



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**“ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE ENZIMAS MALTOGÉNICAS A
UN PROCESO PREGELATINIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE
PAN DE CAJA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE QUIMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ROSARIO RODRIGUEZ NARANJO

(NO. DE CUENTA 1620866)

ASESOR DE TESIS:

Dr. DANIEL DÍAZ BANDERA

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL



RESUMEN

RESUMEN

Estudio de la aplicación de enzimas maltogénicas a un proceso pregelatinizado para la elaboración de pan de caja.

Asesor: Daniel Díaz Bandera

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química, Campus Universitario” El Cerrillo”, El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, CP. 50200. danidi_2000@gmail.com

En este estudio se caracterizaron desde el punto de vista físico y de textura seis formulaciones de masas para la elaboración de pan de caja, que incluyeron enzimas maltogénicas, y masa pregelatinizada, según fue el caso. La caracterización física incluyó la determinación de pH, color, densidad, producción de CO₂, y la textura de los panes. Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las variables de color, densidad, y resiliencia en rebanadas, y sí existen para las variables de dureza del pan completo, CO₂, pH, tamaño de alvéolos, dureza de rebanadas y resiliencia en pan completo. Los tratamientos con mayor similitud al testigo estudiado fueron los T2 (control + enzimas maltogénicas) y T3 (control + enzimas maltogénicas + pregelatinizado de 5 min). Con lo anterior se concluye que la mejor opción de formulación es utilizar un pregelatinizado de 5 minutos, donde las enzimas no manifiestan un efecto significativo en las características finales del producto panario.

Palabras clave: enzimas maltogénicas, masa pregelatinizada, pan de caja

ABSTRACT

Study of the application of maltogenic enzymes to a pregelatinized process for the production of box bread.

Daniel Díaz Bandera

Autonomous University of the State of Mexico. Faculty of Chemistry, University Campus "El Cerrillo", El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, State of Mexico, CP. 50200. danidi_2000@hotmail.com

In this study, six formulations of white bread dough, using maltogenic enzymes and pregelatinized dough, were characterized according to their physical and textural point of view. Physical characterization included the determination of pH, color, density, CO₂ production, hardness and resilience in breads. Results indicated that there were no significant differences ($P \leq 0.05$) for color, density, and resilience in slices, but significant differences were found for hardness of whole bread, CO₂, pH, cell's size, hardness of slices and resilience in complete bread. The treatments with the greatest similarity to the control studied were T2 (control + maltogenic enzymes) and T3 (control + maltogenic enzymes + pregelatinized 5 min). Considering the above mentioned it is concluded that the best formulation consisted in 5 minutes pregelatinized starch; where the maltogenic enzymes do not manifest a significant effect in the final characteristics of the bread product.

Key Word: maltogenic enzymes, pregelatinized dough, white bread.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	ii
RESUMEN	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE GENERAL	vi
Índice de cuadros	viii
INTRODUCCIÓN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
HIPÓTESIS	4
III. HIPÓTESIS	5
JUSTIFICACIÓN	6
IV. JUSTIFICACIÓN	7
REVISIÓN DE LITERATURA	8
V. REVISIÓN DE LITERATURA	9
5.1 Trigo.....	9
5.2 Composición química del trigo y de la harina	10
5.3 Amilasas en la panificación	13
5.4 Almidones modificados con pregelatinización	14
5.5 Gelatinización	15
5.6 Ventajas del uso de almidones modificados	16
5.7 Formulación general de un pan de caja	16
5.7.1 Harina de trigo	16
5.7.2 Agua.....	17
5.7.3 Levadura.....	17
5.7.4 Grasa vegetal	18

5.7.5 Sal	18
5.8 Análisis del perfil de la textura.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS	22
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
6.1 Materiales	23
6.2 Métodos	23
6.2.1 Preparación de la fórmula control	24
6.2.2 Preparación de la fórmula con enzimas maltogénicas.....	25
6.2.3 Preparación de los tratamientos con harina de trigo pregelatinizada.....	25
6.2.3.1 Hidratación	25
6.2.3.2 Pregelatinización (preg)	25
6.2.4 Preparación de la masa maltogénica con harina de trigo pregelatinizada	26
6.2.5 Preparación de los tratamientos con harina de trigo pregelatinizada.....	26
6.3 Fermentación y horneado.....	27
6.4 Determinación de CO ₂ producido por la masa (volumen)	29
6.5 Determinación de pH superficial al pan completo y en rebanadas	29
6.6 Determinación del Color	30
6.7 Determinación de la densidad del pan de caja	30
6.8 Determinación del tamaño de alveolo	30
6.9 Determinación de textura al pan	31
<i>Diseño experimental</i>	<i>32</i>
VII Diseño experimental.....	33
VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
8.1 Color	38
8.1.1 Componente L*	38
8.1.3 Componente de color b*	42
8.2 Densidad.....	43
8.3 Resilencia en rebanadas.....	45
8.4 Dureza del pan	47
8.5 Determinación de CO ₂ producido por la masa (volumen)	49
8.7 Tamaño de alvéolos	51
8.8 Dureza en rebanadas.....	54
8.9 Resilencia del pan completo	57
IX CONCLUSIONES	60

REFERENCIAS.....	61
X REFERENCIAS	62

Índice de cuadros

Cuadro No. 1 Formulación base para pan de caja	24
Cuadro No. 2 Tiempo de pregelatinizado	26
Cuadro No. 3 Análisis de Varianza ($P \leq 0.05$) para las variables color L*,	35
Cuadro No. 4 Análisis de Varianza ($P \leq 0.05$) para las variables CO ₂ (cm ³) pH, tamaño de alvéolos (mm ²), dureza (N) y resiliencia.	36
Cuadro No. 5 Resultados de las medias de los tratamientos para las variables color, densidad, tamaño de alvéolos, dureza en pan y en rebanadas, resiliencia en pan y en rebanadas.	37

Índice de figuras

Figura No. 1. Esquema de acción de la α -amilasa	12
Figura No. 2. Esquema de acción de la β -amilasa	13
Figura No. 3. Gráfica general del análisis del perfil de textura (Armero-Collar 1997)	21
Figura No. 4. Diagrama de la elaboración del pan de caja	28
Figura No. 5. Círculo cromático de color. Cuadrante (I) posiciona los valores de los tratamientos, similares a los reportados por Calvo (2018)	42
Figura No. 6. Densidad (g/cm ³) para los panes de los seis tratamientos	43
Figura No. 7. Resiliencia en rebanadas de pan de caja	45
Figura No. 8. Gráfica para el cálculo de la resiliencia. (Otegbayo <i>et al.</i> , 2007)	46
Figura No. 9. Dureza en panes completos	48
Figura No. 10. Comportamiento de la fermentación	50
Figura No. 11. Imagen del tamaño de alvéolos	53
Figura No. 12. Dureza en rebanadas del pan	55
Figura No. 13. Dureza (N) en rebanas de los T1, T2, T3 y Bimbo®	56

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

La industria de la panificación presenta un crecimiento acelerado debido a la alta demanda en diversos productos panarios, donde las tendencias de consumo por parte del consumidor integran un mayor número de variables de aceptación. La reinención de los sabores y formatos es continua. El perfil de los consumidores hoy en día, es que saben un poco más acerca de su salud, esto hace que demanden productos más saludables, para ello el sector de la panificación se ha adaptado a estas exigencias del mercado elaborando distintos tipos de pan. No solo considera el sabor, la textura y la apariencia, sino que también estudia las tendencias de consumir alimentos de etiqueta blanca; introduciendo al mercado productos que cumplan con estos cambios de hábitos de consumo. La industria de la panificación hoy en día tiene varios desafíos, para hacerles frente integra técnicas innovadoras, como la gelatinización de diferentes porcentajes de harina de trigo, el empleo de métodos de masa esponja, el uso de agentes emulsificantes para mejorar la textura del producto por citar solo algunos (Shittu *et al.*, 2007).

La gelatinización de diferentes porcentajes de harina busca mejorar la firmeza de la miga (Toufeili *et al.*, 1999) sustituyendo a los mejoradores químicos.

Por otra parte, las enzimas maltogénicas proponen un proceso de fermentación rápida, teniendo como resultado disminución de tiempo total de la producción del pan de caja.

Con base a lo anterior, la presente investigación propone evaluar el efecto de la combinación de una mezcla comercial de enzimas maltogénicas con un proceso de pregelatinización de la masa para la elaboración de pan de caja.

OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

✚ Evaluar el efecto de una mezcla comercial de enzimas maltogénicas combinado con un proceso de pregelatinización de la masa para la elaboración de pan de caja.

2.2 Objetivos específicos

✚ Desarrollar seis formulaciones de masas para la elaboración de pan de caja, que incluyan enzimas maltogénicas, y masa pregelatinizada, según sea el caso.

✚ Determinar las características físicas (pH, color, densidad, producción de CO₂), en panes elaborados con enzimas maltogénicas combinado con un proceso de masa pregelatinizada para la elaboración de pan de caja.

✚ Determinar las características de textura (dureza y resiliencia) en panes elaborados con enzimas maltogénicas combinado con un proceso de masa pregelatinizada para la elaboración de pan de caja.

HIPÓTESIS

III. HIPÓTESIS

El empleo de una mezcla comercial de enzimas maltogénicas, combinadas con un pregelatinizado de harina de trigo permitirá modificar las características fisicoquímicas del pan de caja como pH, color, densidad, CO₂ y textura para la obtención de un pan de caja con menor dureza.

JUSTIFICACIÓN

IV. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la industria panadera presentan varios desafíos, donde sobresalen los siguientes, el primero es evitar la presencia de mejoradores artificiales de pan, y el segundo es la disminución de tiempo en el proceso de elaboración, por lo anterior se sugiere emplear enzimas maltogénicas exógenas a las propias del grano e integrar técnicas de gelatinización.

Las enzimas maltogénicas se usan para remplazar en alguna proporción aditivos como lo son los emulsificantes. Además, la mayoría de las enzimas u otros mejoradores de pan, incluyendo algunos emulsionantes, pueden mejorar la suavidad de la miga debido a los efectos sobre el volumen del pan y la estructura de la miga, pero generalmente tienen un efecto limitado sobre la elasticidad de la miga. La excepción es la alfa-amilasa maltogénica, que es la única enzima, hasta hoy reportadas que puede mejorar la elasticidad de la miga. La alta elasticidad está estrechamente asociada a la percepción de frescura así mismo con la suavidad de la miga, la adición de la combinación de enzimas conteniendo la maltogénica permite la sustitución de emulsionante con el fin de mejorar la textura global de la miga del pan de caja (Van Oort, 2010).

Por otro lado, las aplicaciones de almidones modificados o pregelatinizados en panificación buscan mejorar la firmeza de la miga (Toufeili *et al.*, 1999) y reducir la sensación pegajosa y la seca del pan (Miyakazaki *et al.*, 2006).

Derivado de lo anterior, en la presente investigación, se procuró generar una sinergia entre un sistema biológico de enzimas maltogénicas y el proceso tecnológico de pregelatinizado, generando con ello una propuesta de aplicación inmediata a negocios de panadería.

REVISIÓN DE LITERATURA

V. REVISIÓN DE LITERATURA

El pan es considerado en muchos lugares como el símbolo de la alimentación ya que acompaña la dieta humana y es el alimento esencial de casi todas las culturas. Sin duda, su evolución ha impactado aspectos económicos, políticos y sociales. Incluso hace años su consumo llegaba a ser hasta la mitad de la ingesta diaria de alimentos y en estas circunstancias los panaderos alcanzaron un lugar predominante en la sociedad, hasta el punto de que se les consideró por algunos autores como los primeros “banqueros” (Díaz, 2014).

La era industrial también aportó mucho, ya que se empezaron a utilizar las denominadas levaduras artificiales, blanqueadores, emulsificantes, oxidantes y estabilizantes, que han tenido un importante papel, y en general buena aceptación por el consumidor, en la historia del pan (Díaz, 2014).

En los últimos 150 años la industria de la panificación ha sufrido una revolución pues las pequeñas panaderías artesanales dieron lugar a la industria de la panificación de alta tecnología. La productividad se convirtió en la clave del éxito pues debido a la alta demanda hoy en día el consumidor busca pan más rico, nutrimentalmente bueno, y con mayor tiempo de vida de anaquel (Baiano, 2009). Hoy en día la incorporación de técnicas de conservación como la utilización de distintos porcentajes de harina gelatinizada en las masas ha permitido disminuir el fenómeno de retrogradación en el pan, ya que hay una menor cantidad de agua libre, haciéndolo menos susceptible a sufrir reacciones químicas y microbiológicas responsables del envejecimiento; se retardan los fenómenos de retrogradación e incrementa la vida útil del producto para así obtener un producto “recién elaborado” de forma permanente (Mandala, 2005).

5.1 Trigo

En México el trigo es el segundo grano más consumido ubicado después del maíz con un total de 52 kg per cápita por año, la principal zona consumidora de trigo

es el centro-sur del país que demanda el 60% del total del trigo nacional producido (Agrosíntesis, 2011).

El grano de trigo es el de mayor relevancia ocupando el segundo lugar por su volumen de producción. Se consume de forma directa el 75% del trigo en productos como; harinas, pastas y pan, de forma indirecta se consume el 15% en productos para animales y el resto se emplea como semilla.

Para la comercialización y producción del trigo es importante el porcentaje de proteínas, el cual depende mucho de las condiciones del ambiente, en muchas ocasiones, la falta de humedad puede incrementar el contenido proteico relativo y modifica las propiedades funcionales dando como resultado harinas más grises. Otro factor que puede afectar los nutrientes en el grano es la cantidad y calidad de fertilizantes que se usan al momento de la siembra, la deficiencia de azufre provoca granos más pequeños y con menor contenido de proteínas lo cual produce modificaciones reológicas en las masas (Dupont y Altenbach, 2003; Zhao *et al.*, 1999; Kamal *et al.*, 2009).

5.2 Composición química del trigo y de la harina

El contenido proteico del trigo es importante ya que la cantidad de proteína del grano se relaciona directamente con el contenido de proteína de la harina, lo cual influye en el tipo y característica final del producto. Las proteínas de trigo fueron clasificadas por Osborne en 1924 en albuminas, globulinas, gliadinas y gluteninas, sin embargo, también pueden clasificarse en proteínas formadoras de gluten y en proteínas que no forman gluten. Las proteínas de no gluten se producen en las capas externas del trigo y están formadas por albuminas (6-13%) y globulinas (4-9%), otra fracción menor de proteínas que no forman gluten son las llamadas triticinas que pertenece a la clase de globulina de proteínas de almacenamiento de semillas (Shewry *et al.*, 1995).

