Dubat 2010). Este dato no se correlaciona con datos bibliográficos, donde hacen referencia al agregado de azúcar a un panificado, que contribuye a extender la vida útil por incremento de la retención de la humedad, debido a la naturaleza higroscópica de los azúcares (Sluimer 2005). Tal vez a la concentración de azúcar ensayada, no sea suficientemente alta para evaluar dicho efecto.

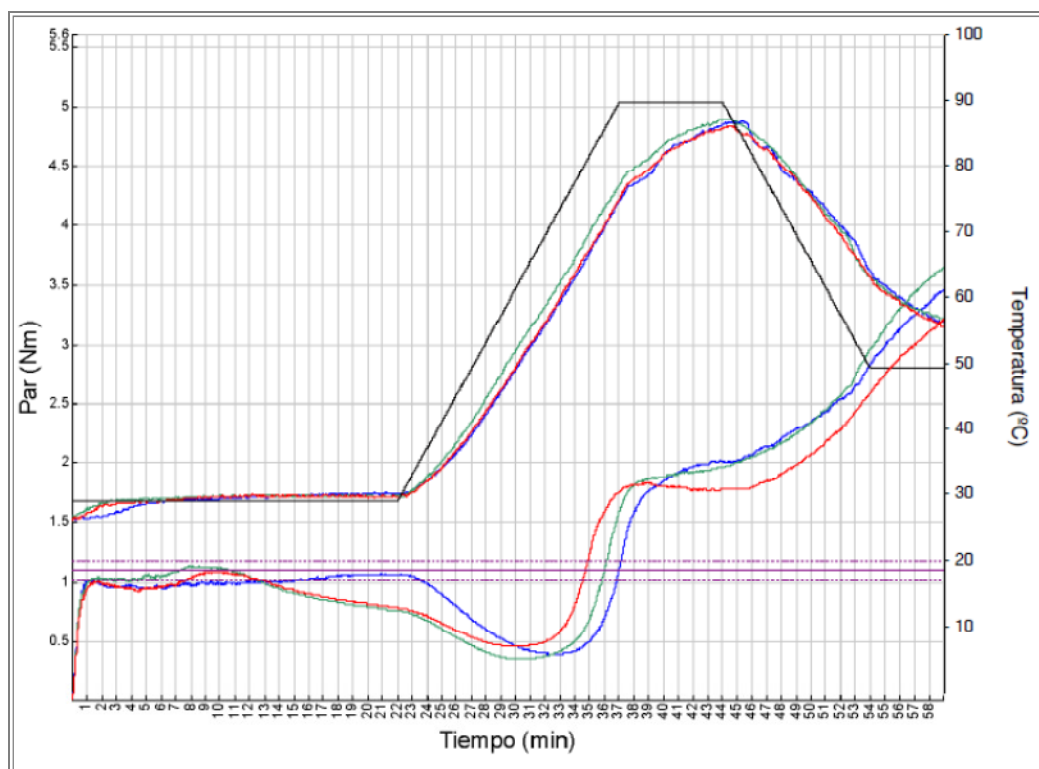


Fig. 4.3.3. Curvas de Mixolab de la harina (rojo), harina más azúcar (7.5 %) (verde), harina más Granofiber Sweet (7.5 %) (azul).

4.3.4. Evaluación de reemplazo de grasa en la panificación experimental

Se ha estudiado (Kamel & Stauffer 1993) que cuando se agrega un 6% de azúcar a un panificado, alrededor de 4.5 % es asimilado por la levadura al final de la fermentación, quedando residuos de azúcares, principalmente fructosa. Pero la tasa de asimilación de azúcares por parte de la levadura depende de la matriz de la masa. Esto podría indicar que en el pan lacteado, conteniendo 7.5 % de azúcar agregada, el azúcar que no llega a ser fermentado por la levadura queda como azúcar residual, el cual presenta ventajas en el producto final.

Tabla 4.3.4. Parámetros de panificación experimental: pan lacteado sin azúcar, pan lacteado más azúcar (7.5 %), pan lacteado más Granofiber Sweet (7.5 %).

	Pan lacteado sin azúcar	Pan lacteado más azúcar (7.5 %)	Pan lacteado más Granofiber Sweet (7.5 %)
Características de la masa			
<i>Amasado</i>			
Pegajosidad	5	5.1	5
Blandura	5	5.1	5.1
<i>Armado</i>			
Extensibilidad	5	5.1	5.1
Características del producto final			
<i>Peso</i>			
Peso horneado (g)	432	428	431
Peso específico (g/cc pan)	0.17	0.17	0.17
<i>Volumen</i>			
Volumen (cc)	2415	2550	2555
Volumen específico (cc/g pan)	5.60	5.95	5.92
Índice Volumen Específico	100	106	106
<i>Características externas</i>			
Color	5	5.2	5.1
<i>Características internas</i>			
Color	5	5	5
Alveolado	5	5.2	5.2
Textura			
<i>Firmeza (g)</i>			
Día 5	462	471	470
Día 10	905	898	908
Día 15	1410	1425	1418
<i>TPA (g)</i>			
Día 5	37	41	49
Día 10	82	77	81
Día 15	122	121	127

De hecho en la panificación experimental, se obtuvieron panes de mayor volumen específico, cuando se empleó azúcar y Granofiber Sweet, siendo de 106 cc/g para ambos casos (**Tabla 4.3.4.**). Además, ambos ingredientes contribuyeron a la promoción del color en la corteza, debido a la caramelización y la reacción de Malliard entre los azúcares reductores y las proteínas de la harina (**Fig. 4.3.4.**) (Alexander 1998). Esto permitiría menores temperaturas de cocción y horneados más corto, con mayor retención de humedad en la miga.



Fig. 4.3.4. Piezas de panes pan lacteado, pan lacteado más azúcar (7.5 %), pan lacteado más Granofiber Sweet (7.5 %).

En lo que respecta a la vida útil del producto, no se detectaron cambios significativos en las mediciones de firmeza y TPA (**Tabla 4.3.4.**) entre las tres fórmulas, a pesar de antecedentes que indicarían la extensión de la vida útil por parte del azúcar, debido a un incremento de la retención de la humedad (Sluimer 2005). Anteriormente (**4.3.4.**), en el Mixolab no se notó efecto de extensión de vida útil con el agregado de azúcar, lo mismo volvió a observarse en la panificación experimental.

4.4. La sustitución de carbohidratos en pan lacteado

La principal ventaja de reducir carbohidratos en un panificado, radica en lograr la disminución del valor energético del mismo, hasta llevarlo a un producto "light". Reducir carbohidratos implica reducir la harina de la fórmula, lo que generalmente conlleva al aporte de fibra por parte de los reemplazantes. De esta manera se lograría un pan reducido en calorías con aporte de fibra.

Sin embargo, en la práctica resulta problemático esta sustitución, ya que la disminución de harina implica reducción de gluten, y por ende menor desarrollo de masa y menor volumen de la pieza final.

En este trabajo, para lograr la sustitución de harina se trabajó con Granofiber Sym 200, un producto a base de fibras de trigo, el cual aporta 85 % de fibra dietaria total. Es empleado para incrementar los valores de fibra dietaria total, al mismo tiempo que disminuye los niveles de carbohidratos disponibles en varios sistemas alimenticios. Está destinado a la elaboración de productos panificados, galletitas, budines, bizcochuelos y tortas, a los efectos de sustituir parcialmente la harina en la formulación. La relación con la harina es 1:1.

4.4.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de carbohidratos en harina base

Cuando se ensayó en el reofermentógrafo el reemplazo de harina por el agregado de fibra, empleando Granofiber Sym 200 al 3 y 6 %, se evidenció una disminución en el desarrollo de la masa, del 10 % a la dosis más baja y de 17 % a la dosis más alta, con respecto a la harina (**Tabla 4.4.1.**).

