

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Estándares de Calidad en la producción de pan blanco de molde de una Empresa

Panificadora

INGE-2426

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Alimentos**

Presentado por:

Luis Fernando Chacón Páez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

El presente proyecto lo dedico a mis  
padres, hermanos y a mis amigos.

## Declaración Expresa

---

Yo Luis Fernando Chacón Páez acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 19 de mayo del 2024.



---

Luis Fernando Chacón Páez

## **Evaluadores**

---

**MSc Andrea Desire Ortega Suasnavas**

Profesor de Materia

---

**PhD Tania Maria Guzmán**

**Armenteros**

Tutor de proyecto

## Resumen

El objetivo de este proyecto era definir las especificaciones de textura para los panes de molde de mayor producción en una empresa panificadora en Guayaquil, para evaluar la aceptabilidad sensorial del consumidor local respecto al tiempo de vida útil del producto. Para ello, se seleccionaron cinco variedades de pan de molde blanco y se llevó a cabo un análisis detallado de textura mediante el uso de un texturómetro TA-XT plus. Este equipo permitió medir dos parámetros clave: la dureza y la resiliencia del pan, evaluados en intervalos específicos durante 28 días.

El desarrollo del proyecto incluyó la implementación de un diseño experimental ANOVA para determinar la influencia de factores como el tipo de pan, el lote de producción y el tiempo de vida útil sobre las variables de dureza y resiliencia. Además, se realizaron evaluaciones sensoriales utilizando pruebas afectivas de aceptación con una escala hedónica de cinco puntos, en las que participaron 30 panelistas semi-entrenados. Estas pruebas compararon las variedades de pan de la empresa con productos de la competencia, determinando la preferencia del consumidor.

Los resultados revelaron que todos los tipos de pan experimentaron un aumento en la dureza y una disminución en la resiliencia a lo largo del tiempo, especialmente en la segunda mitad del periodo evaluado. Las diferencias en la textura entre los lotes sugirieron que variaciones en la formulación y el proceso de producción afectaron significativamente la calidad del pan. En conclusión, la textura, medida a través de la dureza y la resiliencia, es un factor determinante en la aceptación del consumidor. Los hallazgos del proyecto indican la necesidad de optimizar el proceso de producción para garantizar un producto de alta calidad y consistencia.

**Palabras Clave:** Análisis de perfil de textura, dureza, resiliencia, pan de molde.

### **Abstract**

*The objective of this project was to define texture specifications for the highest production sliced breads in a bakery company in Guayaquil, to evaluate local consumer sensory acceptability concerning the product's shelf life. Five varieties of white sliced bread were selected, and a detailed texture analysis was carried out using a TA-XT plus texture analyzer. This equipment allowed the measurement of two key parameters: the hardness and resilience of the bread, which were evaluated at specific intervals over a 28-day period.*

*The development of the project included the implementation of an ANOVA experimental design to determine the influence of factors such as bread type, production batch, and shelf life on the hardness and resilience variables. Additionally, sensory evaluations were conducted using affective acceptance tests with a five-point hedonic scale, involving 30 semi-trained panelists. These tests compared the company's bread varieties with competitor products, determining consumer preference.*

*The results revealed that all bread types experienced an increase in hardness and a decrease in resilience over time, particularly in the second half of the evaluated period. The differences in texture between batches suggested that variations in formulation and the production process significantly affected bread quality. In conclusion, texture, as measured by hardness and resilience, is a determining factor in consumer acceptance. The project's findings indicate the need to optimize the production process to ensure a high-quality and consistent product.*