Las proteínas formadoras de gluten incluyen las gliadinas (30-40%) y las gluteninas que son formadas por proteínas de alto peso molecular (5-10%) y bajo peso molecular (20-30%), éstas se encuentran en el endospermo del grano

maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón junto con los lípidos y el agua que son responsables de la capacidad viscoelasticidad y cohesividad de la masa panadera (Shewry *et al.*, 1986). El gluten, por su alto contenido en prolina no posee una conformación helicoidal, favoreciendo que los grupos amida de la glutamina formen puentes de hidrógeno intra e intermoleculares; sumado a esto, el gluten también es rico en cisteína que permite la formación de 18 puentes disulfuro inter e intramoleculares, los cuales se forman durante el amasado. Las interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas ayudan a que se forme una red elástica y cohesiva para la formación del esponjado producido por el CO₂, producto de la fermentación (Wieser, 2007; Kamal *et al.*, 2009; Badui, 2013). Los carbohidratos totales se presentan en el grano como fibra, azúcares libres, hemicelulosas o pentosas y almidón constituyendo del 77 al 87% de la materia seca total y son los componentes más importantes, el almidón constituye aproximadamente el 64% es el hidrato de carbono más importante en todos los cereales. El alto contenido de almidón en el trigo y en los cereales en general, hace que sea considerado una fuente importante de energía en la dieta, el cual es totalmente digerible en el sistema (Ao y Jane, 2007; Badui, 2013).

La parte insoluble está constituida principalmente por celulosa y hemicelulosa la cual se encuentra en las paredes celulares la cual no es digerible para el humano, aunque puede ser hidrolizada en el intestino grueso provocando un bajo pH intestinal por la producción de ácidos grasos de cadena corta y es lo que se asocia a la disminución del colesterol en la sangre (Serna-Saldivar *et al.*, 2009). Además del contenido nutritivo, la harina de trigo contiene numerosas enzimas, principalmente aquellas capaces de facilitar la hidrólisis del almidón. Estas enzimas reciben el nombre de amilasas o diastatasas y son enzimas de degradación que catalizan la adición de una molécula de agua a cada enlace glicosídico, rompiendo así las cadenas de polisacárido. Las amilasas de los cereales son de dos tipos que se designan genéricamente como α y β , y que se diferencian por la distinta forma de actuar sobre el polisacárido. Las β -amilasas catalizan la hidrólisis ordenada de un enlace de cada dos empezando por un

extremo y separando, por tanto, unidades de maltosa (compuestas de dos glucosas cada una) (Fig. 1). La acción de las β -amilasas actúa en los enlaces de ramificación (β 1-6). Las α -amilasas escinden la macromolécula del polisacárido en la posición (α 1-4), produciendo moléculas de menor tamaño que se conocen con el nombre de dextrinas y oligosacáridos (6-7 unidades de glucosa) (Fig. 2). Esta reducción drástica en el tamaño de las moléculas provoca un descenso rápido en la viscosidad del gel de almidón (Caballero *et al.*, 2007).

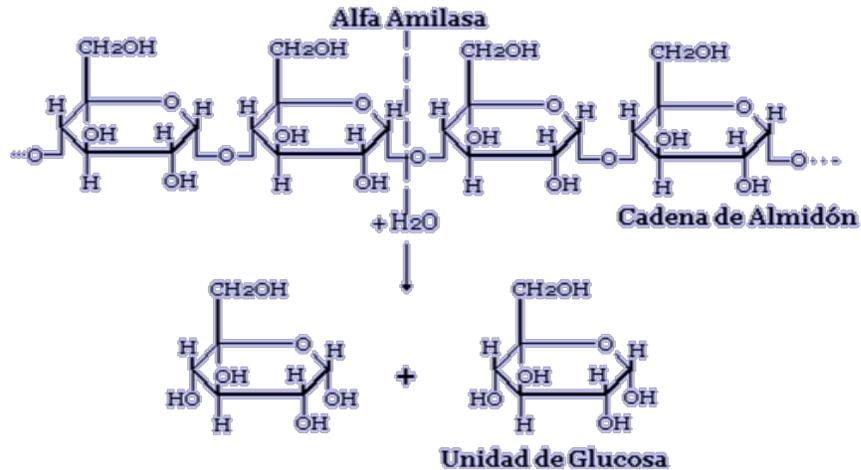


Figura No. 1. Esquema de acción de la α -amilasa

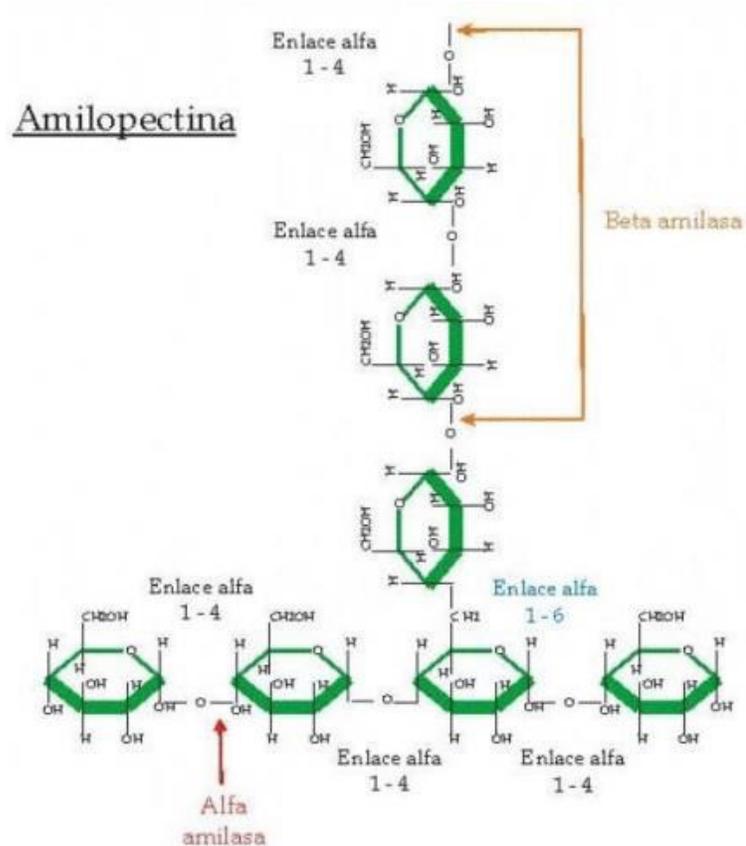


Figura No. 2. Esquema de acción de la β -amilasa

5.3 Amilasas en la panificación

En el proceso de la panificación, el efecto dominante es el que se deriva de la acción del componente α -amilásico. En la fase de fermentación actúa preferentemente la beta-amilasa, pero su acción se ve limitada por la poca sensibilidad del sustrato, almidón crudo, que sólo ofrece a la acción enzimática aquellos gránulos dañados por el efecto mecánico de la molienda (Caballero *et al.*, 2007).

La producción de maltosa es esencial para una fermentación adecuada. La maltosa es desdoblada en glucosa, que a su vez es la materia prima para la producción de gas carbónico en la fermentación. La maltosa y glucosa que se encuentran libres en la harina son insuficientes, y por esta razón es necesaria la

acción amilasa. La disminución de la viscosidad de la masa no es deseable en general, pues disminuye la capacidad de ésta para retener el gas producido en la fermentación. Estas dos consideraciones determinan los límites deseables de actividad amilásica en una harina destinada a la panificación. El uso de harinas hiperdiastásicas conduce inevitablemente a resultados desfavorables. Debido a la excesiva producción de dextrinas y maltosa, las masas obtenidas en estas condiciones tienen una consistencia blanda y pegajosa, fermentando rápidamente, mientras que el pan presenta una miga húmeda y pegajosa, y una corteza fuertemente coloreada. El que una harina sea hiperdiastásica se debe a la germinación parcial del trigo con que se fabricó. La utilización de harinas insuficientemente diastáticas conduce a masas de fermentación lenta y a un pan poco desarrollado, de corteza pálida y con poco leudado (Madamwar *et al.*, 2006). En la fase de cocción, el aumento rápido de la temperatura opera en un doble sentido: sensibilizando el almidón y modificando las condiciones de acción enzimática. En esta corta fase se gelifica el almidón y la actividad enzimática pasa por su óptimo, para después anularse cuando sobreviene la destrucción térmica de los enzimas (Rosell y Singh, 2004).

5.4 Almidones modificados con pregelatinización

En panificación, el almidón es el principal componente y desempeña un papel importante en la textura y calidad tanto de la masa como del pan. Actualmente se están desarrollando almidones modificados para reducir las características indeseables de los almidones nativos presentes en las harinas comerciales. En un principio, los almidones modificados tuvieron efectos indeseables en la calidad de los productos panificados, sin embargo, esto no fue un obstáculo para que la investigación continuara hasta lograr resultados positivos (Miyazaki *et al.*, 2006). Hoy en día existen diferentes procesos para modificar los almidones, uno de ellos es la modificación física que involucra la pregelatinización (Van der Goot-Atze, 2011).

5.5 Gelatinización

Es el proceso donde los gránulos de almidón son calentados en agua y ocurre una fase de transición de una estructura granular ordenada a un estado desordenado (Quaglia, 1991).

En agua fría los gránulos de almidón tienen una estructura organizada de elevada estabilidad (son insolubles) y presentan un ligero hinchamiento en el rango de 8-10 °C. Sin embargo, cuando los gránulos de almidón son calentados en exceso de agua entre 60-70 °C empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y aumentar de volumen, fenómeno que puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo permitiendo la lixiviación (liberación) de la amilosa y más lentamente de la amilopectina. En consecuencia, los granos de almidón sufren ruptura formándose una suspensión viscosa (Jinhee, 2008)

El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Para este caso, el almidón de trigo el rango de temperatura de gelatinización óptimo es de 65-75 °C, aunque se observó una segunda transición a los 100 °C (Kugimiya *et al.*, 1980). Esto se debe a que el trigo contiene significantes cantidades de lípidos y amilosa.

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

5.6 Ventajas del uso de almidones modificados

Los resultados obtenidos son muy diversos, dependiendo de la cantidad de almidón adicionada a las formulaciones para pan; algunos almidones no causan diferencias sensoriales, sin embargo, pueden llegar a afectar el volumen del pan (Greene y Bovell, 2004), otros pueden causar ligeros cambios en la textura, con la ventaja de adicionar grandes cantidades de fibra dietética (Liu *et al.*, 2007).

Con base en el conocimiento de estas características, se puede controlar la textura de los productos y desarrollar especialidades de pan con características únicas y mejorar los costos de producción (Williams y Pullen, 1998).

5.7 Formulación general de un pan de caja

De manera general identificamos dos ingredientes: la harina y el agua. La harina representa el 100% de la formulación mientras que se requiere agua a partir de 40%. Esto da como resultado un pan de textura fina y ligera. (Mondal y Datta, 2008). La función de cada uno de los ingredientes puede resumirse de la siguiente manera:

5.7.1 Harina de trigo

La harina de trigo contiene gliadina y glutenina, proteínas que al mezclarse con agua en proporciones determinadas forma el gluten, compuesto encargado de producir una masa consistente. Esta masa presenta una determinada textura después de un boleado o amasado, a la que puede darse la forma deseada, resistente además a la presión interna de los gases producidos durante la fermentación (Callejo, 2002).

5.7.2 Agua

El agua en la masa es fundamental porque se encarga de proporcionar cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad al producto. Sin embargo, su absorción depende en gran parte de la concentración utilizada de ingredientes como la sal, azúcar y la grasa. Al aumentar la concentración de sal o azúcar hay competencia de estos compuestos por el agua lo que provoca que las proteínas disminuyan su capacidad de retención (Calvel, 1983).

El agua desempeña un papel importante en los cambios provocados durante la preparación de la masa como: gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, inactivación de enzimas y levadura y del desarrollo de color y olor en el producto.

Además, facilita la distribución de los ingredientes y hace posible la formación de gluten y el acondicionamiento de los almidones, determina la consistencia y temperatura de la masa dándole suavidad a la miga, y proporcionándole a la levadura las condiciones óptimas de humedad para crecer. También influye directamente para obtener un producto sensorialmente aceptable (Lauterbach, 1994).

5.7.3 Levadura

Sacharomyces cerevisiae, este microorganismo es responsable de transformar ciertas sustancias como la sacarosa en diversos metabolitos. Las condiciones óptimas de crecimiento oscilan entre los 25-30 °C, sin embargo, en condiciones de refrigeración la levadura disminuye su actividad y sólo puede mantenerse viva durante un periodo.

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

tiempo, el alcohol se oxida produciendo un sabor amargo en el producto (Shehzad *et al.*, 2012).

5.7.4 Grasa vegetal

Al añadir a la masa grasas emulsionantes se forma una sutil capa entre las partículas del almidón y la red de gluten, por lo tanto, estos emulsionantes transforman la superficie hidrófila de las proteínas en una superficie más lipófila; esta capacidad de los lípidos de aglomerar y por consiguiente de ligar las diferentes mallas del gluten aumenta simultáneamente la capacidad de estiramiento (Mondal y Datta, 2008).

La adición de emulsionantes confiere a la miga una estructura fina y homogénea ya que el gluten, al tener la posibilidad de estirarse sin romperse, retiene más burbujas de gas. Es decir, actúa como lubricante del gluten, haciéndolo más suave y elástico, aumentando con ello su capacidad de leudado (Calaveras, 2000).

Además, al formar la película entre el glúten y el almidón, se impide la migración de humedad, favoreciendo que el producto sea más suave y fresco, confiriendo una mayor vida de anaquel y favoreciendo la formación de una corteza brillante de mejor aspecto. No obstante, su utilización excesiva puede originar pérdida de volumen y dar una textura y gusto graso indeseable que promueve el enranciamiento del pan (Mondal y Datta, 2008).