Si bien hay un leve descenso en la producción gaseosa de ambas sustituciones (**Fig. 4.4.1.**), esta baja es muy pequeña a diferencia del desarrollo de masa. Con lo cual podría pensarse que la disminución en la masa fermentada y en la pieza final cocida (**4.4.4.**) se debe a más bien a cuestiones intrínsecas de la masa, relacionado a la red de gluten, más que temas propios de la fermentación.

Un indicador que no resultó desfavorable para Granofiber Sym 200, es que el coeficiente de retención no disminuyó, sino que se mantuvo dentro de los valores de la harina sin sustitución. Este punto resulta interesante, ya que el agregado de fibra al menos no hizo disminuir la capacidad de la masa de retener de gas.

Tabla 4.4.1. Parámetros de reofermentograma: harina, harina con Granofiber Sym 200 (3%), harina con Granofiber Sym 200 (6%). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Harina	Harina con Granofiber Sym 200 (3%)	Harina con Granofiber Sym 200 (6%)
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	37.9	34.2	31.2
h (mm)	37.5	34.2	31.2
(Hm-h)/Hm (%)	1.05	0	0
T1 (h:m)	01:31	03:00	03:00
T2 (h:m)	-----	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
H'm (mm)	68.8	64.3	63.3
T'1 (h:m)	01:55	01:58	01:52
Tx (h:m)	01:09	01:26	01:22
Volumen total (ml)	1464	1398	1400
Volumen CO2 perdido (ml)	234	204	213
Volumen de retención (ml)	1230	1194	1187
Coefficiente de retención (%)	84.0	85.4	84.7
Mixolab			
Consistencia de masa (Nm)	3.39	3.07	2.97

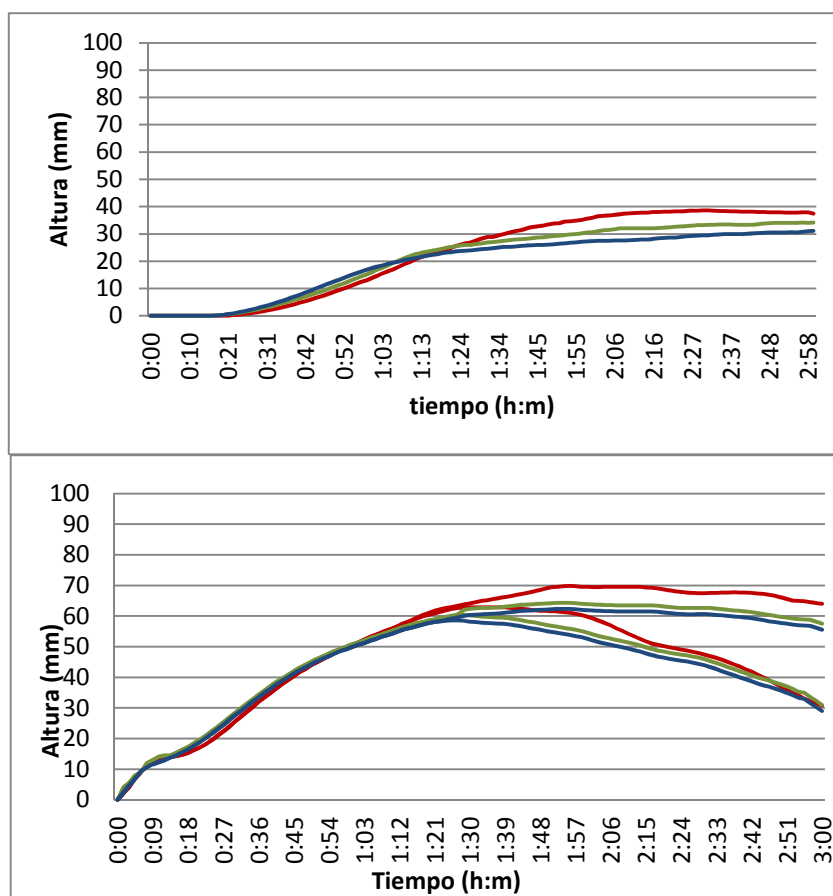


Fig. 4.4.1. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: harina (rojo), harina con Granofiber Sym 200 (3%)(verde), harina con Granofiber Sym 200 (6%) (azul).

4.4.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de carbohidratos en pan lacteado

Cuando se evaluó el reemplazo de harina en la fórmula de pan lacteado, la fermentación mostró una tendencia similar a lo visto en 4.4.1., pero con menor incidencia de Granofiber Sweet. En este caso, la baja en el desarrollo de masa fue 8 % menor con el reemplazo del 3 % de harina, y 14 % menor con el reemplazo del 6 %, en relación a la harina (Tabla 4.4.2.). Podría decirse que el efecto de agregado de fibra se ve enmascado en una fórmula completa como el pan lacteado. El cual está equilibrado para el correcto desarrollo de la pieza, gracias al aporte del núcleo Toler Miga Bollo Directo, además de la contribución del gluten incluido en la formulación.

En cuanto a la generación de gas, no se observa una disminución significativa con el agregado de Granofiber Sym 200 (Fig. 4.4.2.). Esto lleva a concluir que el menor desarrollo de masa observado no se debió a una menor capacidad fermentativa, sino a que la red de gluten menos elástica para permite un menor desarrollo de la masa.

Tabla 4.4.2. Parámetros de reofermentograma: pan lacteado, pan lacteado con Granofiber Sym 200 (3%), pan lacteado con Granofiber Sym 200 (6%). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Pan Lactal	Pan Lactal con Granofiber Sym 200 (3%)	Pan Lactal con Granofiber Sym 200 (6%)
Desarrollo de la masa			
Hm (mm)	34.9	32.0	30.0
h (mm)	34.9	32.0	30.0
(Hm-h)/Hm (%)	0	0	0
T1 (h:min)	03 00	03 00	03 00
Desprendimiento gaseoso			
H`m (mm)	38.4	39.1	37.8
T`1 (h:min)	03 00	03 00	03 00
Tx (h:m)	02:25	02:21	02:30
Volumen total (ml)	692	660	661
Volumen CO2 perdido (ml)	11	1	1
Volumen de retención (ml)	681	659	660
Coefficiente de retención (%)	98.4	99.8	99.8
Mixolab			
Consistencia de masa	1.76	2.01	2.15