*Keywords: Texture profile analysis, hardness, resilience, sliced bread.*

## Índice General

Resumen.....	I
Índice General.....	III
Abreviaturas.....	V
Simbología.....	VI
Índice de Gráficos.....	VII
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Imagen.....	VII
Índice de Tablas.....	VII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Marco teórico.....	6
1.5.1 Harina de Trigo y Pan.....	6
1.5.2 Percepción de la Textura del pan de molde.....	7
1.5.3 Efecto de la formulación en los atributos sensoriales del pan de molde.....	8
1.5.4 Análisis de perfil de textura (APT).....	10
1.5.5 Parámetros del análisis del perfil de textura.....	11
Capítulo 2.....	13
2. Metodología.....	14
2.1 Establecimiento de especificaciones de textura para panes de molde.....	14
2.2 Análisis del deterioro de la suavidad y resiliencia en panes de molde.....	18
2.3 Evaluación de la aceptabilidad del consumidor local.....	21

Capítulo 3.....	24
3. Resultados y análisis .....	25
3.1 Obtención de las especificaciones de textura para panes de molde .....	25
3.1.1 Diseño ANOVA .....	25
3.1.2 Eliminación de datos atípicos.....	27
3.1.3 Especificación de textura .....	29
3.2 Análisis del deterioro de la suavidad y resiliencia en panes de molde.....	32
3.2.1 Variación del TVU .....	32
3.2.2 Efecto de la variación del tipo de Lote.....	34
3.2.3 Tratamientos óptimos como indicadores de mejoras en el proceso.....	37
3.2.4 <i>Determinación del tiempo de vida útil en función de la resiliencia y la dureza.....</i>	<i>43</i>
3.3 Evaluación de la aceptabilidad del consumidor local.....	45
3.3.1 Prueba afectiva de aceptación por atributos.....	45
3.3.2 Prueba afectiva de preferencia pareada.....	46
Capítulo 4.....	48
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	49
4.1.1 Conclusiones .....	49
4.1.2 Recomendaciones.....	50
Referencias.....	52
Apéndices.....	57



## Abreviaturas

AACC American Association for Cereal Chemists

AIB American Institute of Baking

APT Análisis de perfil de textura

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU Organización Naciones Unidas

TVU Tiempo de Vida Útil

## Simbología

cm	Centímetros
$\sigma$	Desviación estándar (sigma)
°C	Grados Celsius
g	Gramos
Kg	Kilogramos
mm	Milímetros
N	Newton
%	Porcentaje

### Índice de Gráficos

Gráfico 1 Toneladas producidas en abril para los tipos de pan con mayores ventas.....	14
Gráfico 2 Valores medios de dureza para cada tipo de pan en su TVU .....	29
Gráfico 3 Valores medios de resiliencia para cada tipo de pan en su TVU.....	30

### Índice de Figuras

Figura 1 Análisis de perfil de textura para la dureza y resiliencia.....	16
Figura 2 Esquema de factores y niveles para la dureza del pan de molde.....	19
Figura 3 Distribución de valores atípicos para el pan blanco sin corteza A 450g.....	28
Figura 4 Dispersión de la dureza entre TVU en variedades de pan.....	32
Figura 5 Dispersión de la resiliencia entre TVU en variedades de pan .....	33
Figura 6 Dispersión de la dureza en diferentes lotes .....	34
Figura 7 Dispersión de la resiliencia en diferentes lotes.....	36
Figura 8 Variación de media de lotes para tipo de pan.....	42

### Índice de Imagen

Imagen 1 Texturómetro TA-XT plus .....	15
Imagen 2 Prueba sensorial afectiva de aceptación proa tributos .....	22

### Índice de Tablas

Tabla 1 Condiciones de medición con el texturómetro TA-XTplus.....	16
Tabla 2 Corrida experimental para la medición de dureza y resiliencia en cada tipo de pan blanco.....	18
Tabla 3 Codificación de muestras para prueba de preferencia .....	21
Tabla 4 Diseño ANOVA para la dureza .....	25
Tabla 5 Diseño ANOVA para la resiliencia .....	26
Tabla 6 Intervalos de confianza para la dureza de cada tipo de pan en su TVU .....	38
Tabla 7 Intervalos de confianza para la resiliencia de cada tipo de pan en su TVU .....	39
Tabla 8 Medias de dureza y resiliencia experimental para soluciones optimas por tipo de pan .....	40
Tabla 9 Tiempo de vida útil para cada tipo de pan .....	43
Tabla 10 Preferencia total de tipo de pan por panelista .....	47