5.7.5 Sal

Las principales razones para utilizar sal en los productos de panificación se dividen en tres categorías, el primero es el de proceso, donde la sal es un compuesto higroscópico, es decir, tiende a captar moléculas de agua y a competir con el azúcar. Al haber menos sal en la masa, la acción de la levadura será más de lo normal pues hay poca competencia y la levadura puede utilizar más sacarosa como sustrato y, por lo tanto, habrá menos azúcar para la

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

Segunda categoría son las razones sensoriales, donde la sal es utilizada para mejorar el sabor del producto y resaltar o hacer contraste con los sabores de los otros ingredientes. Por último, tiene el objetivo de preservar, al ser un reactivo higroscópico la sal capta moléculas de agua y disminuye la Aw del alimento por lo que hay menos agua libre susceptible a sufrir reacciones microbiológicas o fisicoquímicas de deterioro. Sin embargo, utilizar concentraciones de sal demasiado elevadas puede provocar lisis de la levadura, por lo que la masa resultante es holgada y pegajosa en la textura, el manejo se vuelve difícil y el volumen del pan es pobre (Luchian y Canja, 2010).

5.7.6 Azúcar

El azúcar es importante, ya que es el alimento de las levaduras, además tiene otras funciones como ayudar a la formación de la corteza, mejorar su conservación y dar mayor suavidad al pan, mejorar textura y grano de miga, aumentar su valor nutritivo, así mismo posee la propiedad de retener humedad en los productos horneados (Potter y Hotchkiss, 2007).

5.8 Análisis del perfil de la textura

El perfil de textura (TPA), por sus siglas en inglés (texture profile analysis) es una técnica que trata de utilizar bases comunes para los métodos subjetivos y objetivos empleados para estimar la calidad asociada a la palatabilidad y masticabilidad (Cauvain *et al.*, 1983). El TPA utiliza siete descriptores básicos de la calidad asociada a la palatabilidad/masticabilidad derivado de estimaciones subjetivas de un gran número de alimentos los cuales se han adaptado después para hacer medidas instrumentales objetivas (Szczesniak, 1975). La prueba

objetiva aplica dos compresiones sucesivas en una muestra que ocasionan cambios irreversibles en el alimento que se está analizando.

Szcesniak (1975), estableció el método de “Análisis de Perfil de Textura” (TPA, por sus siglas en inglés) para medir objetivamente este parámetro, el cual imita el proceso de masticación.

El método consiste en comprimir una porción del alimento dos veces en movimientos recíprocos que imitan la acción de la quijada al momento de masticar de una persona, obteniéndose siete parámetros texturales de una curva de fuerza-tiempo, como se aprecia en la Figura No. 3. Cinco son medidos directamente y dos son calculados indirectamente.

Los parámetros texturales son los siguientes:

Fracturabilidad: es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).

Dureza: la máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).

Adhesividad: el área bajo la curva de fuerza de cualquier pico negativo después del primer ciclo de compresión. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa (Área 3), se toma como una medida de la adhesividad de la muestra.

Cohesividad: cociente entre el área positiva de la curva de fuerza de la segunda compresión (Área 2) y el área bajo la curva de la primera compresión (Área 1). Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.

Elasticidad: Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo ($\text{Distancia}_2/\text{Distancia}_1$). Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional.

Gomosidad: es el producto de la dureza por la cohesividad (Newtons). La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado.

Masticabilidad: el producto de la elasticidad por la cohesividad. Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido (Armero-Collar., 1997).

Resiliencia: Es la altura que recupera el alimento en el primer ciclo, es la recuperación a la deformación en relación a la velocidad y la fuerza aplicada, se obtiene dividiendo A_2/A_1 , (Otegbayo *et al.*, 2007). Ver Fig. No. 8. Para el cálculo de la resiliencia.

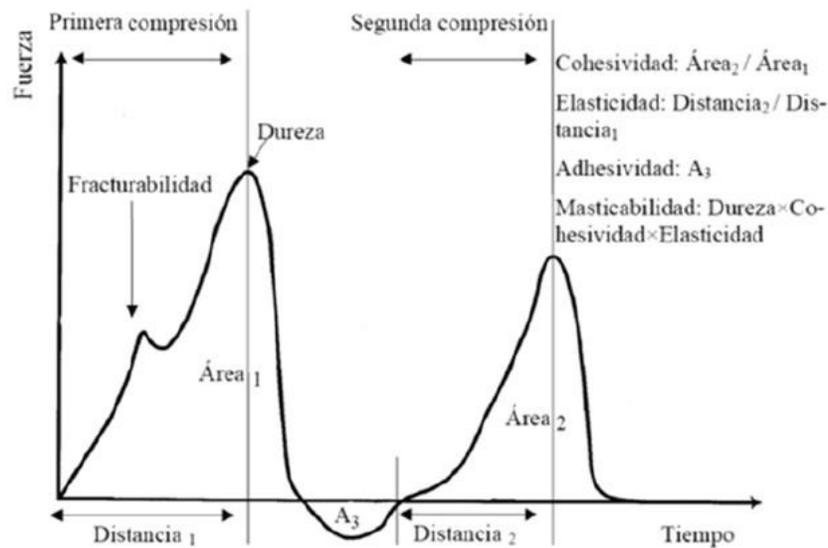


Figura No. 3. Gráfica general del análisis del perfil de textura (Armero-Collar 1997)

Para la determinación del perfil de textura se revisaron varias investigaciones (Wanga, J. *et al.*, 2002; Bárcenas, *et al.*, 2004; Mandala, *et al.*, 2005.); Sobre el análisis del perfil de textura que sustentan el método empleado.

MATERIALES Y MÉTODOS

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración del pan blanco con enzimas maltogénicas y un pregelatinizado de harina se realizó en las instalaciones del laboratorio de Cereales de la Facultad de Química de la UAEMex. Ubicado en el Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, Méx.

6.1 Materiales

Para la elaboración del pan de caja, que se requiere para el proyecto se empleó la siguiente materia prima: harina de trigo (carbohidratos 67.3g/100g, proteína 12.78g/100g, lípidos 6.05g/100g fibra dietética 5.59g/100g) marca Hoja de plata® adquirida en Fábrica de harinas Elizondo S.A. de C.V., azúcar estándar marca Ingenio San Miguelito®, grasa mixta comestible marca INCA®, levadura instantánea seca (*Saccharomyces cerevisiae*) marca Nevada®, SAFMEX S.A de C.V/ FERMEX S.A. de C.V., sal de mesa marca La Fina®, leche en polvo marca NutriLeche®, agua marca CIEL® (Propimex S.A. de C.V), Enzimas malto-génicas proporcionadas por la compañía (Corbion Caravan).

Al igual se emplearon los instrumentos y utensilios del laboratorio de cereales, como: Moldes para pan de caja, incubadora marca NOVATECH® modelo E 180-ED-E SP con número de serie 058045, horno de convección plus HCX II marca San-Son®, batidora KitchenAid®, parrilla eléctrica marca CORNING®, vaso de precipitado de 250mL marca KIMAX®, balanza granataria marca ADVANCE®.

6.2 Métodos

En el estudio se elaboraron seis tratamientos en total: T1= un control, T2= un control con enzimas maltogénicas (0.05%), T3 y T4= dos tratamientos con enzimas maltogénicas (0.05%) en ambos y dos concentraciones de harina pregelatinizada (5min y 10min respectivamente); y T5 y T6= dos tratamientos con dos concentraciones de harina pregelatinizada (5min y 10min respectivamente); los demás ingredientes se mantuvieron constantes de acuerdo con la fórmula

original como se muestra en el Cuadro No. 1. Para la elaboración de los tratamientos en cada repetición, se utilizó el mismo procedimiento.

En el Cuadro No. 1 se muestran los ingredientes y las proporciones en gramos que fueron utilizadas en la formulación de pan de caja (control).

Cuadro No. 1 Formulación base para pan de caja

Fórmula base	Porcentaje base harina (%)	Cantidad preparada (g)
Harina	100	250
Agua	60.0	150
Levadura	3.0	7.5
Grasa Vegetal	4.0	10
Sal	2.0	5
Leche en polvo descremada	3.0	7.5
Azúcar	8.0	20

6.2.1 Preparación de la fórmula control

Tratamiento 1: Mezclar los ingredientes de harina, azúcar y sal con ayuda de una batidora operada a velocidad baja durante 1 minuto a temperatura ambiente. Posteriormente añadir la levadura y mezclar durante 1 minuto a velocidad baja. Transcurrido ese tiempo adicionar el agua, grasa y mezclar durante 8 minutos a velocidad baja y 2 minutos a velocidad media. Trabajar la masa y colocar en molde previamente cubierto de aceite en aerosol.

6.2.2 Preparación de la fórmula con enzimas maltogénicas

Tratamiento 2: mezclar los ingredientes: harina, azúcar y sal con ayuda de una batidora operada a velocidad baja durante 1 minuto a temperatura ambiente. Posteriormente añadir la levadura y enzimas maltogénicas (al 0.05% con respecto a la harina) y mezclar durante 1 minutos a velocidad baja. Transcurrido ese tiempo adicionar el agua y grasa, mezclar durante 8 minutos a velocidad baja, posteriormente 2 minutos a velocidad media. Bolear la masa y colocar en molde previamente cubierto de aceite en aerosol.

6.2.3 Preparación de los tratamientos con harina de trigo pregelatinizada

Preparación del pregelatinizado: Consta de tres etapas:

6.2.3.1 Hidratación

Se retira 10% de la harina total para después mezclar con 40% de agua del total de la formula; en un vaso de precipitación de 250 mL, después de agitar y lograr una mezcla homogénea tapar con papel aluminio.

6.2.3.2 Pregelatinización (preg)

Utilizar el sistema de baño maría, calentar el agua hasta alcanzar los 80°C, con ayuda de una parrilla eléctrica. Colocar la muestra en el vaso de precipitado durante 5 minutos (muestra 1) y 10 minutos (muestra 2) en agitación rápida con ayuda de un agitador magnético, y monitorear temperaturas en ambas muestras. Enfriamiento: Para lograr un enfriamiento rápido del gelatinizado utilizar agua y una manta fría hasta que la temperatura descienda a los 30°C.

En el Cuadro No.2 se observa el tiempo utilizado en el proceso aplicado a la harina de trigo gelatinizada para elaborar el pan de caja.

Cuadro No. 2 Tiempo de pregelatinizado

	Tiempo en baño María (min)	Harina Gelatinizada a %	Cantida d (g)	Harina Sin Gelatinizar (g)	Tota l
Pregelatinizado 1	5	10	25 g	225 g	250 g
Pregelatinizado 2	10	10	25g	225 g	250 g

Este Cuadro se explica a continuación en los tratamientos 3 y 4.

6.2.4 Preparación de la masa maltogénica con harina de trigo pregelatinizada

Tratamiento 3: Después de mezclar los ingredientes secos, agregar la levadura, enzimas maltogénicas y la mezcla pregelatinizada por 5 min en baño maría y posteriormente incorporar el agua. Bolear la masa y colocar en molde previamente cubierto de aceite en aerosol.

Tratamiento 4: Después de mezclar los ingredientes secos, agregar la levadura, enzimas maltogénicas y la mezcla pregelatinizada que recibió 10 min en baño maría y posteriormente incorporar el agua. Bolear la masa y colocar en molde previamente cubierto de aceite en aerosol.

6.2.5 Preparación de los tratamientos con harina de trigo pregelatinizada

Tratamiento 5: Después de mezclar los ingredientes secos, agregar la levadura y la mezcla pregelatinizada por 5 min en baño maría y posteriormente incorporar

el agua. Bolear la masa y colocar en molde previamente cubierto de aceite en aerosol.

Tratamiento 6: Después de mezclar los ingredientes secos, agregar la levadura y la mezcla pregelatinizada que recibió 10 min en baño maría y posteriormente incorporar el agua. Bolear la masa y colocar en molde previamente cubierto de aceite en aerosol.

6.3 Fermentación y horneado

Colocar las mezclas en moldes para pan de caja dentro de la incubadora por 60 min a una temperatura de 30°C y una humedad relativa de 85%. Transcurrido ese tiempo introducir las muestras en el horno previamente calentado. Hornear las muestras durante 25 min a una temperatura de 180°C. Transcurrido el tiempo retirar las muestras del horno y dejar enfriar por 15 min hasta alcanzar temperatura ambiente y colocar en bolsas de plástico, para su posterior análisis. La metodología completa del diagrama de la elaboración del pan de caja, se describe en la Figura No 4.

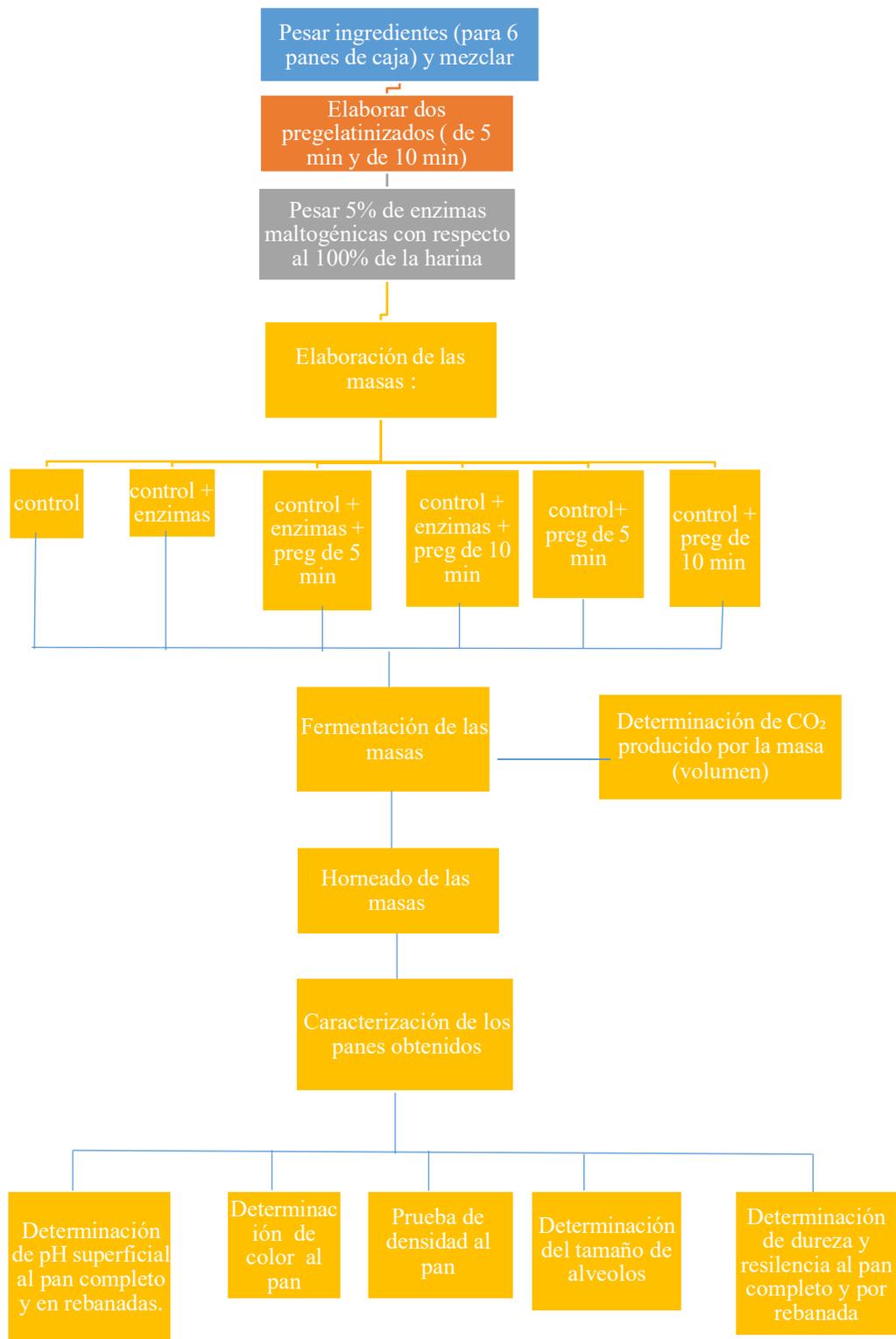


Figura No. 4. Diagrama de la elaboración del pan de caja

6.4 Determinación de CO₂ producido por la masa (volumen)

Para llevar a cabo la determinación del incremento de CO₂ en las muestras se siguió la siguiente metodología:

Tomar una porción de 20g de la “masa madre”.