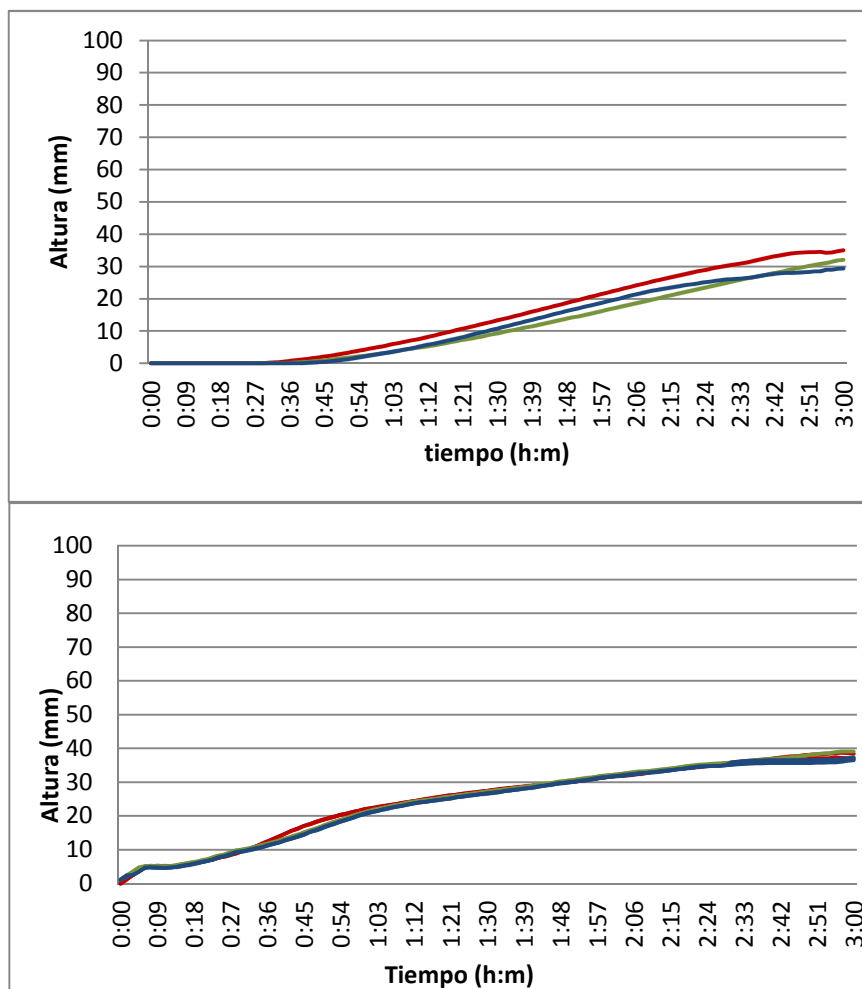


Fig. 4.4.2. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: pan lacteado sin sal (rojo), pan lacteado con Granofiber Sym 200 (3%) (verde), pan lacteado con Granofiber Sym 200 (6%) (azul).

4.4.3. Efecto del reemplazo de carbohidratos en Mixolab

El estudio del reemplazo de harina en el Mixolab, se llevó a cabo con una harina a la cual se le sustituyó un 3 % y 6 % con Granofiber Sym 200 (**Tabla 4.5.3.**). Estas pruebas reflejaron un leve aumento en la absorción de agua en las dos sustituciones (59.4 % y 61.5% vs. 58 %). También, hubo un aumento de estabilidad al amasado de 6 min aproximadamente, para ambos casos.

Cuando las masas alcanzaron los 50 °C aproximadamente, momento en que se rompen las uniones intermoleculares del gluten, se notó que el agregado de Granofiber Sym 200 provocó un aumento progresivo de C2 a medida que aumentó la concentración de dicho sustituto, registrando valores de C2 de 0.49 Nm y 0.53 Nm, cuando la harina base tuvo 0.45 Nm. Estos datos indicarían una tendencia de que el agregado de fibra

contribuye a dar mayor tenacidad al gluten, generalmente correlacionado con la disminución de la red proteica (Dubat 2010).

Tabla 4.4.3. Mixolab, protocolo Granotec 1: harina, harina con Granofiber Sym 200 (3%), harina con Granofiber Sym 200 (6%).

Mixolab	Harina base	Harina con Granofiber Sym 200 (3%)	Harina con Granofiber Sym 200 (6%)
Hidratación	58.0	59.4	61.5
C1			
Tiempo (min)	10.02	2.02	1.42
Par (Nm)	1.09	1.05	1.11
Temperatura de la masa (°C)	30.7	31.27	29.0
Amplitud (Nm)	0.08	0.10	0.12
Estabilidad (min)	13.48	19.35	19.22
C2			
Tiempo (min)	30.13	31.27	30.62
Par (Nm)	0.45	0.49	0.53
Temperatura de la masa (°C)	50.7	52.1	51.4
C3			
Tiempo (min)	38.68	37.98	37.85
Par (Nm)	1.83	1.94	2.00
C3-C2 (Nm)	1.38	1.45	1.47
Temperatura de la masa (°C)	79.4	78.5	77.4
C4			
Tiempo (min)	43.65	45.37	45.82
Par (Nm)	1.76	1.80	1.85
C4-C3 (Nm)	-0.07	-0.14	-0.15
Temperatura de la masa (°C)	85.8	85.9	85.5
C5			
Tiempo (min)	59.05	59.00	59.02
Par (Nm)	3.21	3.03	3.12
C5-C4 (Nm)	1.45	1.23	1.27
Temperatura de la masa (°C)	56.4	57.2	56.9
α (min/Nm)	-0.042	-0.074	-0.012
β (min/Nm)	0.416	0.544	0.444
γ (min/Nm)	-0.018	-0.024	-0.038
Indice	6-36-657	8-56-756	8-55-847

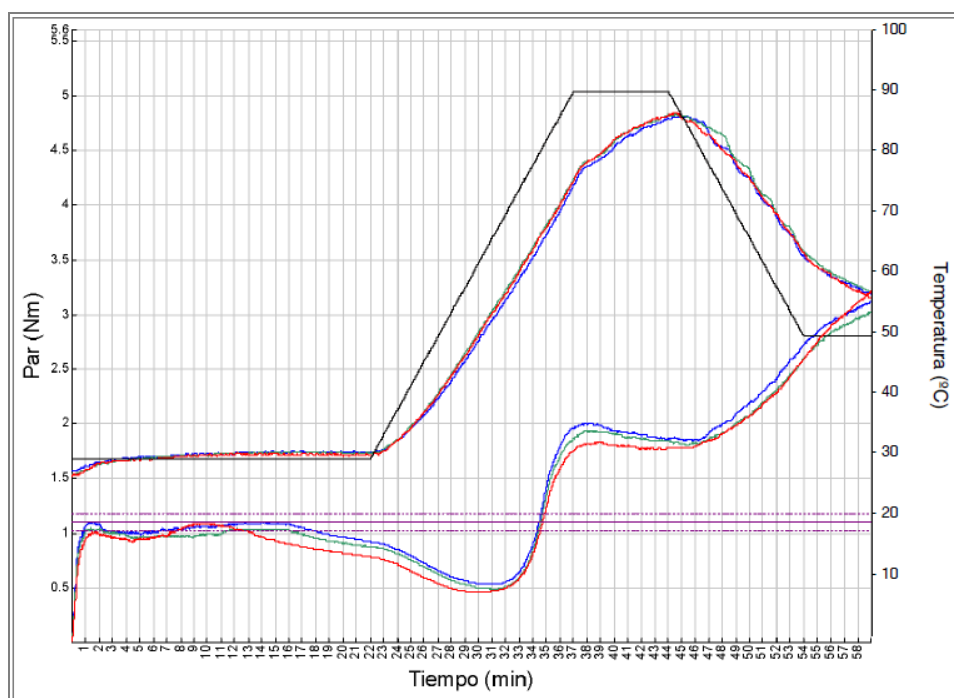


Fig. 4.4.3. Curvas de Mixolab de la harina (rojo), harina más 7% Granofiber Sym 200 (verde), harina más % Granofiber Sym 200 (azul).

Otro dato importante, es que se observó un grado de gelatinización del almidón creciente con el aumento de la concentración de Granofiber Sym 200, C3-C2, siendo 1.45 y 1.47 vs. 1.38 Nm. Para la etapa de la estabilidad del almidón, C4-C3, las diferencias fueron menores, -0.14 y -0.15 vs. -0.07 Nm. Si bien los cambios son pequeños, la tendencia es clara.

Por último, se registró una retrogradación del almidón ligeramente menor en las sustituciones (C5-C4), 1.23 y 1.27 Nm, en relación a la harina base, 1.47 Nm. El hecho de que las fibras tiene la capacidad de retener agua, podría contribuir a mejorar la vida útil del panificado. Sin embargo, esta diferencia no parece ser significativa en comparación los agentes de frescura empleados en la panificación.