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

El trigo ha sido utilizado como una fuente de alimentación básica desde 6700 A.C y su harina representa un alimento básico para el 40% de la población mundial por medio de la elaboración de productos de panadería (Zarzycki et al., 2024). Actualmente, técnicas modernas industriales permiten la presencia en el mercado y la aceptación creciente del consumidor de un pan de molde que lleva distintas cantidades de grasa; logrando que sea más blando y menos perecedero, extendiendo su tiempo de vida útil y abarcando mayores sectores de la sociedad (Nakamoto et al., 2017).

Actualmente, los productos de panadería, específicamente el pan de molde, conforman una parte importante de una dieta equilibrada, lo cual, permite que haya una amplia variedad de estos productos en los supermercados. No obstante, factores como la temperatura de almacenamiento, humedad relativa, cantidad de conservantes, pH, material de envasado, contenido de humedad y actividad de agua ( $a_w$ ), inducen en cambios de la textura del pan (Kang et al., 2020). Esto se debe al deterioro de las características organolépticas de este producto, ya sea físicamente por el endurecimiento del pan, químicamente por el enranciamiento del pan, y/o microbiológicamente por la aparición de mohos (Gao et al. 2019).

La textura es una propiedad sensorial compleja que abarca un conjunto de dimensiones sensoriales tanto como táctiles, visuales y auditivas. Actualmente, se entiende que la textura es un indicador del nivel de agrado en la preferencia del consumidor. En el caso del pan, la dureza y resiliencia son responsables de la aceptación final por parte del consumidor y del volumen de ventas en manufactura sociedad (Nakamoto et al., 2017). De manera que, el estudio de la textura del pan consiste en la evaluación de distintos constituyentes de la masa y los tratamientos mecánicos y térmicos recibidos durante su elaboración (Laureati et al., 2020).

Específicamente, a la retrogradación del almidón se la atribuye al envejecimiento del pan junto con otros factores como el transporte del agua, cambios en la firmeza de la red de gluten y las interacciones entre sus componentes; ocasionando el aumento de la dureza del pan (Kang et al., 2020). Por lo tanto, el corto tiempo de vida útil del pan y la pérdida de frescura de la miga se asocian directamente con el aumento de dureza y de resiliencia; y, en consecuencia, la mejora de las propiedades físico-organolépticas de productos de panadería ha recibido mayor interés por parte de las empresas de panificación más representativas en el país.

## **1.2 Descripción del Problema**

Una entidad reconocida en el mercado de panificación está liderando un proyecto a nivel regional en Latinoamérica para mejorar la percepción sensorial de la textura de sus panes al momento de ser consumidos. Este esfuerzo se enmarca como un indicador estratégico de la calidad del producto final. En concreto, se pretende que la textura sea una característica distintiva que los diferencie irrefutablemente de la competencia a nivel global, desde el diseño de los productos hasta su monitoreo a lo largo de toda la cadena de valor. De modo que, se desea definir la textura en la línea de panes de molde de mayor producción de la empresa en Guayaquil, determinando curvas de dureza en 28 días. La empresa desea evaluar si el consumidor puede distinguir diferencias significativas sobre la suavidad y resiliencia (elasticidad) de sus panes frente a productos competidores.

Para determinar si el consumidor puede diferenciar la textura como un atributo distintivo en la elaboración del pan o si su aceptabilidad sensorial se constituye por otros atributos de calidad como el aroma y sabor, se evaluará sensorialmente a consumidores locales. De este modo, se podrá determinar si implementar un monitoreo de la textura de los panes de molde permite controlar más la calidad de sus panes al elaborarse en la cadena de producción o si hay que implementar mejoras respecto a su composición.