Colocar a porción de masa dentro de una probeta graduada de 100mL antes de fermentar sin aplastar o hacer uso excesivo de la fuerza al momento de colocarla.

Colocar dentro de la incubadora a 30°C por 60 minutos.

Monitorear la temperatura de la incubadora constantemente para disminuir el sesgo.

Sacar las probetas de la incubadora y tomar la medición.

Determinar el volumen de CO₂ empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{Incremento} = ((Vf - Vo) / Vo) \times 100$$

Donde:

Vo= Volumen inicial

Vf= Volumen final

En la formula anterior se resta el volumen inicial del volumen final para obtener un aproximado total del CO₂, para obtener un valor más cercano a la realidad, a la acción antes mencionada se divide el valor inicial del volumen, ya que este es producido desde que la levadura obtiene condiciones óptimas para su fermentación; con esta acción se pretende situar a todos los tratamientos con un volumen inicial igual a cero.

6.5 Determinación de pH superficial al pan completo y en rebanadas

Después del horneado, el pan enfrió hasta temperatura ambiente para posteriormente, tomar lectura del pH con ayuda del potenciómetro sobre la superficie del pan, después se colocó el potenciómetro sobre el centro de las rebanas para repetir la lectura.

6.6 Determinación del Color

La toma de cada medición se realizó cuando las muestras obtenidas de cada tratamiento alcanzaron la temperatura ambiente, tomando como punto de referencia el centro de cada muestra. Esto se hizo con la finalidad de disminuir el sesgo o error en cada medición y aplicar el criterio de homogeneidad.

6.7 Determinación de la densidad del pan de caja

Después del horneado, el pan se enfrió hasta temperatura ambiente para envolverlo con una película adherible (clean pack) para posteriormente, pesar y determinar por desplazamiento de semillas de linaza, las cuales que fueron colocadas en un cilindro de PVC vacío de 11.5 cm de diámetro y 90 cm de altura, marcando la altura alcanzada. Posteriormente el tubo se vació y se colocaron las semillas en otro recipiente. El pan se colocó en el tubo y nuevamente se vertieron todas las semillas al cilindro de PVC. Se midió el desplazamiento de las semillas a partir de la marca trazada anteriormente, lo anterior explicado, es también conocido como método de inmersión seca.

Después de obtener el peso y volumen de cada producto; calcular densidad de los seis tratamientos, a partir de la siguiente fórmula: siendo $\rho = m / v$

donde:

ρ = densidad

m = masa

v = volumen

6.8 Determinación del tamaño de alveolo

Se utilizó un método que consiste en la utilización de hojas de papel milimétrico y papel acetato con graduación cada 1 mm. Las masas elaboradas con harina de trigo gelatinizada y enzimas se hornearon a 180°C por 25 min. Transcurrido ese

tiempo las muestras se retiraron del horno y se enfriaron hasta alcanzar la temperatura ambiente para poder hacer el corte.

Para llevar a cabo este análisis se hicieron cortes a las rebanadas de pan de 2 cm de grosor tomando como referencia siempre el centro del producto para que la muestra fuera lo más representativa posible. Cada rebanada se colocó sobre la superficie de papel acetato milimétrico y se estimó el tamaño de los alvéolos.

6.9 Determinación de textura al pan

Antes de realizar el análisis las muestras se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente.

En esta prueba los panes elaborados con harina de trigo gelatinizada y enzimas se sometían a la prueba de compresión en el texturómetro hasta alcanzar los 5.5mm de desplazamiento, y después de un periodo de 1 segundo se repitió el siguiente ciclo. Se corrieron 2 ciclos por muestra.

Las lecturas de textura se realizaron a cada una de las cortezas del pan (pan entero), en seguida se obtuvo una rebanada de dos centímetros de grosor de la parte más representativa de cada pan (del centro del pan) y se realizó la prueba de textura a las rebanadas del pan.

6.9.1 Resiliencia en pan completo y en rebanadas

La resiliencia es un valor obtenido de manera inmediata en el texturómetro, el cual indica la recuperación a la deformación, se puede calcular también de la división de A_2/A_1 , del primer ciclo, que relaciona la velocidad y la fuerza aplicada como lo cita Otegbayo *et al.*, (2007), en la prueba de textura ya citada.

DISEÑO EXPERIMENTAL

VII Diseño experimental

Las determinaciones fueron realizadas por triplicado y el diseño utilizado fue completamente al azar. Los resultados fueron analizados mediante un Análisis de varianza ($P \leq 0.05$) para las variables respuesta que son: color, densidad (g/cm^3), resiliencia en rebanadas (N), dureza en pan completo (N), CO_2 (cm^3), pH, tamaño de alvéolos (mm^2), dureza en rebanadas de dos centímetros de grosor (N) y resiliencia en pan completo. Donde los tratamientos fueron T1 = control, T2 = control + enzimas, T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T5 = control + pregelatinizado de 5 min, T6 = control + pregelatinizado de 10 min (El control no contiene enzimas ni proceso de pregelatinización).

Al encontrar diferencias significativas en las variables descritas se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Los resultados se analizaron con el paquete estadístico Statgraphics Plus Versión 5.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizados los análisis de laboratorio, se procedió a analizar los resultados mediante un ANOVA ($P \leq 0.05$) para las variables respuesta que son: color (L^* , a^* y b^*), densidad (g/cm^3), dureza en pan completo (N), resiliencia en rebanadas (N), producción de CO_2 (cm^3), pH, tamaño de alvéolos (mm^2), dureza en rebanadas de dos centímetros de grosor (N) y resiliencia en pan completo (N). Como se recordará, en el diseño experimental, se indicó que los tratamientos serían T1= control, el cual no contiene enzimas ni pregelatinizado T2 = control + enzimas, T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 10 min, T5 = control + pregelatinizado de 5 min, T6 = control + pregelatinizado de 10 min.

Los resultados del análisis de varianza arriba mencionado se presentan en el Cuadro No. 3. Donde se observa que, no se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en las variables de los componentes del color L^* , a^* , b^* , densidad (g/cm^3) y resiliencia en rebanadas (N).

Cuadro No. 3 Análisis de Varianza ($P \leq 0.05$) para las variables color L^* , a^* , b^* , densidad (cm^3/g), dureza del pan (N) y resiliencia en rebanadas

Variable	$P \geq 0.05$ (no significativo)
L^*	0.2596
a^*	0.7824
b^*	0.4999
Densidad (g/cm^3)	0.1894
Resiliencia en rebanadas del pan (N)	0.9833

Sin embargo, si se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la producción de CO_2 (cm^3), dureza del pan completo (N), pH, tamaño de los alvéolos (mm^2), dureza en las rebanadas del pan (N) y resiliencia en pan completo, como se ve en el Cuadro No. 4.

Cuadro No. 4 Análisis de Varianza ($P \leq 0.05$) para las variables CO_2 (cm^3) pH, tamaño de alvéolos (mm^2), dureza (N) y resiliencia.

Variable	$P \leq 0.05$ (Significativo)
Producción de CO_2 (cm^3)	0.0525
Dureza del pan (N)	0.0422
pH	0.0135
Tamaño de alvéolos (mm^2)	0.0488
Dureza de rebanada(N)	0.0003
Resiliencia pan completo	0.0021

Al encontrarse diferencias significativas en las variables descritas se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) y los resultados de dicha comparación se presentan en el Cuadro No.5.

Cuadro No. 5. Resultados de las medias de los tratamientos para las variables color, densidad, tamaño de alvéolos, dureza en pan y en rebanadas, resiliencia en pan y en rebanadas.

T	L*	a*	b*	D (g/cm ³)	RR	DP(N)	CO ₂ (cm ³)	pH	TA (mm ²)	DR(N)	RP
	±DS	$\bar{x} \pm DS$	±DS	±DS	±DS	±DS	±DS	±DS	±DS	±DS	±DS
1	50.12±0.06 a	10.90±0.02a	27.82±0.08 a	0.29±0.02a	0.27±0.15a	1.80±1.0a	43.09±1.9a	5.9±0.01ab	28.64±1.1c	3.315±0.015 a	0.60±0.07b
2	48.32±0.04 a	11.36±0.03a	27.37±0.05 a	0.29±0.01a	0.24±0.14a	1.78±0.02a	81.43±1.8c	6.9±0.05b	28.6±1.2c	2.58±0.014a	0.59±0.08b
3	50.34±0.03 a	10.58±0.02a	28.62±0.08 a	0.29±0.04a	0.22±0.13a	2.42±0.03a b	84.17±1.1c	6.0±0.05ab	11.51±0.08 a	3.1±0.018a	0.32±0.06a
4	55.34±0.03 a	9.84±0.02a	30.11±0.07 a	0.34±0.07a	0.26±0.11a	3.47±0.02b	79.01±1.5b	6.0±0.05ab	23.84±1.0b	4.18±0.016a b	0.31±0.08a
5	60.15±0.08 a	8.01±0.04a	28.63±0.06 a	0.37±0.05a	0.27±0.12a	3.67±0.01b	59.01±1.5a	5.4±0.04a	39.52±0.08 d	6.4±0.011b	0.60±0.08b
6	57.02±0.06 a	9.61±0.02a	29.91±0.02 a	0.37±0.07a	0.23±0.13a	5.01±0.02c	77.96±1.4b	6.1±0.03ab	37.57±0.9d	7.35±0.014b	0.33±0.06a

Nota: Literales diferentes en las medias de los tratamientos indican que existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$). L*, a* y b*=Color en sus componentes L, a y b, D= Densidad, TA= Tamaño de los alvéolos, DP=Dureza del pan, DR= Dureza de la rebanada, RP=Resiliencia en pan y RR=Resiliencia en rebanadas, CO₂=Fermentación, DS=Desviación estándar, \bar{x} =Media aritmética. T1 = Control, T2 = Control + enzimas, T3 = Control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = Control + enzimas + pregelatinizado de 10 min, T5 = Control + pregelatinizado de 5 min, T6 = Control + pregelatinizado de 10 min.

A continuación, se describe cada una de las variables de estudio por separado, y se presentara en el orden en que aparecen en los Cuadro No. 4 y 5, primero las no significativas (L^* , a^* , b^* , densidad, y resiliencia en rebanadas) y finalizar con las significativas (Dureza del pan completo, CO_2 , pH, tamaño de alvéolos, dureza de rebanadas y resiliencia en pan completo).

8.1 Color

Los resultados indicaron que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para color L^* , a^* y b^* , tal como se ve en el Cuadro No. 5.

A continuación, se describe cada uno de los componentes de color por separado.

8.1.1 Componente L^*

El rango de valores de Luminosidad (L^*) obtenidos de los análisis realizados se encuentra entre 48.32 y 60.15. El valor más bajo lo obtuvo el T2 (control + enzimas) y el más alto fue para el T5 (control+ pregelatinizado de 5 min).

Costa *et al.* (2012) usaron sulfato de calcio y α amilasa al 1.0 % en la fórmula de pan de caja y encontraron valores de 77.23 hasta 80 para luminosidad, valores superiores a los encontrados en éste estudio, relacionado con el contenido de enzimas, en la presente investigación se utilizó el 0.05 % de enzimas, mientras que los autores mencionados emplearon 1.0%; es decir, a mayor cantidad de enzimas maltogénicas, mayor será la L^* del producto panario.

La luminosidad o brillo L^* , permite clasificar el color como claro obscuro, que se define como la característica de una sensación que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises. La cual, va desde el blanco (máxima luminosidad, igual a 100) hasta el negro (mínima luminosidad, igual a 0) haciendo un elemento más claro u obscuro (González, 2010). Los resultados obtenidos en esta investigación indican que los tratamientos se encontraron tendientes al valor intermedio que es 50, aunque el T2 tiende a la zona opaca por ser menor de 50 y los tratamientos restantes tienden a ser más luminosos por ser mayor a 50.

Cuando se usa harina refinada el pan resulta de color blanco, aunque es de menor valor nutritivo ya que la cascarilla es eliminada en dicho proceso y único elemento que se mantiene son los carbohidratos que son más susceptible a reaccionar con las proteínas. Durante el horneado del pan, que comúnmente ocurre a temperaturas superiores a 160 °C, se desarrolla el color en la corteza, mediante la reacción de Maillard entre el grupo carbonilo de los carbohidratos y el grupo amino de las proteínas. Dicha reacción produce pigmentos pardos llamados Melanoidinas lo que se conoce como pardeamiento no enzimático (Badui, 2006).