4.4.4. Evaluación de reemplazo de carbohidratos en la panificación experimental

Continuando la secuencia de ensayos de sustitución de harina, se realizó la panificación experimental. En este caso, se obtuvo una disminución de volumen del 6 % para los reemplazos de 3 % y 6 % con Granofiber Sym 200 (**Tabla 4.4.4.**, **Fig. 4.5.4.**). Esta caída de volumen es inferior a la observada en el desarrollo de masa del reofermentógrafo (**4.4.2.**). Este efecto podría relacionarse a los resultados vistos en el

Mixolab, que reflejan un mayor grado de gelatinización con el sustituto, lo cual favorecería el “oven spring”. Este hecho compensaría un tanto el volumen de la pieza en el horno, con respecto a la referencia. Además, con el agregado de fibra la textura no se vió afectada durante los 15 días de vida útil, en comparación con el pan lacteado.

Tabla 4.4.4. Parámetros de panificación experimental: pan lacteado, pan lacteado con 3% Granofiber Sym 200 (3%), pan lacteado con Granofiber Sym 200 (3%).

	Pan lacteado	Pan lacteado con 3% Granofiber Sym 200	Pan lacteado con 6% Granofiber Sym 200
Características de la masa			
<i>Amasado</i>			
Pegajosidad	5	5	5
Blandura	5	4.9	4.9
<i>Armado</i>			
Extensibilidad	5	4.9	4.9
Características del producto final			
<i>Peso</i>			
Peso horneado (g)	432	429	430
Peso específico (g/cc pan)	0.17	0.18	0.18
<i>Volumen</i>			
Volumen (cc)	2560	2380	2395
Volumen específico (cc/g pan)	5.93	5.55	5.57
Índice Volúmen Específico	100	94	94
Características externas			
Color	5	5	5
Características internas			
Color	5	5.1	5.1
Alveolado	5.2	5	5
Textura			
<i>Firmeza (g)</i>			
Día 5	492	481	485
Día 10	995	988	992
Día 15	1427	1432	1435
<i>TPA (g)</i>			
Día 5	38	42	45
Día 10	92	97	96
Día 15	134	139	137



Fig. 4.4.4. Piezas de panes: pan lacteado, pan lacteado con Granofiber Sym 200 (3%), pan lacteado con Granofiber Sym 200 (6%).

4.5. La sustitución de sal en pan lacteado

La sustitución de sal no es una tarea fácil de realizar en el pan, ya que la sal presenta dos funciones principales en la masa: realzar el sabor del producto horneado y reforzar la red de gluten. Este último efecto ocurre por el hecho de que el gluten contiene proteínas cargadas negativamente, las cuales se repelen entre sí. Se cree que los iones positivos de sodio de la sal desempeñan la función de mantener las proteínas del gluten más cercanas (Mazza 2000).

Otro punto a tener en cuenta, es que la sal actúa inhibiendo la actividad de la levadura, reduciendo la producción de gas e inhibiendo también la actividad de microorganismos (control de microflora de la masa). Con lo cual al trabajar en la sustitución de sal en panificados hay varios puntos críticos a tener en cuenta.

Para evaluar el reemplazo de sal se recurrió a Granolife CV Sustisal 100 (Granotec Argentina), un sustituto de sal sin contenido de sodio. Este producto se puede utilizar en reemplazo de 100% de sal en varias matrices alimenticias. 1 g del sustituto contiene 471 mg de potasio.

4.5.1. Evaluación de la fermentación: reemplazo de sal en harina base

La levadura, por poseer una membrana semi-permeable, se deshidrata parcialmente frente a la presión osmótica. Es así que la sal presenta un efecto osmótico similar al azúcar, a diferencia que inhibe la fermentación por debajo de los niveles normales de uso (2 %) (White 1954). De hecho, al evaluar en el reofermentógrafo la capacidad fermentativa de una harina base frente a la harina conteniendo sal (2%, base harina) o el sustituto de sal, Granolife CV Sustisal 100; se observó una baja del 24 % y 20 % en el desprendimiento gaseoso (H_m), y 25 % y 23 % menor volumen total de gas producido, respectivamente (**Tabla 4.5.1.**).

El desarrollo de masa no sufrió una disminución tan brusca como en ocurrió con en CO_2 producido, los descensos fueron de 12 % para la sal y 14 % para Granolife CV 100. Es decir, que en esta parte del ensayo se compensa en cierto grado, el efecto reforzador de sodio sobre la red de gluten, o del potasio en el caso del sustituto.

Otro punto que se notó, fue que el desarrollo de masa de la harina base comenzó 8 minutos antes que la sal y el sustituto. Esto se correlaciona con una tasa de fermentación mucho mayor en los primeros minutos con respecto a las sustituciones, eventualmente debido al medio más favorable que se genera para la levadura, con menor presión osmótica, y una la adaptación más rápida (Fig. 4.4.1.).

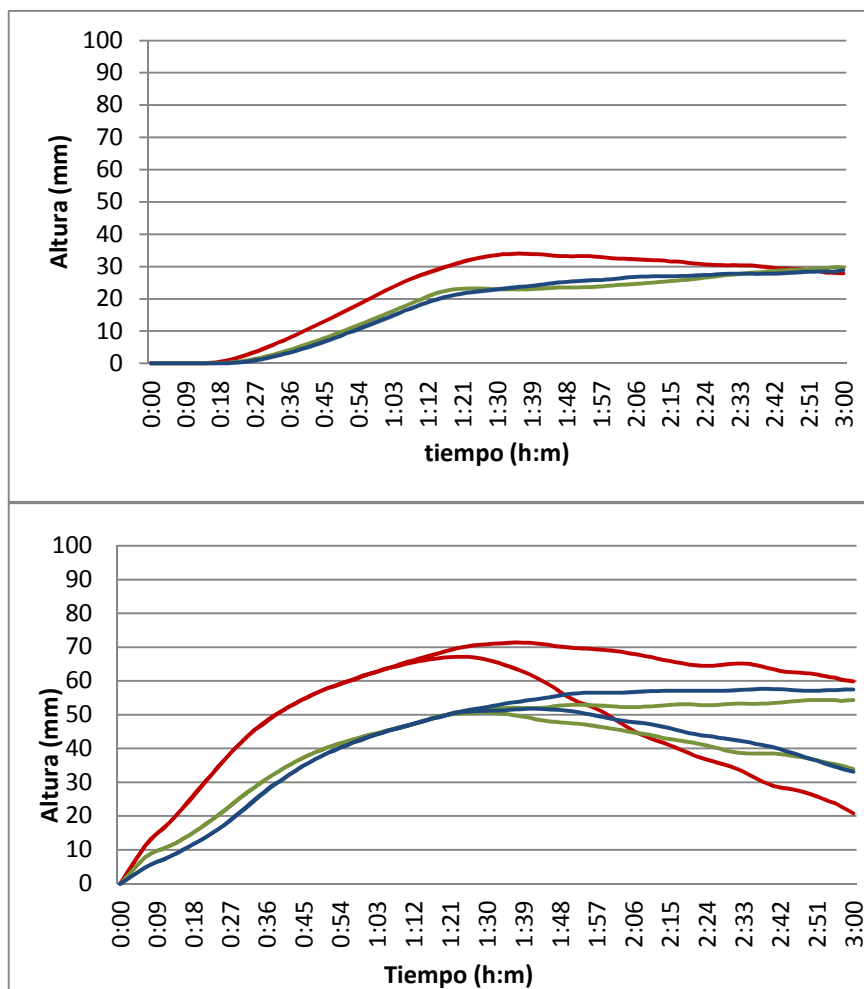


Fig. 4.5.1. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: harina base (rojo), harina base más sal (2%) (verde), harina base más Granolife CV Sustisal 100 (2%) (azul).