### 1.3 Justificación del Problema

El pan es uno de los alimentos más consumidos a nivel mundial, con un promedio de 70 kg por persona al año y una producción global estimada en 9 billones de kilogramos. En Ecuador, este alimento básico es igualmente vital, con un consumo promedio de 3.5 kg de pan de molde industrializado por habitante. Este tipo de pan no solo es una fuente esencial de energía, sino que también proporciona proteínas, almidones, vitaminas del grupo B y minerales cruciales para la nutrición humana (INEC, 2019).

La calidad sensorial del pan, que incluye atributos como la textura, el color, el sabor y el aroma, es fundamental para su aceptación por parte del consumidor. Sin embargo, una proporción significativa del pan producido se desperdicia debido a que no cumple con las expectativas sensoriales de los consumidores, lo que subraya la necesidad de mejorar estos atributos para reducir el desperdicio y aumentar la satisfacción del cliente (Mollakhalili-Meybodi et al., 2023).

La textura es un atributo crítico relacionado con la frescura y calidad percibida del pan. A través de evaluaciones sensoriales y pruebas de compresión, se ha identificado una correlación clara entre la textura del pan y su aceptabilidad para el consumidor. En particular, dos parámetros texturales clave—la dureza y la resiliencia—se deterioran con el tiempo, lo que afecta negativamente la frescura del pan. La dureza aumenta y la resiliencia disminuye, lo que conduce a una textura menos atractiva para los consumidores.

Desde una perspectiva industrial, es crucial comprender el fenómeno del envejecimiento del pan, que está relacionado con la retrogradación del almidón. Este proceso provoca un aumento en la firmeza del pan, influye en los hábitos alimentarios de los consumidores, y es un reflejo de las propiedades reológicas del producto. La retrogradación del almidón, junto con la transferencia de agua desde la miga hacia la corteza, son los

principales factores que contribuyen a la pérdida de frescura y calidad del pan, especialmente en el contexto local de Guayaquil (Mollakhalili-Meybodi et al., 2023).

Este proyecto se alinea directamente con dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU: ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico, y ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura. La mejora de la calidad del pan de molde, a través de la optimización de su textura, no solo impacta positivamente en la aceptación del producto por parte del consumidor, sino que también promueve un crecimiento económico sostenible al aumentar la eficiencia en la producción y reducir el desperdicio de alimentos. Además, al implementar innovaciones en los procesos de producción y almacenamiento del pan, se fortalece la infraestructura industrial, lo que contribuye al desarrollo de una industria más competitiva y responsable en Ecuador.

Por tanto, el enfoque en mejorar las propiedades físico-organolépticas del pan de molde es un esfuerzo estratégico que responde a las demandas del mercado y se alinea con la promoción de un desarrollo industrial más robusto y sostenible. Al garantizar un producto de alta calidad y aceptación, la empresa no solo mejora su competitividad, sino que también contribuye al bienestar económico y social a través de la creación de empleos decentes y el impulso de la innovación en la industria alimentaria.

La iniciativa busca definir especificaciones claras y consistentes de textura para los panes de molde con mayor producción, para asegurar una experiencia sensorial óptima para el consumidor local y reducir el impacto ambiental del desperdicio de alimentos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Definir las especificaciones de textura en los panes de molde con mayor producción en una empresa de panificación en Guayaquil, para evaluar la aceptabilidad sensorial del consumidor local, por medio del estudio del tiempo de vida útil.



### 1.4.2 Objetivos específicos

1. Establecer especificaciones de textura con el perfil de suavidad y resiliencia adecuado para los panes de molde de mayor producción.
2. Analizar el deterioro de la suavidad y resiliencia, en panes de molde elaborados con harina de trigo durante su tiempo de vida útil, para proponer mejoras de proceso.
3. Interpretar la aceptabilidad del consumidor local, por medio de evaluaciones sensoriales de preferencia de textura entre los panes de molde de la empresa y sus competencias en el mercado.