Otro factor que influye en el color, y que no se consideró en esta investigación, pero es importante mencionar es la cantidad de agua adicionada a la masa en el proceso de panificación, cuando ésta es abundante, se ve incrementada la reacción de Maillard y el pan se torna más oscuro. Finalmente, otro factor que influye en el color de la corteza es el contenido de α amilasa, si es excesivo se obtendrán colores rojizos y, por lo contrario, su carencia induce a tonos pálidos (Calvel *et al.*, 1990). Éste último factor, se sugiere no influyó en la tonalidad final de la corteza ya que no se ve reflejado en los resultados.

En la Figura No.4 se presentan las fotografías del color de la corteza de los seis tratamientos, en ellas puede apreciarse con apoyo de los datos numéricos antes descritos como el T2 tiende a ser menos luminoso comparado con T5 que es más luminoso, pero aun así las diferencias son no significativas ($P \geq 0.05$).



T 1



T 2



T 3



T 4



T 5



T 6

T1 = control.

T2 = control + enzimas.

T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min.

T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 10 min.

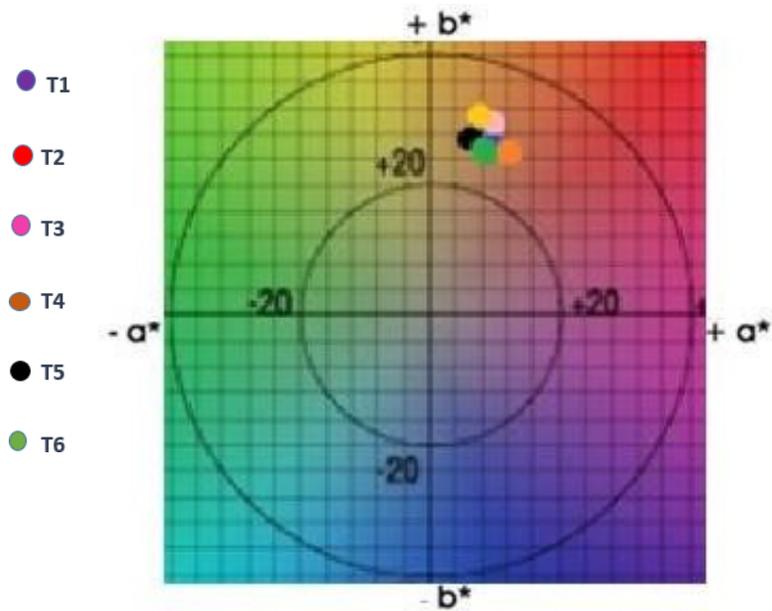
T5 = control + pregelatinizado de 5 min.

T6 = control + pregelatinizado de 10 min.

8.1.2 Componente de color a*

El rango de valores obtenidos en el componente a* (verde a rojo) se encuentra entre 8.01 y 11.36, como se ve en el Cuadro No. 5. Como ya se indicó, esta variable no muestra diferencias significativas ($P \geq 0.05$). Sin embargo, tal como se ve en la Figura No.4 el tratamiento que presentó mayor valor numérico es T2, y el que presenta menor valor numérico es T5.

En la [Figura No.6](#) se muestran los seis tratamientos dentro del círculo cromático de color. En él se pueden ver como todos se encuentran en el mismo cuadrante, en primera instancia un valor positivo para a*, nos indica una tendencia al color rojo, entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación hacia dicho color. Es una coordenada cromática que va de +a* (positivo), que indica rojo y de -a* (negativo) que indica el verde. Con lo anterior se entiende que a* puede tener valor de 60 hasta -60 (Boscarol, 2007). En este trabajo de investigación no se obtuvieron valores negativos, de haberlos obtenidos, la tendencia sería al color verde. Un valor neutro (igual a cero) representaría un color neutro (gris o blanco). De aquí, la teoría de los colores complementarios que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo (Salehifa *et al.*, 2012). Aun cuando los valores son diferentes, estas diferencias son no significativas ($P \geq 0.05$).



T1 = Control, T2 = Control + enzimas, T3 = Control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = Control + enzimas + pregelatinizado de 10 min, T5 = Control + pregelatinizado de 5 min, T6 = Control + pregelatinizado de 10 min.

Figura No. 5. Círculo cromático de color. Cuadrante (I) posiciona los valores de los tratamientos, similares a los reportados por Calvo (2018).

8.1.3 Componente de color b^*

El rango de valores obtenidos en el componente b^* se encuentra entre 27.37 y 30.11, como se ve en el Cuadro No. 5. Como ya se indicó, esta variable no muestra diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Sin embargo, el tratamiento que presentó mayor valor numérico es T4 (Control + enzimas + pregelatinizado de 10 min), y quien tiene menor valor numérico es T1 (control).

Para el caso de b^* es una coordenada cromática que va de $+b^*$ (positivo), que indica amarillo y de $-b^*$ (negativo) que indica el azul. De igual forma que a^* , b^* puede tener valores de 60 hasta -60 (Boscarol, 2007).

Clemente Mainer *et. al.* (2010) evaluaron el color en miga del pan comercial y obtuvieron valores b^* alrededor de 16, valor inferior a los encontrados en éste estudio (27.37 y 30.11), los autores antes mencionados indican que la intensidad del color depende en gran medida del tiempo y temperatura de horneado.

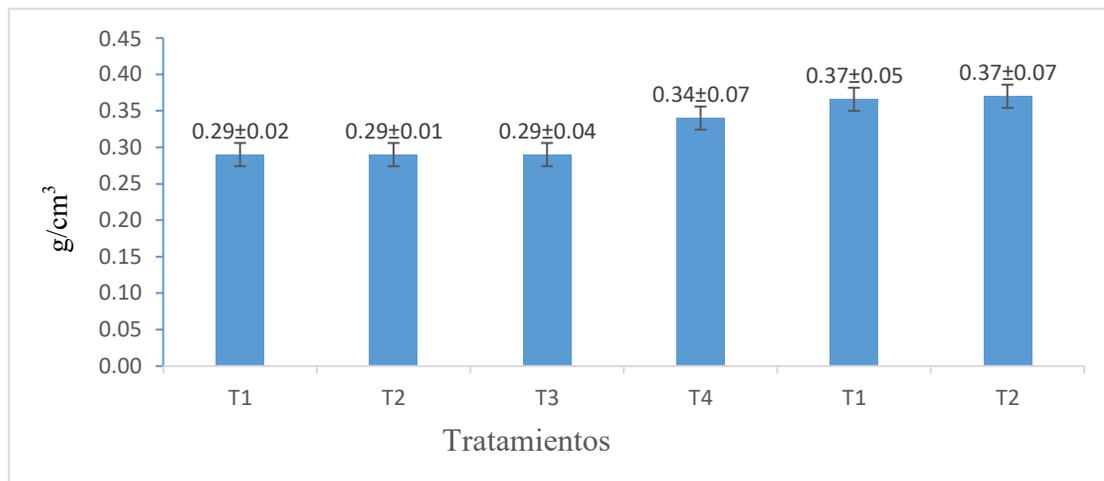
Apoyando lo anterior, en ésta investigación, el colorímetro usado mostró una inclinación al color amarillo debido a la naturaleza del pan, que muestra una tonalidad dorada, típica de un proceso de horneado.

En la [Figura No.6](#), se muestran los componentes de color a^* y b^* , en él se muestran los seis tratamientos dentro del círculo cromático de color. Se observa que todos ellos se encuentran en el mismo cuadrante (I), el valor positivo para b^* , indica una tendencia al color amarillo, entre mayor sea el valor, hay mayor inclinación hacia dicho color.

8.2 Densidad

El rango de valores obtenidos en la presente investigación para la variable densidad se encuentra entre 0.29 y 0.37 g/cm^3 y como ya se indicó en el Cuadro No.5. no existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos.

A pesar de lo anterior el tratamiento con menor valor de densidad fue el T2 (control + enzimas) al igual que T3 (control + enzimas + pregelatinizado de 5 min) y el de mayor densidad fue el T5 (control+ pregelatinizado de 5 min), lo que puede verse en la [Figura No. 7](#).



T1 = Control, T2 = Control + enzimas, T3 = Control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = Control + enzimas + pregelatinizado de 10 min, T5 = Control + pregelatinizado de 5 min, T6 = Control + pregelatinizado de 10 min.

Figura No. 6. Densidad (g/cm^3) para los panes de los seis tratamientos

La densidad (relación peso/volumen) es importante en la elaboración de productos panarios, ya que está relacionada con la cantidad de alvéolos (celdas de aire) presentes en el interior. Durante la elaboración del pan se produce una expansión en el proceso de horneado de las masas, que implica producción de gas e incremento del volumen del producto (Mestres *et al.*, 1996).

Rodríguez (2003) indica en su investigación que la densidad de un pan de harina refinada para obtener las características ideales podría estar en un rango entre 0.20 a 0.29 cm³/g. En la presente investigación, se observa que hay tres tratamientos que se encuentran cerca de los rangos antes mencionados, el T1 (control) con 0.29 g/cm³, el T2 (control + enzimas) y el T3 (control + enzimas + pregelatinizado de 5 min) con 0.29 g/cm³ para ambos.

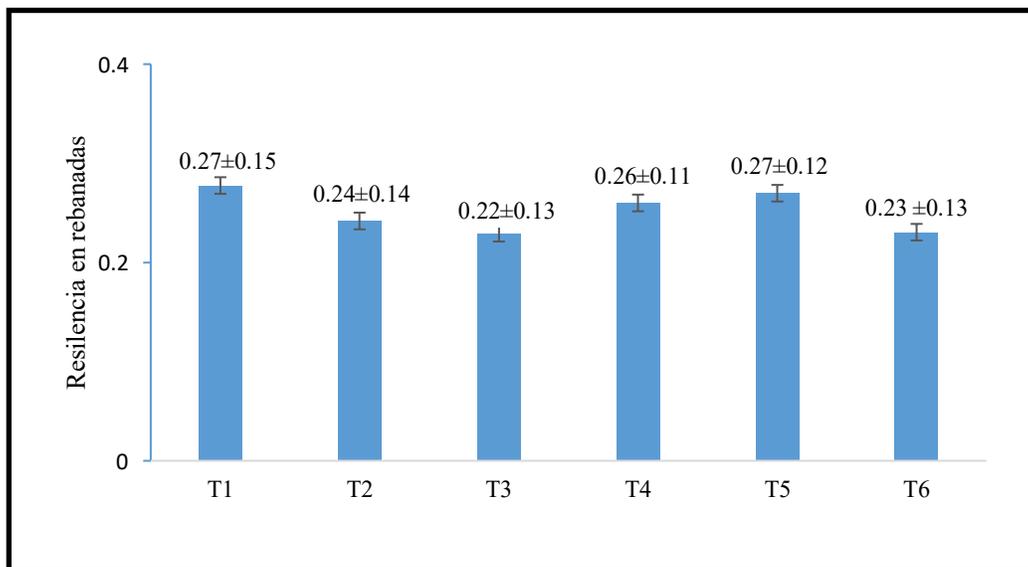
Los resultados obtenidos en la presente investigación, indican una mayor densidad para T4, T5 y T6 para estos dos últimos, se atribuye a la menor producción de CO₂, debido a la ausencia en de enzimas en dichos tratamientos, y la densidad para T4 sugiere una mayor capacidad emulsificante como lo cita Van Oort, (2010), esta densidad también contrasta con el tamaño de alvéolos para T4 demostrando que los alvéolos pequeños tienen mayor superficie de contacto y retención más agua de acuerdo a Chiotelli y Le Meste (2002).

La actividad de las enzimas maltogénicas empleadas en esta investigación, indican que los glúcidos complejos de la harina la amilosa y la amilopectina son metabolizados en compuestos más simples, lo que permite mayor alimento para la levadura *Sacharomyces cerevisiae* para convertirlos en CO₂ y etanol (Whitehurst, 2002). Lo anterior justifica porque los panes, T5 y T6 no obtuvieron el volumen necesario para alcanzar la densidad óptima reportada por Rodríguez (2003).

8.3 Resiliencia en rebanadas

El rango de valores obtenidos para la variable resiliencia, se encuentra entre 0.22 N y 0.27 N. Esta variable, como ya se indicó, no presenta diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), como se ve en la Cuadro No. 5.

A pesar de lo anterior el tratamiento con menor valor de resiliencia fue el T3 (control + enzimas + pregelatinizado de 5 min) con 0.22 N y el de mayor resiliencia fue el T1 (control) y T5 (Control + pregelatinizado de 5min) ambos con 0.27 N, lo que puede verse en la [Figura No. 8](#).



T1 = Control, T2 = Control + enzimas, T3 = Control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = Control + enzimas + pregelatinizado de 10 min, T5 = Control + pregelatinizado de 5 min, T6 = Control + pregelatinizado de 10 min.

Figura No. 7. Resiliencia en rebanadas de pan de caja

Es importante considerar los valores de resiliencia, porque esta variable indica la capacidad del producto panario para regresar a su altura original después de aplicarle una fuerza específica después del primer ciclo y antes del segundo. Las propiedades viscoelásticas de la masa influyen en los valores de resiliencia y a la firmeza del pan (Cauvain, 2004). Por otro lado, Bollaín *et al.*, (2006) investigaron la relación de las propiedades reológicas de las masas, las propiedades

viscoelásticas y el comportamiento mecánico dinámico, en las migas de panes elaborados con diferentes enzimas α -amilasa maltogénica, endoxylanasa, transglutaminasa y transferasas, permitiendo así determinar la calidad del pan por otras técnicas.

La resiliencia se correlaciona con el grado de envejecimiento. Por lo general, cuanto más fresco es el pan, más alta es su capacidad de recuperación, y en el pan duro no hay capacidad de recuperación. Los productos recién horneados son suaves, bien aireados y elásticos. El endurecimiento hace que la estructura de la miga o la matriz interna sea más rígida o firme y quebradiza con el tiempo. El valor de la resiliencia es generalmente más alto en productos horneados con textura masticable. La resiliencia del pan es directamente proporcional a su elasticidad, la resiliencia es la altura a la que se recupera el alimento durante el tiempo entre el final de la primera mordida y antes del comienzo de la segunda mordida. Cuando más resiliente es la miga de pan, más elástica es. Estas dos propiedades están asociadas con la frescura del producto (Van Vliet, 2014), en la [Figura No.9](#) se modela el primer ciclo del cual se calcula la resiliencia dividiendo A_2/A_1 .