Tanto la sal como el sustituto, mejoraron la estabilidad a la fermentación (h en relación a Hm), mientras que la harina base tuvo una caída de 18 %, a partir de 1:32 h:m. Por otro lado, se vió un aumento del coeficiente de retención, subió de 78.3 % a 87.9 % y 86.1%, esto probablemente se debió a un menor stress gaseoso en la red de gluten.

Tabla 4.5.1. Parámetros de reofermentograma: harina, harina más sal (2%), harina más Granolife CV Sustisal 100 (2%). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Harina sin sal	Harina más sal (2%)	Harina más Granolife CV Sustisal 100 (2%)
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	33.9	29.9	28.9
h (mm)	27.8	29.7	28.9
(Hm-h)/Hm (%)	18	0.7	0
T1 (h:m)	01:37	03:00	03:00
T2 (h:m)	02:58	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
H`m (mm)	71.4	54.3	57.7
T`1 (h:m)	01:37	02:49	02:37
Tx (h:m)	01:07	01:22	01:24
T2-Tx (h. min)	01:51	-----	-----
Volumen total (ml)	1600	1204	1227
Volumen CO2 perdido (ml)	348	146	170
Volumen de retención (ml)	1256	1058	1057
Coefficiente de retención (%)	78.3	87.9	86.1
<i>Mixolab</i>			
Consistencia de masa (Nm)	3.39	2.87	2.77

4.5.2. Evaluación de la fermentación: reemplazo de sal en pan lacteado

En la fórmula de pan lacteado se observaron los mismos efectos que en la harina base con el agregado de sal y Granolife CV Sustisal 100, aunque con mayor grado de incidencia. Se detectó una baja en el Hm, del 40 % en el caso de la sal y del 34 % en el caso del sustituto. Lo mismo para la producción gaseosa bajó el H`m 29 % y 27 % respectivamente (**Tabla 4.5.2.**).

Es decir que la suplementación de sal y Granolife CV Sustisal 100 baja considerablemente la capacidad fermentativa de la levadura, y sus efectos se ven más marcado en la fórmula de pan lacteado. Probablemente, esto sea debido a la suma de efectos osmóticos de varios compuestos, como es el caso del propionato de calcio, que justamente se utiliza como antimicótico en panificados (**Fig. 4.5.2.**).

Tabla 4.5.2. Parámetros de reofermentograma: pan lacteado sin sal, pan lacteado más sal (2%), pan lacteado más Granolife CV Sustisal 100 (2%). Consistencia en las masas medidas en el Mixolab.

	Pan lacteado sin sal	Pan lacteado más sal (2%)	Pan lacteado más Granolife CV Sustisal 100 (2%)
<i>Desarrollo de la masa</i>			
Hm (mm)	57.9	35	38.2
h (mm)	57.9	35	38.2
(Hm-h)/Hm (%)	0	0	0
T1 (h:m)	02:57	03:00	03:00
T2 (h:m)	-----	-----	-----
δT2 (h:m)	-----	-----	-----
<i>Desprendimiento gaseoso</i>			
H' m (mm)	54.6	38.7	40
T' 1 (h:m)	02:45	02:57	02:58
Tx (h:m)	02:19	-----	-----
T2-Tx (h:m)	-----	-----	-----
Volumen total (ml)	1029	693	721
Volumen CO2 perdido (ml)	31	12	6
Volumen de retención (ml)	998	681	715
Coefficiente de retención (%)	97	98.3	99.2
Mixolab			
Consistencia de masa (Nm)	1.91	1.79	1.85

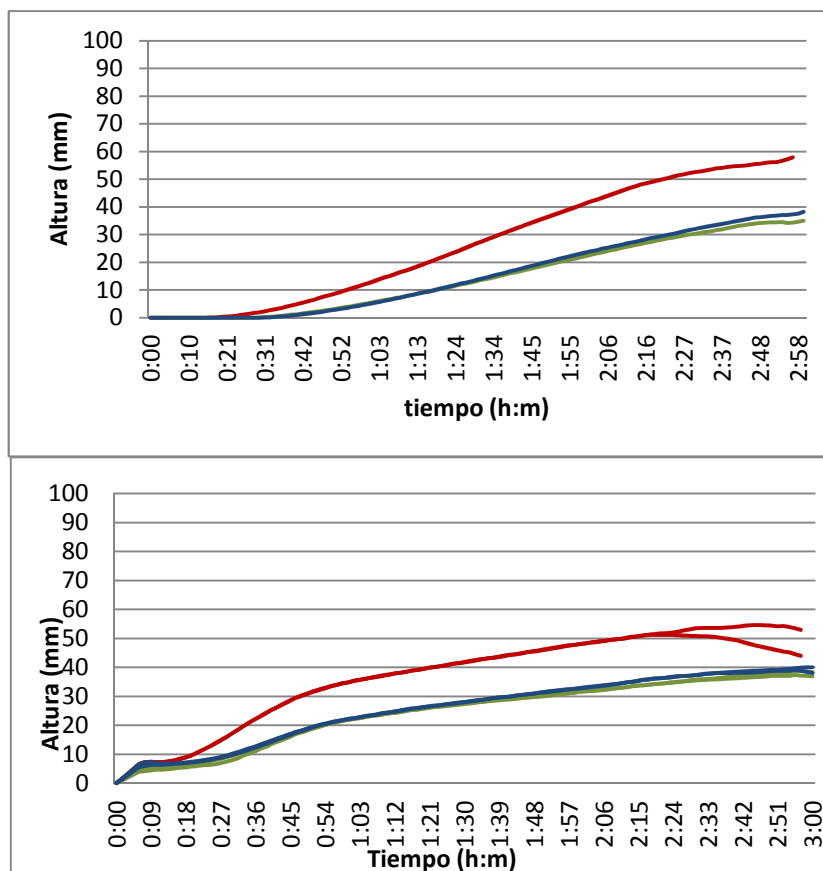


Fig. 4.5.2. Curva desarrollo de masa (arriba) y curva de desprendimiento gaseoso (abajo) de: lacteado sin sal (rojo), lacteado más sal (2%) (verde), lacteado base más Granolife CV Sustisal 100(2%) (azul).

No obstante, en la panificación experimental (4.5.4.) los volúmenes de las piezas finales no sufrieron una caída tan brusca como se observó en los reofermentogramas. Eventualmente, los panes adquirieron cierta recuperación en el horneado, relacionado con el refuerzo de la red de gluten.

4.5.3. Efecto del reemplazo de sal en Mixolab

Al considerar en el Mixolab el efecto de la sal y de Granolife CV Sustisal 100, al 2%, en comparación la harina base, se advirtió una disminución de dos puntos en la absorción y un gran aumento de la estabilidad al amasado, de 10 min, para ambos casos (Tabla 4.5.3.). Por otro lado, los valores de C2 fueron muy similares en las tres pruebas, aunque levemente inferior para el caso de la sal (Fig. 4.4.3.).