## 1.5 Marco teórico

### 1.5.1 Harina de Trigo y Pan

La harina es el ingrediente principal que proporciona la textura única y característica en la mayoría de los productos que es usada, lo que la hace un ingrediente único al poder convertirse en una masa cohesiva elástica al mezclarla con agua bajo las condiciones apropiadas. Este tipo de masa retiene gases leudantes que permiten la obtención al momento del horneado de un producto final de baja densidad, estructura celular uniforme, y una respuesta de resiliencia suave durante la masticación (Matz, 1987).

La única especie de trigo de importancia para su aplicación en panadería es *Triticum aestivum* L. o trigo común. Para propósitos comerciales, se denomina trigo rojo duro de primavera al trigo destinado a la molienda de harina para la obtención de harinas altas en proteínas. No obstante, se suelen realizar mezclas de este tipo de harinas con unas de menor porcentaje de proteína, ya que, pueden usarse para la elaboración de varios productos de panadería (Matz, 1987).

Cabe recalcar que, la medición de la dureza en la harina de trigo hace referencia a la capacidad de la harina para hacer una masa elástica y una hogaza de pan de baja densidad. La dureza depende primariamente del contenido de proteínas de gluten. Para harinas de alta

dureza se tiene un rango entre 12 a 14% de gluten, considerando que un 80% de la proteína representa la fracción de gluten compuesta por glutenina y gliadina (Matz, 1987). Por otra parte, el almidón es el carbohidrato principal en la harina de trigo, con un contenido de amilosa del 19 al 26%, y cuyos gránulos influyen en el tiempo de amasado, características de la masa y la respuesta a enzimas amilolíticas (Matz, 1987).

El pan es un alimento básico de la dieta humana durante siglos no sólo sirve como fuente de energía, sino también como proteínas, fibra y nutrientes esenciales. Su evolución, desde procesos iniciales de domesticación en el Creciente Fértil hace unos 10000 años tras el desarrollo de la agricultura hasta las técnicas de producción contemporáneas, ilustra la profunda simbiosis entre los humanos y su entorno y la adaptabilidad de plantas de producción a las necesidades sociales (Zarzycki et al., 2024). El pan de molde es un producto de panadería hecho con harina de trigo, agua, sal, levadura y agentes conocidos como mejorantes, que se mezclan juntos en proporciones adecuadas para amasar y fermentar para formar una masa viscoelástica que se terminará horneando para obtener una miga descrita como una espuma sólida con células abiertas, encapsuladas por una capa más firme de baja humedad, que es la corteza. (Mollakhalili-meybodi et al., 2023).

La formulación incluye la adición de manteca de aceite vegetal para desarrollar textura y sabor, azúcares como sustratos de fermentación y mejora de sabor y color, textura. Por otra parte, se añaden emulsificantes para extender el tiempo de vida útil del producto, agentes reductores u oxidantes para compensar deficiencias en el amasado, y colores, sabores o sustancias que conviertan al pan de molde en uno aceptable para el consumidor (Matz, 1987).

### **1.5.2 Percepción de la Textura del pan de molde.**

Tanto la miga como corteza del pan son cruciales para la percepción de textura al inicio de la masticación y depende del tamaño de la estructura de las células del pan, la cual va

cambiando a lo largo del consumo y está caracterizada por etapas sensoriales. De acuerdo con Voong y Westphal (2024), la experiencia sensorial al consumir el pan está inicialmente influenciada por la suavidad, la masticabilidad o el crujido del producto.

A medida que se mastica, el pan se descompone en un bolo mediante la acción combinada de la saliva y las amilasas en la boca, lo cual cambia la percepción sensorial hacia una fase dominada por la adhesividad, la suavidad y un aumento en la humedad. Esto suele ir acompañado de una disminución en la velocidad y la fuerza requerida para masticar y eliminar residuos del pan de la cavidad bucal o los dientes (Voong & Westphal, 2024).