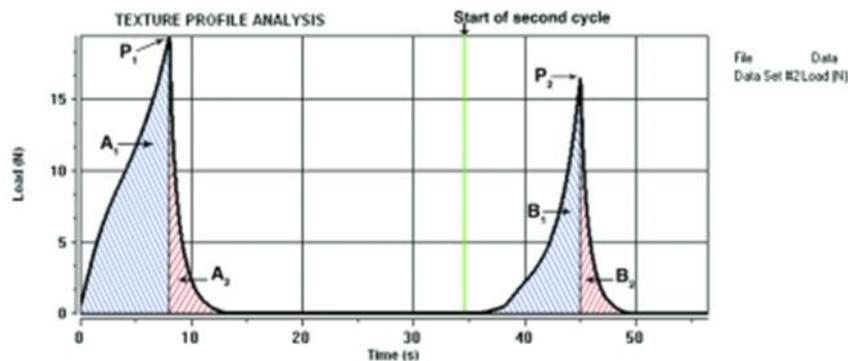


Figura No. 8. Gráfica para el cálculo de la resiliencia. (Otegbayo *et al.*, 2007)

8.4 Dureza del pan

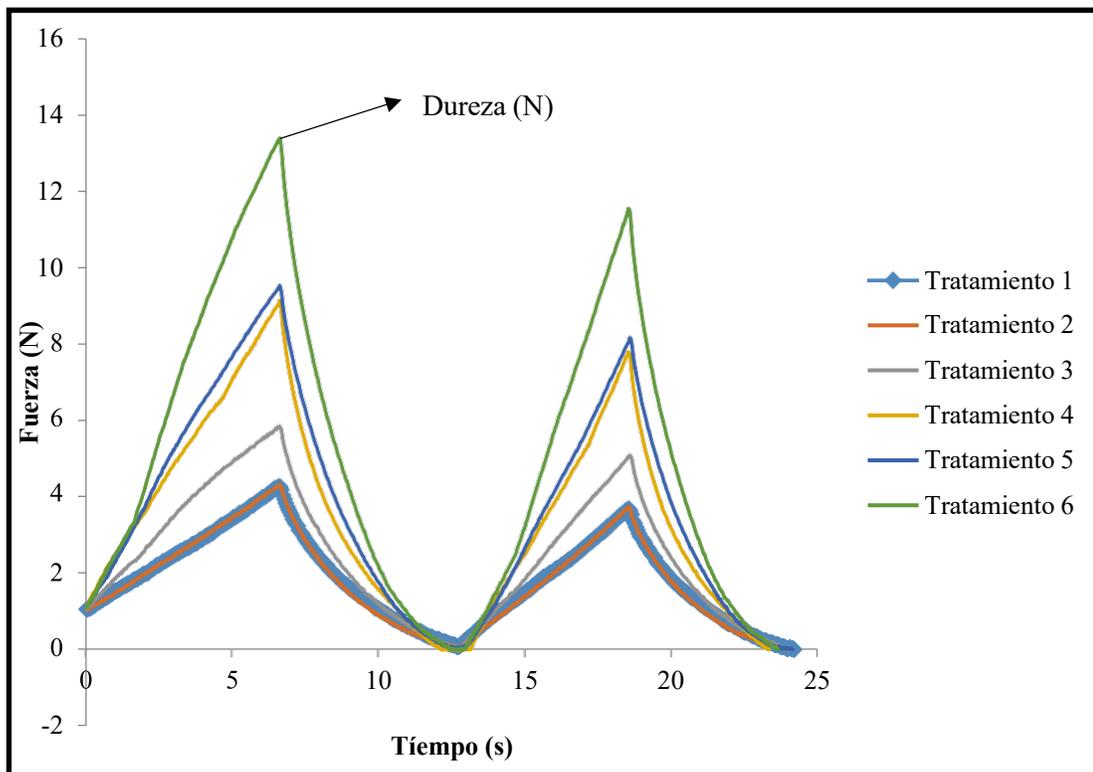
El rango de valores obtenidos para la variable dureza del pan se encuentra entre los rangos de 1.80 N y 5.01 N, con lo cual se formaron cuatro grupos diferentes estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) como se ve en la Cuadro No.5.

Derivado de lo anterior, se aprecia que los tratamientos con menor valor de dureza fueron los tratamientos T1 (control) con 1.80 N y T2 (Control + enzimas) con 1.78 N, y el de mayor dureza fue el T6 (Control + pregelatinizado de 10 min) con 5.01 N.

La textura del pan es un atributo sensorial importante para la preferencia del consumidor. Cauvain (2004) indica que, en una escala hedónica de 10 puntos para medir frescura, el 0 indicara poco duro y el 10 muy duro y que lo que se espera de un pan de caja es el valor entre 1 N y 2 N como indicador de frescura, y un centro cocido húmedo y suave, la dureza es la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de compresión que se ve representada en el punto más alto de la primera curva, imitando la primera mordida en un TPA únicamente. Lo anterior se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y paladar. En la Figura No. 10. Se observan los valores promedio de tres repeticiones donde el tratamiento T2 marcado por la línea roja, corresponde al control + enzimas y presenta un valor de dureza similar al pan del (T1), por otro lado, el pan del tratamiento T3 presenta el segundo valor más cercano a T1 que es el control, por lo tanto T2 y T3 son los tratamientos, que representan la menor dureza del pan de caja después del horneado o dicho en otras palabras son los panes más suaves, lo que sugiere que la presencia de enzimas maltogénicas, encargadas de la producción de dextrinas y maltosa, generan una masa con más azúcares fermentables generadores de CO₂. Los tratamientos T2 y T3 varían mínimamente su densidad con respecto a T1 control, el T3 genera el mayor volumen de los tratamientos con 84.17 cm³ generando más CO₂ y menor tamaño de alvéolos distribuidos de manera más homogénea

generando una dureza menor del 6.31% en rebanada con respecto a T1 y mayor dureza para pan completo con un 34.4% respecto a T1.

En contraste a los tratamientos mencionados la dureza para pan completo para T6 (línea verde), Figura No. 10, el valor máximo es 13.3N, resultado de la fuerza variable con respecto al tiempo (los datos de este gráfico no se muestran en el presente trabajo), en contraste con la Figura No.10. los valores observados en el cuadro No.5 de comparación de medias T6 representa el valor máximo de dureza con 5.01 N.



T1 = control, T2 = control + enzimas, T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T5 = control + pregelatinizado de 5 min, T6 = control + pregelatinizado de 10 min.

Figura No. 9. Dureza en panes completos

La segunda compresión de la figura anterior, muestra una curva de menor tamaño, que simula una segunda mordida del alimento, su comportamiento es similar a la primera, pero con valores menores debido a la desintegración del alimento.

Esta segunda curva de compresión y su correlación con la primera se utilizan normalmente para obtener el valor de cohesividad y la elasticidad valores que se obtiene de la división de A_2/A_1 y D_2/D_1 respectivamente. Sin embargo, ambos valores no son considerados para la presente investigación.

8.5 Determinación de CO₂ producido por la masa (volumen)

El volumen de CO₂, de los diferentes tratamientos, se encuentra entre 43.09 cm³ y 84.17 cm³. Formándose tres grupos del tratamiento de medias con diferencias estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Ver Cuadro No. 5. Se observa que T1 control es el tratamiento con menor volumen de CO₂ con 43.09 cm³ y el de mayor volumen fue el T3 (Control + enzimas + pregelatinizado de 5min) con 84.17 cm³. En la Figura No.11. se modela el comportamiento de la fermentación en base a la producción de CO₂ con respecto al tiempo para los seis tratamientos observándose una tendencia creciente máxima y mínima entre tratamientos

La variación en la producción de CO₂ generado en la fermentación se relaciona con la asimilación de los azúcares presentes en la masa, se estima por el volumen retenido en las redes del gluten que sirve para el leudado de la masa, además del vapor de agua y en menor proporción las fracciones de etanol generado.

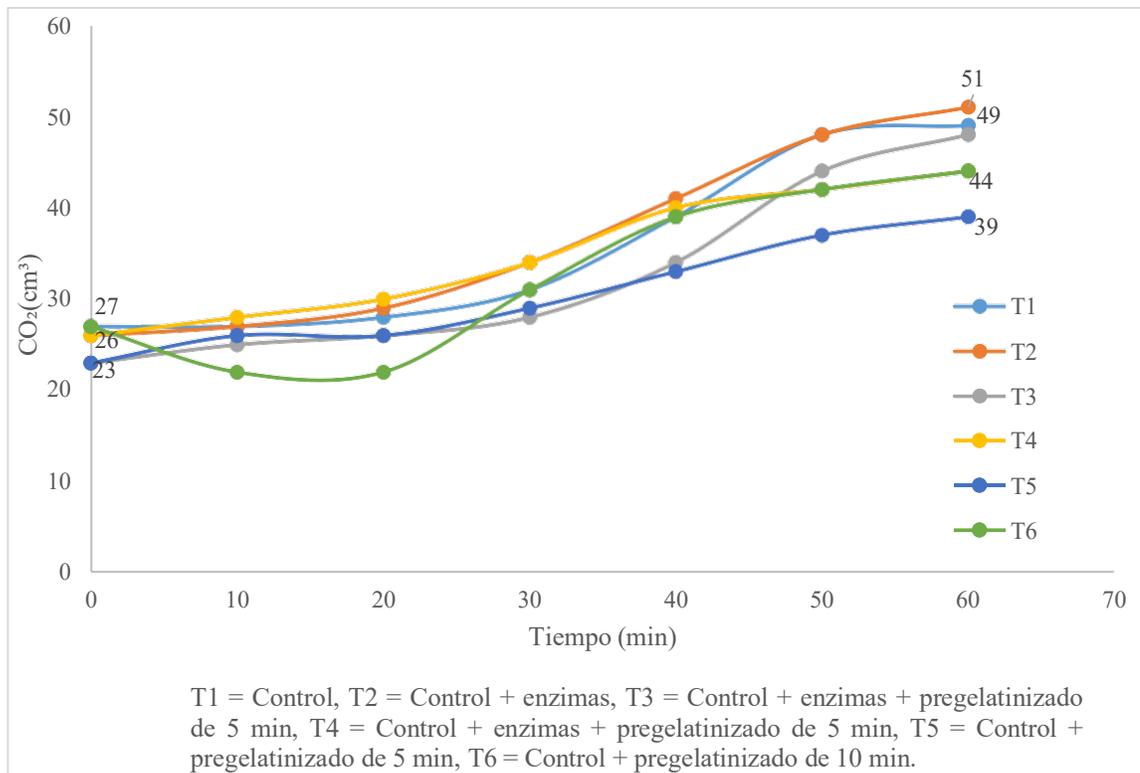


Figura No. 10. Comportamiento de la fermentación

En la Figura No. 11 se modela el comportamiento individual de cada uno de los seis tratamientos de la fermentación de las masas dado por el incremento de CO_2 conforme al tiempo. Durante el amasado en los primeros minutos, las masas en general tuvieron un volumen de fermentación inicial en el rango de 20 a 27 cm^3 , podría sugiriendo que es el tiempo inicial en que la levadura *Sacharomyces cerevisiae.*, inicia la generacipo de CO_2 hasta llegar al intervalo máximo de 39 a 51 cm^3 .

El volumen máximo alcanzado para cada tratamiento se calculó por diferencia del volumen inicial y final en el periodo de prueba, se determinó cada 10 minutos y se modelo el comportamiento de la fermentación en la Figura No.11.

8.6 pH

El rango de valores obtenidos para esta variable está entre 5.4 y 6.9; los resultados del pH en miga muestran que los tratamientos son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$); como se aprecia en el Cuadro No.5, mientras que, el análisis de comparación de medias indicó que se formaron tres grupos estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$), en el primero y con media más baja (5.4) está el T5 (control+ pregelatinizado de 5 min), solo este tratamiento, está dentro de las especificaciones de la norma (NMX-F159-S-1983), que indica que el rango debe encontrarse entre 4.5 y 5.8. El pH está relacionado con la fermentación debido a la producción de ácido láctico (Tejero, 2005).

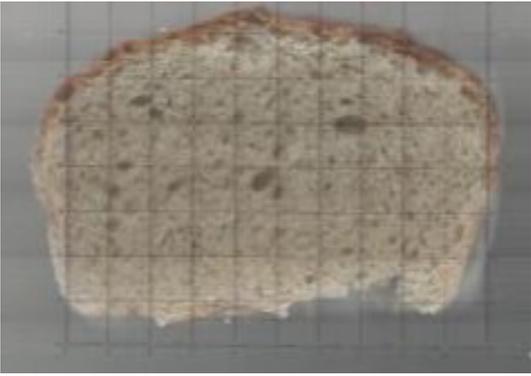
Los tratamientos T1, T2, T3, T4, y T6 se encuentran en un rango de 5.9 y 6.9 (pertenecen al segundo grupo estadístico con medias más altas que el primero), lo que sugiere que están por arriba de la norma antes mencionada, debido a la alta actividad de la levadura dada por los diferentes tratamientos.

El pH en panificación no puede ser muy ácido (por debajo de 4), porque potenciaría las reacciones de tipo láctico, acético y butírico, ni tampoco a un valor demasiado cercano al pH básico (por encima de 6), pues aumentaría el riesgo de aparición de *Bacillus mesentericus* produciendo el aspecto viscoso del pan o la formación de filamentos (Gil, 2010).

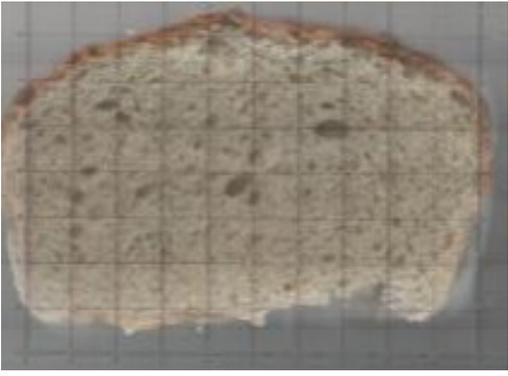
8.7 Tamaño de alvéolos

En el tamaño de alvéolos existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), y el rango de valores se encontró entre 11.51 mm² y 39.58 mm², tal como se aprecia en Cuadro No.5. En él se ve, que se formaron cuatro grupos estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). En el primero y con media más baja (11.5 mm²) está el T3 (control+ enzimas + pregelatinizado de 5 min) y el mayor es T5 (Control + pregelatinizado de 5 min) con 39.58 mm².