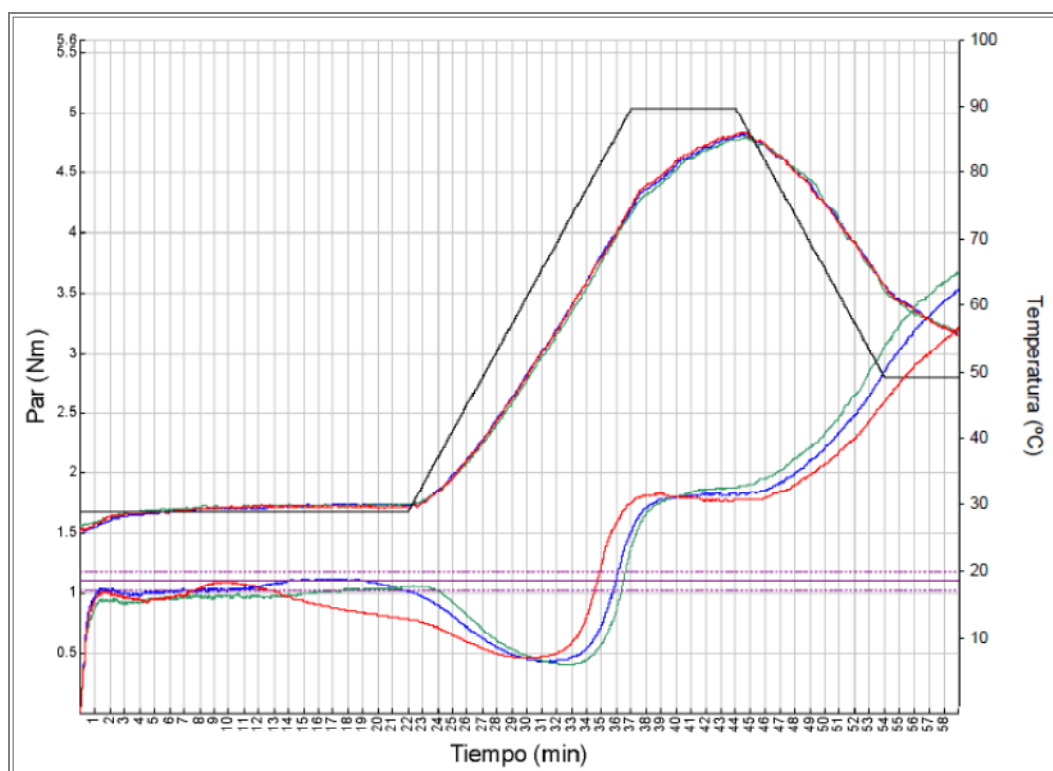


Fig. 4.5.3. Curvas de Mixolab de la harina (rojo), harina más sal (2%) (verde), harina más Granosalt CV Sustisal 100 (2%) (azul).

La retrogradación del almidón, se observó sutilmente inferior con la sal y el sustituto, C3-C2 de 1.32 Nm vs 1.38 Nm para la harina base. Y en cuanto a la estabilidad del almidón gelatinizado, C4-C3, fue mayor para la sal (0.16 Nm) y luego el sustituto (0.06 Nm), y por último la referencia (-0.07

Nm). Otro efecto visto, fue un aumento de retrogradación del almidón en las dos sustituciones (C5-C4: 1.76 Nm y 1.70 Nm vs 1.45 Nm).

Tabla 4.5.3. Mixolab, protocolo Granotec 1: harina, harina más sal (2%), harina más Granolife CV Sustisal 100 (2%).

Mixolab	Harina	Harina más sal (2%)	Harina más Granolife CV Sustisal 100 (2%)
Hidratación	58.0	56.3	56.1
C1			
Tiempo (min)	10.02	22.37	16.25
Par (Nm)	1.09	1.06	1.11
Temperatura de la masa (°C)	30.7	31.3	30.9
Amplitud (Nm)	0.08	0.04	0.06
Estabilidad (min)	13.48	23.97	22.05
C2			
Tiempo (min)	30.13	32.47	31.03
Par (Nm)	0.45	0.41	0.44
Temperatura de la masa (°C)	50.7	57.7	53.9
C3			
Tiempo (min)	38.68	38.60	38.55
Par (Nm)	1.83	1.73	1.76
C3-C2 (Nm)	1.38	1.32	1.32
Temperatura de la masa (°C)	79.4	78.0	78.6
C4			
Tiempo (min)	43.65	44.03	44.15
Par (Nm)	1.76	1.89	1.82
C4-C3 (Nm)	-0.07	0.16	0.06
Temperatura de la masa (°C)	85.8	85.2	85.8
C5			
Tiempo (min)	59.05	58.68	58.88
Par (Nm)	3.21	3.65	3.52
C5-C4 (Nm)	1.45	1.76	1.7
Temperatura de la masa (°C)	56.4	56.9	56.5
α (min/Nm)	-0.042	0.010	0.010
β (min/Nm)	0.416	0.294	0.228
γ (min/Nm)	-0.018	0.036	0.016
Indice	6-36-657	2-82-574	2-82-564

4.5.4. Evaluación de reemplazo de sal en la panificación experimental

Se validó los ensayos previos con la panificación experimental (**Tabla 4.5.4.**), donde el volumen específico bajó 7 % con el agregado de sal y 6 % con el agregado de Granolife CV Sustisal 100. Esta baja en volumen no fue tan fuerte como los resultados vistos en el reofermentógrafo. Por lo que, los estudios previos como reofermentograma y Mixolab pueden dar una tendencia del efecto de un ingrediente, pero al final la panificación, es el ensayo global que muestra los resultados directos de aplicación.

Tabla 4.5.4. Parámetros de la panificación experimental: pan lacteado sin sal, pan lacteado más sal (2%), pan lacteado base más Granolife CV Sustisal 100 (2%).

	Pan lacteado sin sal	Pan lacteado con sal (2%)	Pan lacteado con Granolife CV Sustisal 100 (2%)
Características de la masa			
<i>Amasado</i>			
Pegajosidad	5	5	5
Blandura	5	5	5
<i>Armado</i>			
Extensibilidad	5	4.9	5
Características del producto final			
<i>Peso</i>			
Peso horneado (g)	429	428	431
Peso específico (g/cc pan)	0.16	0.17	0.17
<i>Volumen</i>			
Volumen (cc)	2682	2502	2513
Volumen específico (cc/g pan)	6.25	5.84	5.87
Índice Volumen Específico	100	93	94
<i>Características externas</i>			
Color	5	5.2	5.2
<i>Características internas</i>			
Color	5	5	5
Alveolado	5	5	5
Textura			
<i>Firmeza (g)</i>			
Día 5	583	591	579
Día 10	927	932	918
Día 15	1395	1401	1405
<i>TPA (g)</i>			
Día 5	42	41	48
Día 10	91	89	86
Día 15	125	121	117

En cuanto a las características del producto terminado, el pan sin sal tuvo una corteza de color más claro. Esto podría explicarse por el hecho de que la sal baja la tasa de fermentación, por lo que cuando no hay sal, la actividad de la levadura se incrementará, es decir, la levadura metabolizará más azúcar en un período de tiempo dado. Como resultado, habrá menos azúcares que quedan en la masa y el pH de la masa será menor. Los azúcares juegan (junto con las proteínas, humedad y calor) un papel importante en la reacción de Maillard (Barreiro & Sandoval 2006, Coultate 2009). Pero esta reacción también se ve influida por el pH, un pH más alto acelerará la reacción. Así, en el caso del uso de la sal y el sustituto, el pH de la masa sería mayor y con más azúcares residuales, dando un color de corteza más oscuro.



Fig. 4.5.4. Piezas de panes pan lacteado, lacteado sin sal, lacteado más 2% sal, lacteado base más 2 % Granolife CV Sustisal 100.

Por otro lado, si la sal se sustituye por cloruro de potasio, el pan tenderá a tener un sabor metálico. Esto desaparece en gran medida después de 2 ó 3 días. No obstante, Granolife CV Sustisal 100 contiene un enmascarador de sabor para aplacar el sabor característico del cloruro de potasio, por cual en la práctica el sabor resultó similar al agregado de sal.