En el caso de los panes, la fuerza de la red de gluten es crucial; ya que, un mayor contenido de proteína de gluten conduce a una red más fuerte y a una desintegración más lenta. Por tanto, los panes elaborados con harinas bajas en proteínas tienden a desintegrarse más fácilmente. Además, la presencia de materiales que interrumpen físicamente la red de gluten, como las fibras dietéticas o ciertas proteínas, debilitan la miga y afectan significativamente la desintegración según su contenido (Voong & Westphal 2024).

### **1.5.3 Efecto de la formulación en los atributos sensoriales del pan de molde**

La textura describe el rango de características físicas y organolépticas que tienen un rol crítico en la aceptabilidad del consumidor, debido a la relación directa de la textura con la calidad final del producto. Por ende, la microestructura del producto final está dictada por la interacción entre los ingredientes principales y su comportamiento durante diferentes parámetros de procesamiento. Mollakhalili-Meybodi et al. (2023), detalla los efectos de los ingredientes principales en la formulación de pan de molde en sus atributos sensoriales.

La harina de trigo se usa en la formulación de panes de molde por formar una red de gluten viscoelástica, que permita formar una masa con adecuada extensibilidad, elasticidad, resistencia a la deformación y pegajosidad. Por ello, se requieren harinas de trigo proteínico entre 9.5 % y 13.5 %, ya que, a medida que aumenta el contenido de proteína, se mejora la

elasticidad del pan y se previene la liberación rápida de gases durante la cocción (Matz, 1987).

Al momento de seleccionar la harina de trigo, se debe de considerar su capacidad de absorción de agua, que es cantidad de agua necesaria que determina la consistencia final del producto y depende a su vez de factores como almidón, almidón dañado, proteínas, contenido de pentosano, y la red gluten dentro de la masa (Zarzycki et al., 2024). Las proteínas de gluten conforman entre 80-85% total de las proteínas en la harina de trigo, y consisten en gliadina y glutenina; capaces de crear enlaces intra e intermolecular de disulfuro que crean una red de gluten que favorece la elasticidad y propiedades de retención de gases en la masa (Voong & Westphal, 2024).

El contenido de sal controla la actividad de las levaduras, fortalece la red de gluten, mejora el sabor final y reduce la actividad de agua. Por esta razón, el sabor salado es una de las percepciones sensoriales más importantes en productos horneados, ya que ayuda a intensificar el sabor dulce y opaca el sabor amargo y metálico. De acuerdo con estudios, el consumidor no percibió una diferencia significativa en el sabor del pan con contenidos de 20 g por Kg y de 15 g por Kg, indicando que el contenido de sal se puede reducir sin afectar la aceptabilidad del consumidor; no obstante, reducirla a 10 g por Kg, ocasiona que aumente significativamente el volumen específico del pan debido a mejoras en la fermentación de la masa. En consecuencia, se percibe un sabor y aroma a levadura en panes de molde con una mejor capacidad de retención de gases del gluten y una disminución de resistencia a la compresión en el pan.

El agua permite que la red de gluten se desarrolle y controla la temperatura de la masa para la actividad de la levadura, promoviendo a su vez la actividad enzimática. Si el contenido de agua es insuficiente, el gluten no se hidratará completamente y no se formará

una masa elástica; por eso, se recomienda un contenido de agua mayor al 10.5% para la obtención de un pan con un punto bajo crujiente y una mayor suavidad.