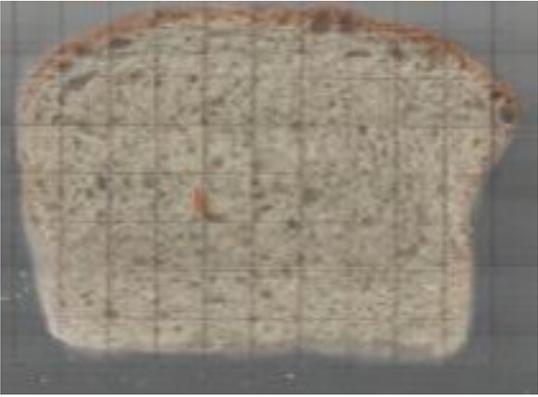
La Figura No.12 muestra las imágenes obtenidas de cada uno de los tratamientos. Cada rebanada de pan fue colocada en la superficie de papel acetato cuadriculado milimétricamente, y se determinó el tamaño promedio de los alvéolos considerando sólo los más grandes.



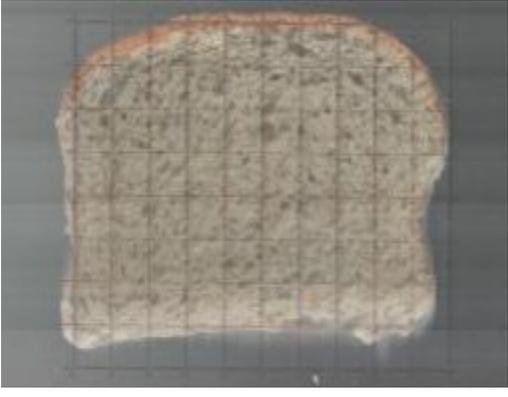
T1= 28.64 mm²



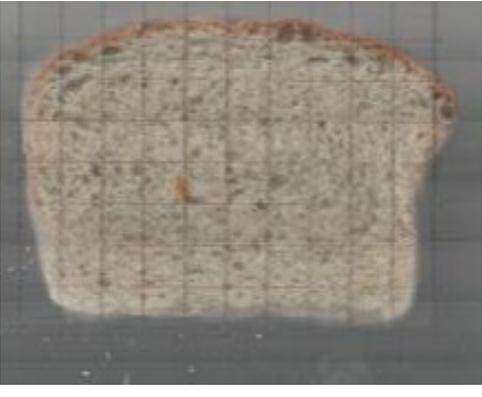
T2= 28.6 mm²



T3= 11.5 mm²



T4= 23.84 mm²



T5= 39.5 mm²



T6= 37.57 mm²

T1 = control, T2 = control + enzimas, T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T5 = control + pregelatinizado de 5 min, T6 = control + pregelatinizado de 10 min. mm²= milímetros cuadrados.

Figura No. 11. Imagen del tamaño de alvéolos

El desarrollo de alvéolos del pan es resultado de la formación de burbujas de CO₂, que se han producido en la fermentación cuando la levadura metaboliza la sacarosa y maltosa, para terminar con un horneado (Gil, 2010).

La forma y tamaño del alvéolo es un indicativo del grado de afinidad que tiene el almidón con el agua. Se ha demostrado que los alvéolos pequeños presentan menor volumen, pero mayor superficie de contacto lo que resulta en una mayor afinidad y retención del agua (Chiotelli y Le Meste, 2002)

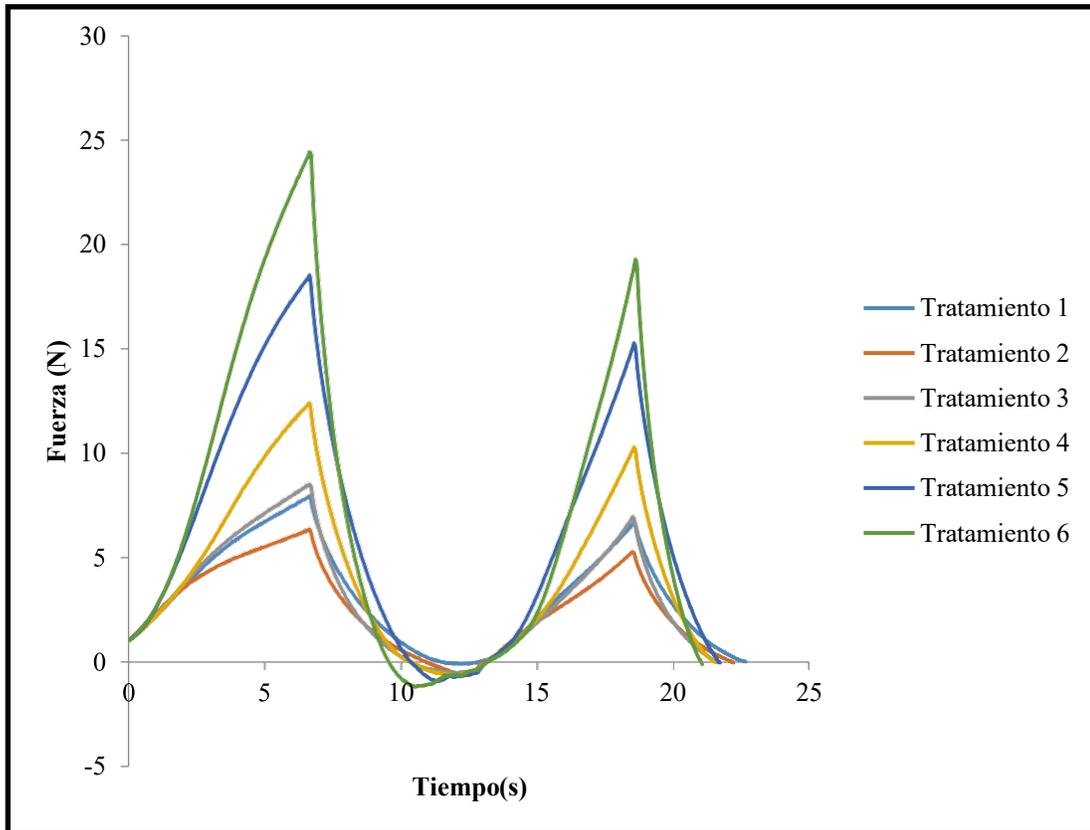
Los alvéolos grandes y amorfos se forman debido a la producción de etanol principalmente durante la fermentación y el horneado. Uno de los metabolitos secundarios que produce la levadura durante la fermentación es el etanol (en condiciones aerobias generalmente). Sin embargo, la mayor parte de las veces no se percibe, ya que se evapora. La levadura *Sacharomyces cerevisiae* necesita azúcares y oxígeno para producir CO₂ y etanol. No obstante, cuando la levadura no recibe oxígeno suficiente o éste escapa de la masa (se convierte en un proceso anaerobio) y se produce el etanol. Incluso, esto puede darse en condiciones aerobias cuando la cantidad de azúcares se encuentra en exceso (efecto Crabtree) (Quora, 2017). Así mismo, el etanol generado durante la fermentación y horneado se evapora participando también en la formación de alvéolos haciéndolos más grandes. En algunas ocasiones, al juntarse dos o más se generan cavidades mayores. Los alvéolos pueden disminuirse o evitarse con una manipulación e hidratación adecuadas (no excesiva), con un tiempo de fermentación y de horneado suficientes (50-60 min y 25 min respectivamente), y finalmente al desarrollar una buena red de gluten que pueda retener el CO₂. (Seasoned, 2013).

También se observó que la formación de alvéolos no fue igual para todas las muestras, ya que no leudaron igual. Debido a los diferentes factores que inciden en la generación de CO₂, como el tiempo de acondicionamiento de la levadura, el nivel de estrés y actividad de la levadura (*Sacharomyces cerevisiae*), así como la cantidad de azúcares fermentables, entre otros. La distribución del agua en la estructura también se relaciona con la producción de gas en la masa. Si el agua no se encuentra bien distribuida altera el microambiente de la levadura (*Sacharomyces cerevisiae*) provocándole daño celular y en consecuencia una menor producción de CO₂ (Mateboer, 2012).

8.8 Dureza en rebanadas

En la variable respuesta dureza en rebanadas, existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$), el rango de valores obtenidos se encontró entre 2.58N y 7.35N. Como se aprecia en el Cuadro No.5, del tratamiento de medias, se formaron dos grupos estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). Sin embargo, el valor más bajo, es decir las muestras más suaves estuvieron en los tratamientos T1, T2, T3 y T1 (3.31N, 2.58N, 3.1N respectivamente), es decir, el tratamiento T2 (control + enzimas) y T3 (control + enzimas + pregelatinizado de 5 min) fueron similares al testigo (T1). En contraste los tratamientos con mayor dureza en reabanada fueron el T4, T5 y T6 con 4.18N, 6.4N y 7.3N, respectivamente.

Para el caso de la rebanada de pan de caja, se obtuvo un centro cocido húmedo y suave. Como ya se dijo en un apartado anterior para la dureza de pan completo, ésta variable, es la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de compresión, que es el punto más alto de la primera curva, y se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y paladar, lo anterior se ve en la Figura No. 13.



T1 = control, T2 = control + enzimas, T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T5 = control + pregelatinizado de 5 min, T6 = control + pregelatinizado de 10 min.

Figura No. 12. Dureza en rebanadas del pan

Es importante tener la referencia del pan de caja Bimbo®, que es el más comercial y de fácil acceso en México, para hacer una comparación objetiva entre la propuesta del presente proyecto y los panes de prueba.

La Figura No.14 modela los tratamientos estudiados, específicamente los valores de las rebanadas más suaves, que corresponden a los T1, T2 y T3 vs el pan comercial Bimbo®.

La rebanada Bimbo® muestra menor dureza siendo la más suave, por debajo de todas las muestras estudiadas en este proyecto, seguida de cerca por los valores de dureza de las rebanadas del T2, conformadas por el control + enzimas, de manera similar el segundo tratamiento de menor dureza fue T3 conformado por

el control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, las variaciones de dureza, se atribuyen a la combinación de enzimas maltogénicas, y pregelatinizados a 5 y 10 min, (Mateboer, 2012). Ver Fig. No. 14.

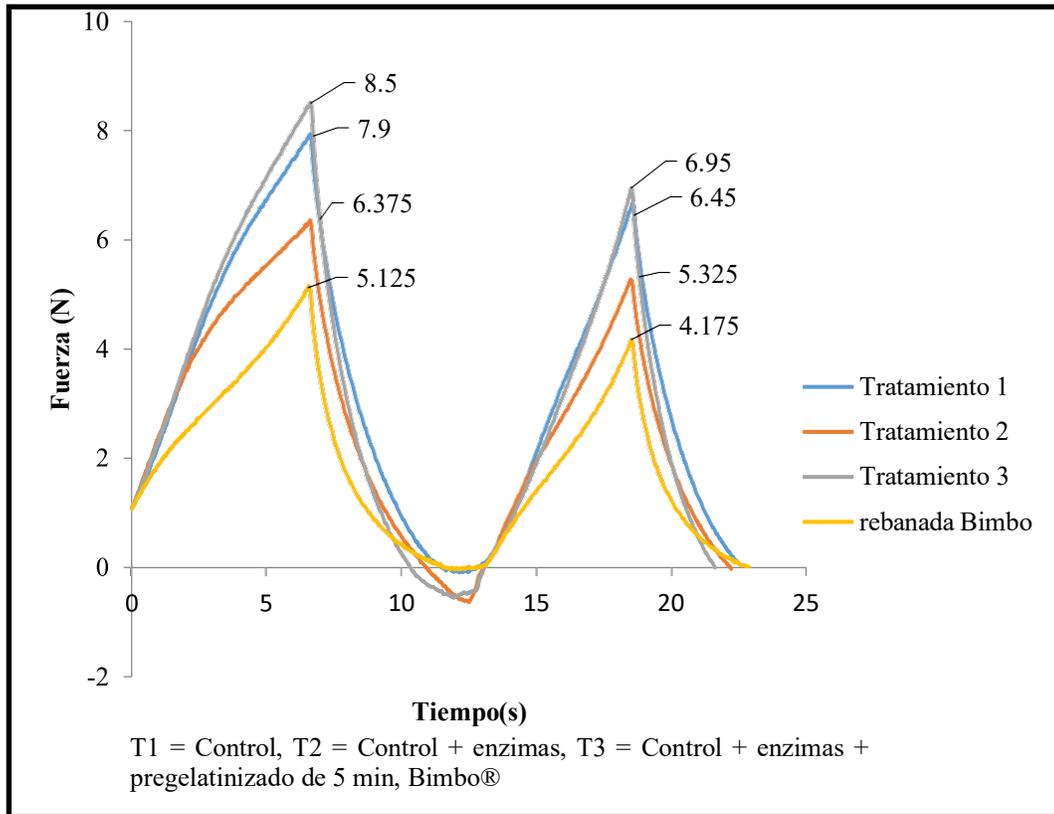


Figura No. 14. Dureza (N) en rebanas de los T1, T2, T3 y Bimbo®

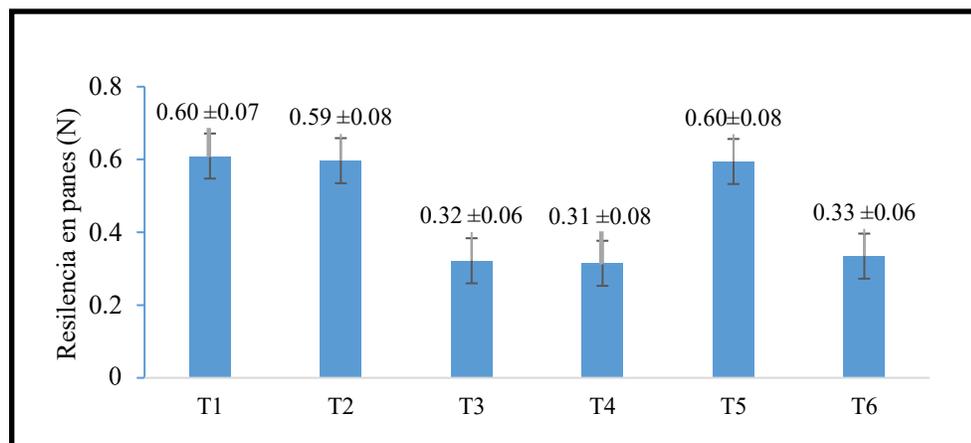
8.9 Resiliencia del pan completo

En la variable respuesta de resiliencia del pan completo, existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$). El rango de valores obtenidos en esta variable se encontró entre 0.31N y 0.6N, tal como se observa en el Cuadro No.5.