Capítulo 5:

Conclusiones

5.1. Conclusiones parciales

- ✓ En el presente estudio, mediante el uso de harinas con características adecuadas para la elaboración de pan lacteado, fue posible evaluar la influencia de distintos ingredientes presentes en la formulación y sus correspondientes sustitutos. Es así que, en términos generales, se podría decir que las harinas con cenizas inferiores a 0.650 %, gluten húmedo con un nivel de 28 %, W de 300 10-4 J, y P/L de 1.2, se encuentran dentro de las especificaciones para que el proceso ocurra adecuadamente y finalmente dé un producto conforme al tipo del pan lacteado.
- ✓ Al evaluar en el reofermentógrafo el efecto de la adición grasa (3% base harina) y el sustituto Toler Fat Less Saladas (0.6% base harina, más 2.4 % de agua), no se vieron efectos significativos sobre el proceso de fermentación, tanto en evaluación de la harina base como en el pan lacteado. Sólo en la evaluación en la harina se observó un desarrollo de masa ligeramente superior para el sustituto; sin embargo, al final de la fermentación todas las pruebas resultaron similares en el crecimiento de la masa y en el desprendimiento gaseoso. No obstante, la grasa y el sustituto mantuvieron la tolerancia a la fermentación.
- ✓ El efecto más significativo que aportó el agregado de grasa y Toler Fat Less Saladas, se notó en la panificación experimental, en la estructura de la miga del producto terminado. Si bien los volúmenes de las piezas fueron similares, los panes que incluyeron la grasa o el sustituto presentaron una miga más pareja, con alveolos homogéneos. Asimismo, el efecto de la grasa y el sustituto indicó directamente sobre la frescura del pan, principalmente en los primeros 5 días de vida útil.
- ✓ En cuanto a la incorporación de azúcar o el sustituto Granofiber Sweet (7.5% base harina) ya sea a una harina base o a una fórmula de pan lacteado, se observó un aumento del desarrollo de masa y en la cantidad de CO₂ producido por la levadura, durante la fermentación. Es decir, que en estos casos el aumento del desarrollo de masa estaría ligado a una mayor capacidad

fermentativa por parte de la levadura, como consecuencia de una mayor disponibilidad de azúcares reductores aportados por estos ingredientes. Además, con el agregado de azúcar y el sustituto se produjeron fermentaciones sostenidas e incremento del coeficiente de retención gaseosa.

- ✓ En la panificación experimental el agregado de azúcar y Granofiber Sweet reflejaron un incremento de rendimiento del producto final por el agregado de azúcar o de Granofiber Sweet. Por otro lado, no se registraron aporte de frescura por parte de estos ingredientes, en los 15 días de vida útil.
- ✓ El reemplazo de harina (3 y 6 %) por Granofiber Sym, a nivel de la fermentación, mostró una disminución del desarrollo de masa con respecto a la harina base, con mayor caída cuando el reemplazo fue del 6 %, mientras que la disminución de producción de CO₂ fue más leve para ambas sustituciones. Bajo esta situación, podría estar ocurriendo que al bajar el contenido de harina, también disminuye la cantidad de gluten, la red de gluten desarrolla menos y por lo tanto la masa presenta menor desarrollo. No obstante, con el agregado del sustituto, se mantuvo el coeficiente de retención gaseosa. Es decir, que a pesar de la disminución de gluten, este producto compensa la capacidad de la masa de retener gas.
- ✓ Cuando el reemplazo de harina se evaluó en la fórmula completa del pan lacteado, Granofiber Sym 200 presentó mejor performance que en el estudio de harina, si bien hubo una baja en el desarrollo de masa. Podría deberse al hecho de que en la fórmula completa contiene aditivos que mejoran la elasticidad del gluten, tales como Toler Miga Bollo directo, a base de oxidantes químicos y complejos enzimáticos; además de la contribución del gluten vital de trigo que se incorpora de la formulación del pan.
- ✓ En la panificación experimental, se detectó menor volumen de las piezas cocidas para 3 y 6 % de reemplazo de harina. Si bien en los ensayos del reofermentógrafo las bajas de volumen fueron mayores, posiblemente en la cocción, el “oven spring” se hace preponderante por el efecto de aumento de la

gelatinización del almidón dado por Granofiber Sym 200, esto haría que la caída de volumen no sea tan grande.

- ✓ Al evaluar la capacidad fermentativa de una harina en comparación con el agregado de sal y del sustituto de sal, Granosalt CV Sustisal 100, se observó que el efecto de presión osmótica sobre la levadura generada por la sal y el sustituto, provocó una importante reducción de la producción de gas, y en menor medida disminuyó el desarrollo de masa. Probablemente el efecto reforzador del sodio o del potasio (en el caso del sustituto) sobre la red de gluten, compensaría en cierto grado el desarrollo de la masa. Este mismo efecto reforzador se vió en la estabilidad al amasado y en la tolerancia a la fermentación. Por otro, la sal y el sustituto provocaron un aumento en la retención gaseosa durante la fermentación, probablemente debido a un menor stress gaseoso.

- ✓ Con la sal y el sustituto, la caída de desarrollo de masa y de producción gaseosa fue mayor cuando se estudió en la fórmula de pan lacteado. Eventualmente, podría estar incidiendo la acción antimicótica del propionato de calcio, contenido en la fórmula, que en acción sinérgica con el sodio o el potasio aumentarían aún más la presión osmótica sobre la levadura.

- ✓ La validación en la panificación experimental, demostró que la sal y Granolife CV Sustisal 100 provocaron una baja en el volumen de pieza. Esta disminución no fue significativamente tan grande como lo visto en el desarrollo de masa en el reofermentógrafo. Es decir, que si bien la sal y el sustituto afectan considerablemente la capacidad fermentativa de la levadura, las piezas recuperan relativamente bien el volumen en el horno, donde se fija la estructura de la miga en contexto de una red de gluten más reforzada.

5.2. Conclusiones generales

- ✓ Los productos evaluados en este trabajo, Toler Fat Less Saladas, Granofiber Sweet, Granofiber Sym 200 y Granosalt CV Sustisal 100, mostraron una

performance similar a los correspondientes ingredientes, grasa, azúcar y sal, tanto en el proceso fermentativo como en la panificación experimental. Con lo cual permitirían la formulación de un panificado hasta 25 % reducido en calorías, para poder ser rotulado como “light”, “sin adición de sal” “con alto contenido de fibra” (CAA Cap. V, Art. 235). Estas pruebas deberían llevarse a cabo en una producción a nivel industrial, para confirmar que los reemplazos correspondientes contribuyen a generar un pan tipo lacteado dentro de las expectativas del consumidor final.

Referencias

Referencias

AACC 2001. Annual meeting.

AACC 76-33. Damaged Starch. Amperometric Method by SDmatic

AACC 74-09. Texture profile analysis type assessment of fresh bread.

Add K, Coahran DR, Pomeranz Y. 1990. A new parameter related to loaf volume based on the first derivative of the Alveograph curve. *Cereal Chemistry*, 67 (1).

Alexander RJ.1998. Sweeteners: nutritive. St Paul: Eagan Press.

Akoh CC. 1995. Lipid-based fat substitutes. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 35(5):405-30.

Ascherio A. 2006 Trans fatty acids and blood lipids. *Atherosclerosis supplements*, 7:25-27.

Asp NG. 1992. Preface: resistant starch. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46:S1.

Attia EA, Shehata HA, Askar A. 1993. An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. *Food Chemistry*, 48:169-172.