A su vez, la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) tiene la capacidad de transformar azúcares fermentables en alcohol, dióxido de carbono y diversos compuestos aromáticos, generando burbujas de aire en la masa aumentando el volumen y produciendo varios compuestos como alcoholes, ésteres, aldehídos y cetonas que mejoran el sabor y el aroma del pan. Por esta razón, la etapa de mezcla es el proceso más importante para el desarrollo de una estructura específica, en donde la unión de grasas con un alto punto de fusión permite la estabilización de burbujas de gas y la generación de una miga fina con un alto volumen (Voong & Westphal, 2024). Actualmente, se aplica el uso de emulsificantes para la formación de cadenas lineales de monoglicéridos con el almidón, para disminuir retrogradación de éste y extender la frescura del pan en su tiempo de vida útil (Voong & Westphal, 2024).

#### **1.5.4 Análisis de perfil de textura (APT)**

El análisis de perfil de textura (APT) sirve para determinar las propiedades texturales del alimento simulando la masticación de la mandíbula sobre un alimento, para simular su comportamiento cuando se mastica (Plummer, 2024). De manera similar, el texturómetro es el equipo utilizado para realizar el análisis de perfil de textura.

El método AACC (Asociación Americana de químicos en cereales), es el método estándar para medir la dureza en la miga del pan y consiste en el cálculo de la fuerza de compresión de una rebanada de pan de 25 mm de espesor y que se comprime un 25% de su altura total a una velocidad de compresión de 10 centímetros por minuto (AACC Method 74-09, 1988). La empresa General Foods, fue la primera en llevar el estudio en cuestión, donde se utilizó un émbolo de superficie plana que presionaba sobre la muestra, la cual tenía una

altura de 0,5 pulgadas (1,27 cm) y se incluía dos etapas de compresión realizadas por el émbolo a una velocidad de 42,5 pulgadas por minuto (García & Mechán, 2022).

Durante el proceso, se registraba la resistencia desarrollada por la muestra conforme era comprimida en un intervalo de tiempo. Por tanto, entre la primera y la segunda compresión se permitía que la muestra pudiera recuperar su forma original y así anotar la resistencia durante la deformación de la muestra en ambos ciclos de compresión (Plummer, 2024).

### **1.5.5 Parámetros del análisis del perfil de textura**

En la medición de la textura de la miga del pan, los atributos mecánicos de dureza y elasticidad, conocida actualmente como resiliencia, se relacionan con la masticabilidad. No obstante, la cohesión, viscosidad, adhesividad, fragilidad, y gomosidad están involucrados en la textura de la miga del pan. Montemurro y Pontonio (2024) nos explica a continuación el significado de cada atributo y su correlación con los resultados en un gráfico de ATP.

La dureza describe la firmeza de la corteza, correlacionada con la máxima fuerza necesaria para presionar el pan en el primer bocado, indicando así la fuerza requerida para una deformación específica. El valor de dureza representa la máxima fuerza en Newtons (N) alcanzada durante la primera compresión. Si la corteza se quiebra durante esta compresión, también se puede evaluar su fracturabilidad, que corresponde a la máxima fuerza aplicada antes de la ruptura.

La firmeza, se refiere a la pérdida de suavidad en la miga del pan, aunque también puede evaluarse en la corteza, especialmente si se desea mantener su atributo "crujiente". Este parámetro permite evaluar la frescura del pan durante su almacenamiento.

La resiliencia describe cómo la miga del pan vuelve a su forma original después de la primera compresión, siendo crucial para evaluar el proceso de endurecimiento del pan durante su almacenamiento, donde valores altos se asocian con mayor frescura. Se calcula

dividiendo el tiempo necesario para alcanzar el pico máximo de la segunda compresión entre el de la primera.

La cohesión, indica qué tan bien el producto resiste una segunda deformación, basándose en su resistencia durante la primera compresión, mientras que la adhesividad, es la fuerza necesaria para separar el pan de una superficie con la que está en contacto, se expresa como un número negativo y aumenta proporcionalmente con el valor absoluto. Por otra parte, La gomosidad, aplicable a productos semisólidos, y la masticabilidad, para productos sólidos, describen la energía requerida para desintegrar los alimentos listos para ser ingeridos. En el caso del pan, la masticabilidad se calcula multiplicando la dureza, la cohesión y la resiliencia, siendo un indicador clave de la facilidad de consumo del producto.