Se formaron dos grupos estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). En el primero y con media más baja se encuentran los tratamientos T3 (control+ enzimas+ pregelatinizado de 5 min), T4 (control+ enzimas+ pregelatinizado de 10 min), y T6 (control + pregelatinizado de 10 min), con 0.32N, 0.31N y 0.33N respectivamente.

En el segundo grupo se encuentra con mayores valores los T1 (control), T5 (control+ pregelatinizado de 5 min), ambos con 0.6 N, y el T2 (control + enzimas) con 0.59N. Lo anterior, se ve en la Figura No.15.

Se define como resiliencia del pan, a la capacidad de retroceder la miga o volver a su forma original cuando se somete a una fuerza de compresión. En la presente investigación, ésta variable se evaluó con el texturómetro las variables de dureza y resiliencia, utilizando una prueba de compresión doble. La resiliencia se determina automáticamente dividiendo el área durante la extracción de la sonda de la primera compresión entre el área de la primera compresión (Sahi, 2014).



T1 = control, T2 = control + enzimas, T3 = control + enzimas + pregelatinizado de 5 min, T4 = control + enzimas + pregelatinizado de 10 min, T5 = control + pregelatinizado de 5 min, T6 = control + pregelatinizado de 10 min,

T6 = control + pregelatinizado de 10 min.

Figura No. 14. Resiliencia en panes

De acuerdo con Cauvain, (2004). Algunos de los factores que pueden influir en los resultados de la resiliencia del pan son el contenido de proteínas de la harina de trigo, nivel de hidratación de la masa (absorción de agua de la harina, cantidad de azúcares en formulación, contenido de humedad del producto horneado según las condiciones de cocción, niveles de acondicionadores de masa como amilasas (bacterianas, fúngicas, cereales), lipasas y hemicelulosas y emulsionantes, desarrollo de la estructura del gluten, grado de levadura o gasificación durante la fermentación

CONCLUSIONES

IX CONCLUSIONES

El empleo de enzimas maltogénicas combinadas con pregelatinizados de harina de trigo logro modificar las características y valores fisicoquímicos del pan de caja entero y en rebanadas. Hubo tratamientos con mayor similitud al testigo en algunos parámetros de acuerdo a los resultados del ANOVA y el tratamiento de medias por Tukey.

Los tratamientos con mayor similitud al testigo estudiado tomando en consideración las variables de densidad, dureza y producción de CO₂ fueron los T2 (control + enzimas maltogénicas) y T3 (control + enzimas maltogénicas + pregelatinizado de 5 min). Con lo anterior se concluye que la formulación que asemeja o mejora los valores de T1 testigo es T3, en los valores L*, a*, b* presenta valores colorimétricos idénticos, la resilencia por rebanada y en pan completo demuestra mayor capacidad de recuperación después de aplicar una fuerza perpendicular.

En cuanto a la producción de CO₂ los tratamientos T2 y T3 mostraron la mayor producción de CO₂. En cuanto al tamaño de los alvéolos T3 mostro tener el menor tamaño, pero una distribución más homogénea, en lo referente al tamaño se citó con autor que se debe a una mayor hidratación. El estudio resulto ser de interés por los cambios fisicoquímicos observados en los diferentes tratamientos.

REFERENCIAS

X REFERENCIAS

Agrosíntesis. (2011). Panorama del trigo en México. Agrosíntesis. [en línea] Recuperado el 06/09/2022 de: <https://www.agrosintesis.com/se-incrementa-produccion-trigo/>

Armero, E. y Collar, C. Z. (1997). Texture properties of formulated wheat doughs Relationships with dough and bread technological quality. Lebensm Unters Forsch. Volume 204, Issue 2, pp 136-145: Recuperado el 06/03/2019 de <https://link.springer.com/article/10.1007/s002170050050#citeas>.

Ao, Z. y Jane, J. L. (2007). Characterization and modeling of the A and B granule starches of wheat, triticale, and barley. Carbohydrate Polymers, pp. 67, 46-55.

Badui, S. (2006). Química de los alimentos. Cuarta edición PEARSON EDUCACIÓN, México, pp 32-40.

Badui, S. (2013). Química de los alimentos (5ta ed.). México: Pearson, pp. 67-70.

Baiano, A. (2009). Physical and Mechanical Properties of Bread Loaves Produced by Incorporation of Two Types of Toasted Durum Wheat Flour. Journal of Food Engineering, 95(1), November, pp.199–207.

Bárcenas, M. E., Benedito, C., Rosell, C. (2004). Use of hydrocolloids as bread improvers. Interrupted baking process with frozen storage. Food Hydrocolloids 18: pp. 769–774.

Bollaín, C., Angioloni, A. and Collar, C. (2006). Relationships between dough and bread viscoelastic properties in enzyme supplemented wheat simples. Journal of Food Engineering, 7: 665–671p.

Boscarol, M. (2007). El espacio del color L* C* h. Imagen Digital. Recuperado el 08/03/2019 de: <http://gusgsm.com/espaciocolorlch>.

Brown, A. (2014). Understanding Food: Principles and preparation. Nelson Education: USA. pp.125-139

Caballero, P.; Gómez, M. y Rosell, C. (2007). Improvement of Dough Rheology, Bread Quality and Bread ShelfLife by Enzymes Combination. Journal of Food Engineering, 81(1), July, pp. 42–53.

Calaveras, J. (2000). Nuevo tratado de panificación y bollería. España: Mundi Prensa pp. 25-29, 38.

Callejo, G. M. J. (2002). Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 22-23; 25-35;67-72;90-101; 191-208.

Calvel, R. 1983. La Panadería moderna (No. 664.752 CAL. CIMMYT.) México, pp. 36-41.

Calvel, R., R.L. Wirtz y J.J. Macguire. (1990). The taste of bread. Trad. Francia, Editorial Jérôme Villette. P. 78–79.

Calvo Ivanovic, Ingrid. (2018). CÍRCULO CROMÁTICO. De Proyecta Color. (en línea). Recuperado el 08/03/2019 de <http://www.proyectacolor.cl/teoria-de-los-colores/circulo-cromatico/>.

Cauvain, SP. (2004) Mejora de la textura del pan. Textura en el volumen de alimentos 2: alimentos sólidos, Woodhead Publishing Ltd y CRC Press LLC, pp. 432–450.

Cauvain, S.P., Chamberlain, N., Collins, T.H., and Davies, J.A. (1983). The distribution of dietary fibre and baking quality among mill fractions of CBP flour. FMBRA Report N°105, July. CCFRA, Chipping Campdem, UK. pp. 132–150.

Clemente Mainer, N., C. Mayayo Martínez, M. Rozas Lúpon y S.S. Catalina Agreda. 2010. Análisis diferencial en distintos panes de molde. p. 72–76.

Díaz Yubero Ismael. (2014). Historia y presente del pan. Importancia alimentaria y cualidades nutricionales, pp.4-18.

DuPont, F. M., y Altenbach, S. B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. Journal of cereal science, pp. 133-146.

Gil, A. (2010). Panificación, biotecnología nuestra de cada día. Una bióloga en tu cocina. (En línea) Recuperado el 25/04/2019 de:

<https://unabiologaenlacocina.wordpress.com/2015/12/28/panificacion-biotecnologia-nuestra-de-cada-dia/>.

Greene, J. y Bovell, A. (2004). Macroscopic and sensory evaluation of bread supplemented with sweet — potato flour. *Journal of Food Science*. pp.167-173.

Jinhee Yi (2008). Improving frozen bread dough quality through processing and Ingredients. Georgia, pp 40.

Kamal, A. H. M., Kim, K. H., Shin, D. H., Seo, H. S., Shin, K. H., Park, C. S., Heo, H. Y. y Woo, S. H. (2009). Proteomics profile of pre-harvest sprouting wheat by using MALDI-TOF Mass Spectrometry. *Plant Omics Journal*, 2, pp. 110-119.

Lauterbach, S. and Albrecht, J. (1994). NF94-186 Functions of Baking Ingredients. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln.(en línea) Recuperado el 27/04/2019 de: <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/411>.

Liu, L, Wu, K., Jen, Y. y Yang, M. (2007). Effect of sweet potato leaf, stem addition on dough properties, and bread quality. *Food Science Technology International*. pp 239-244.

Luchian M. I. y Canja. C. M. (2010). Effect of salt on gas production in bread dough. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*. Vol 3 (52). pp.58-62.

Madamwar, D.; Shah, A. y Shah, R. (2006). Improvement of the Quality of Whole Wheat Bread by Supplementation of Xylanase from *Aspergillus Foetidus*. *Bioresource Technology*, 97(16), November, pp. 47–53.

Mandala, I.G. (2005). Physical Properties of Fresh and Frozen Stored, Microwave-Reheated Breads, Containing Hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*, 66(3), February, pp. 291–300.

Mateboer, A. (2012). Regional business director, food enzymes. *Biosciences*. Recuperado el 26/11/2019 de: <http://biosciences.dupont.com/careers/searchjobs/job/singlejob/regional-business-director-food-enzymes/>

Mestres, C.; Rouau, X.; Zakhia, N.; y Brabet, C. (1996). Physicochemical properties of cassava sour starch. En: Dufour, D.; O'Brien, G.M.; y Best, R. (eds).

Cassava flour and starch; progress in research and development. CIAT, Cali, Colombia. pp. 143-149.

Miller, R.A., Hosney, R.C. (2008). Role of Salt in Baking. In: CFW 53, p. 4-6.

Miyazaki, M., Van Hung, P., Maeda, T. y Morita, N. (2006). Recent advances in applications of modified starches for breadmaking. Trends in Food Science & Technology, 17, pp. 591-599.

Mondal, A., y Datta, A. K. (2008). Bread baking—a review. Journal of Food Engineering, 86(4), pp. 465-474.

Norma mexicana NMX-F-159-S-1983. (2008). Alimentos. Pan blanco de caja; Pan e industria panaria. (en línea). Recuperado el 28/10/2019 de: http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE02b_200801.pdf

Otegbayo, B., Johnson, A., Lawrence, A., Sakyi, E., Bokanga, M., And Asiedu, R. (2007). Texture Profile Analysis Applied To Pounded Yam.” Journal of Texture Studies 38. pp 3-4

Potter, N. y Hotchkiss, J. (2007). “Ciencia de los alimentos”, 5 th edición. España, p.p 421-450.

Bica, María Cristina, Bratucu, Gheorghe. (29 de Agosto del 2007). Producción de productos panificados. Revista Virtual Pro, (en línea). (Número 72), pp.29-30. Recuperado el 06/09/2019 de: <https://www.revistavirtualpro.com/revista/panificacion/19>

Quaglia, G. (1991). Ciencia y Tecnología de la Panificación. Editorial Acriba: Zaragoza, España. pp. 48.

Quora. (2017). Why is not Bread Alcoholic? Revist Forbes. (en línea) Recuperado el 06/09/2019 de: <https://www.forbes.com/sites/civcnation/2018/04/26/five-numbers-that-show-the-impact-free-college-can-have/#71156dc87d01>.

Rodríguez, E. (2003) Análisis Bromatológico de la Harina de Trigo y de pan francés. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Trujillo-Perú. pp 1-22.

Rosell, C. y Singh, H. (2004). Improvement of the Bread Making Quality of Rice Flour by Glucose Oxidase. *Food Research International*, 37(1), January, pp.75–81.

Sahi, SS, Little, K. y Ananingsih, VK. (2014). “Quality Control” Bakery Products Science and Technology, 2ª edición, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 490–509.

Serna-Saldivar, S.O., Gomez, M.H., and Rooney, L.W. (2009). Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. pp. 243- 304.

Shehzad Aamir, Ali Akbar, Rafiq Khan Moazzam, Asim Shabbir Muhammad, Rizwan Amjid Muhammad. (2012). Yeast, its types and role in fermentation during bread making process. *Journal of Cereal Science*, EUA. pp. 22-25.

Shewry, P. R., Napier, J. A., y Tatham, A. S. (1995). Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. *The Plant Cell*, 7, pp. 945– 956.

Shewry, P. R., Tatham, A. S., Forde, J., Kreis, M., y Mifflin, B. J. (1986). The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4, pp. 97–106.

Szczesniak A. (1975) General food texture profile revisited-Ten years perspective. *J. Texture Studies*. Vol. 6. pp 5-17.

Shittu, T., Raji, A. y Sanni, L. (2007). Bread from composite cassava-wheat: I Efect of baking time and temperature on some physical properties of bread load. *Food Research International*, March. pp.280-290.

Tejero, F. (2005). La evolución de los mejorantes en las masas. Asesoría Técnica en Panificación. (en línea) Recuperado el 18/12/2019 de: <http://www.franciscotejero.com/tecnicas/la-evolucion-de-los-mejorantes-en-las-masas/>.

Toufeili, I., Habbal, Y., Shadarevian, S. y Olabi, A. (1999). Substitution of wheat starch with nonwheat starches and cross-linked waxy barley starch affects sensory properties and staling of Arabic bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. pp. 185-186.

Van der Goot-Atze. (2011). Preparation of GlutenFree Bread Using a Meso-Structured Whey Protein Particle System. *Journal of Cereal Science*, 53(3), May, pp. 355-361.

Van Oort, M. (2010). Enzymes in foodtechnology – introduction. In: *Enzymes in foodtechnology*. 2. Ed. Edited Whitehurst. EUA. pp 89-111.

Van Vliet, T. (2014). *Reología y Mecánica de fracturas de alimentos*. CRC Press, Taylor y Francis Group, LLC. pp. 291–299.

Wanga, J., Rosell, C. and Benedito De Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry* 79, pp. 221–226.

Whitehurst Robert J. Law Barry A. (2002). *Enzymes in Food Technology*. Sheffield Academic Press. CRC Press LLC. pp. 85-90.

Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24, pp. 115-119.

Williams, T. y Pullen, G. 1998. *Ingredientes Funcionales*. En: Cauvain, S.; Young, L. *Fabricación de Pan*. Editorial Acribia: Zaragoza, España. pp. 51-92.

Zhao, F. J., Hawkesford, M. J. y McGrath, S. P. (1999). Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 30, pp. 1-70.