Barreiro Méndez, J.A., y Sandoval Briseño, A.J. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Equinoccio: Caracas.

Bender DA. 2010. Diccionario de Nutrición y Tecnología Alimentaria. 7ª Edición. Acribia.

Bloksma AH. 1990. Reology of the bread making process. *Cereal Foods World*, 35:228.

Bourne M. 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Academy Press.

Bray GA, Paeratakul S, Popkin BM. 2004. Dietary fat and obesity: a review of animal, clinical and epidemiological studies. *Physiology & Behavior*, 83: 549-555.

Brock. 2003. Biología de los microorganismos. 10^a Edición. Pearson.

Brown IL, McNaught KJ, Moloney E. 1995. Hi-Maize: new directions in starch technology and nutrition. *Food Australia*, 47: 272-275.

Cauvain SP, Young LS. 2007. Technology in Breadmaking. 2^a Ed. Springer Science.

Cho SS, Prosky L, Dreher M. 2005. Complex Carbohydrates in Foods. Taylor & Francis e-Library.

Chopin. 1996. Reofermentógrafo, Manual del equipo. Tripette & Renaud, Francia.

Chopin. 2012. Mixolab, Manual de aplicaciones. Tripette & Renaud, Francia.

Coultate, Tom. 2009. Food: The chemistry of its components. RSC Publishing Londres. pp. 30-33.

Código Alimentario Argentino. Capítulo IX, Alimentos farináceos. Cereales, harinas y derivados. Art 661. Res 167, 26.1.82.

Czuchajowska Z, Pomeranz Y. 1993. Gas formation and gas retention. The system and methodology. *Cereal Food Worlds*, 449.

Delay ER, Beaver AJ, Wagner KA, Stapleton JR, Harbaugh JO, Catron KD, Roper SD. 2000. Taste preference synergy between glutamate receptor agonists and inosine monophosphate in rats. *Chem Senses.*, 25(5):507-15.

Doerry W. 1995. Breadmaking technology. American Institute of Baking.

Dorland B. 2005. Diccionario Médico Ilustrado Dorland. 30^a Edición. Mac Graw-hill.

Dubat A. 2010. A new AACC international approved method to measure rheological properties of a dough sample. *Cereal Foods World* 55(3):150-153.

Evans, I. 1990. Yeast strains for baking: recent developments. In *Yeast Technology* ed. Spencer, J.F.T. and Spencer, D.M. pp. 13-54. Berlin: Springer Verlag.

FDA. 1996. Food additives permitted for direct addition to food for human consumption: Olestra. Final rule. Food and Drug Administration, U.S. Dept. Health and Human Services, Fed. Reg. 61(20): 3118-3173.

Field AE, Coakley EH, Must A, Spadano JL, Laird N, Dietz WH, Rimm E, Colditz GA. 2001. Impact of overweight on the risk of developing common chronic diseases during a 10-year period. *Arch Intern Med.* 2001 Jul 9;161(13):1581-6.

Fuke S, Konosu S. 1991. Taste-active in some food: a review of Japanese research. *Physiol Behav.* 49(5):863-8.

Functional Food Science in Europe. 1998. *British Journal of Nutrition*, 80(1):S1-S193.

Gascon S, Neumann NP, Lampen JO. 1968. Comparative study of the properties of the purified internal and external invertases from yeast. *J. Biol. Chem.* 243:1573-1577.

Giese J. 1996. Fats, oils, and fat replacers. *Food Technol.* 50(4): 78-84.

Halam DW, James WPT. 2005. Obesity. *Lancet*, 366:1197-1209.

Hayman A, Sipes K, Hosney RC, Faubion JM. 1998. Factors controlling gas cell failure in bread dough. *Cereal Chem.*, 69,17.

He H, Hosney RC. 1992. Factors controlling gas retention in nonheated doughs. *Cereal Chem.* 53, 338.

Hicsasmaz Z, Yazgan Y, Bozoglu F and Katnas Z. 2003. Effect of polydextrose-substitution on the cell structure of the high-ratio cake system. *Lebensmittel Wissenschaft Technol.*, 36: 441-450.

Hoseney RC. 1984. Gas retention in bread doughs. *Cereal Foods World*, 29:305-308.

Innova Database Food and Beverage www.innovadatabase.com.

Kamel BS, Stauffer CE. 1993. *Advances in baking technology*. Blackie Academic & Professional.

Lin SD, Lee CC. 2005. Qualities of chiffon cake prepared with indigestible dextrin and sucralose as replacement for sucrose. *Cereal Chemistry*, 82: 405-413.

Lim SH, Ryu JM, Lee H, Jeon JH, Sok DE, Choi ES. 2011. Ethanol fermentation from Jerusalem artichoke powder using *Saccharomyces cerevisiae* KCCM50549 without pretreatment for inulin hydrolysis. *Bioresour.Technol.* 102:2109 -2111.

Livesey G. 2003. Health potential polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycemic properties. *Nutrition Research Reviews*, 16: 163-191.

Lucca PA, Tepper BJ. 1994. Fat replacers and the functionality of fat in foods. *Trends in Food Science & Technology*. 5, 1,12-19.

Mazza G. 2000. *Alimentos funcionales. Aspectos bioquímicos y procesado*. Acribia.

McCleary BV, Brown IL. 2004. Novel dietary fiber: the importance of carbohydrates in the diet. *Journal of AOAC International*, 87: 681.

Moayyedi P. 2008. The epidemiology of obesity and gastrointestinal and other diseases: an overview. *Digestive Diseases and Science*, 53: 2293-2299.

Moodie CP, Stauffer CE, Yingling G. 1998. Enzymes. Eagan Press Handbook Series.

Myers DK, Lawlor DTM, Attfield PV. 1997. Influence of invertase activity and glycerol synthesis and retention on fermentation of media with a high sugar concentration by *Saccharomyces cerevisiae*. Applied and Environmental Microbiology 63, 145-150.

Nagodawithana, T.W. and Trivedi, N. 1990. Yeast selection for baking. In Yeast Strain Selection ed. Panchal, C.J. pp. 139-184. New York: Marcel Dekker.

Norma IRAM 15850, Versión 2001.

Norma IRAM 15851, Versión 2001.

Norma IRAM 15857 / ISO5530 / ICC121 / AACC54-30^a, Versión 2001/1992/1999.

Norma IRAM 15862/ ICC 107/1/ AACC 56-81B, Versión 2003/1995/1999.

Norma IRAM 15864, Versión 2002.

Oda Y & Ouchi K. 1990. Effect of invertase activity on the leavening ability of yeast in sweet dough. Food Microbiology 7, 241-248.

Olinge PM, Velasco VS. 1996. Opportunities and advantages of sugar replacement. Cereal Foods World, 41:110-117.

OMS. 2010. Estadísticas Sanitarias Mundiales 2010.

Potus J, Poiffait A, Drapron R. 1994. Influence of dough making conditions on the concentration of individual sugar and their utilization during fermentation. Cereal Chem., 71, 505-508.

Reed G, Nagodawithana TW. 1991 Yeast Technology. New York: Van Nostrand Reinhold.

Roller S, Jones SA. 1996. Handbook of fat replacers. CRC Press.

Schorr-Galindo S, Ghommidh C, Guiraud JP. 2000. Influence of yeast flocculation on the rate of Jerusalem artichoke extract fermentation. *Curr.Microbiol.* 41:89 –95.

Sgarbieri VC, Pacheco MTB. 1999. Revisao: Alimentos Funcionais Fisiologicos. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2,7-19.

Sluimer P. 2005. Principle of breadmaking: functionality of raw materials and process steps. St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, Inc.

Tannahill R. 1973. Food in History. Stein and Day.