## **Capítulo 2**



## 2. Metodología

### 2.1 Establecimiento de especificaciones de textura para panes de molde.

Para establecer especificaciones de textura optimas, se utilizó la metodología definida por la dirección global de investigación y desarrollo de la empresa, junto con el Análisis de Perfil de Textura. La guía “Procedimiento Global para determinar la Curva de Pérdida de Suavidad en Productos” sirvió como base operativa para la creación de especificaciones de pérdida de suavidad y resiliencia en panes de molde blanco.

Se seleccionaron cinco variedades de pan de molde blanco, que representan el 20% del catálogo total de productos de una empresa panificadora en Ecuador. El pan de molde blanco constituye el 80 % de las ventas mensuales de la empresa, según los datos de producción de abril según el gráfico 1.

**Gráfico 1** Toneladas producidas en abril para los tipos de pan con mayores ventas



*Nota: datos proporcionados por la empresa*

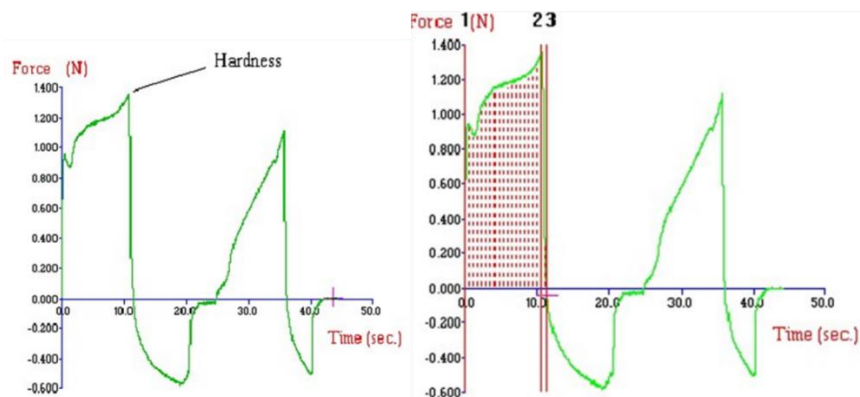
El estudio se llevó a cabo utilizando el Análisis de Perfil de Textura (APT), mediante un texturómetro TA-XT plus (Imagen 1), que permite evaluar la dureza y resiliencia del pan como atributos clave de textura como se señala en la Imagen 1.

*Imagen 1 Texturómetro TA-XT plus*



Se definió como dureza el pico de fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión (primera mordida) y con N (Newton) como unidad principal, mientras que la resiliencia se entendió como la medida en que el pan se recupera luego de una deformación, en términos de velocidad y fuerzas derivadas, para conocer el grado de recuperación elástica del material, ilustradas en la figura 2 y figura 3 respectivamente.

**Figura 1** Análisis de perfil de textura para la dureza y resiliencia



El análisis de textura se realizó para cada variedad de pan a partir del método estándar del AACC (Asociación Americana de químicos en cereales) para determinar la firmeza de pan. El equipo simuló la mordida generada por la boca de una persona, aplicando una fuerza controlada de compresión mediante una probeta. La resistencia que opone la muestra a la fuerza aplicada es mediante una celda de carga calibrada (Baker, 1987). La medición se hizo bajo las condiciones de la tabla 1.

**Tabla 1** Condiciones de medición con el texturómetro TA-XTplus

<i>Condición</i>	<i>Rango</i>
<i>Velocidad</i>	0.01 a 40 mm/s (milímetros por segundo)
<i>Posición de la sonda</i>	0.01 a 280 mm
<i>Celda de carga</i>	30 kilogramos (Kg)
<i>Rango de carga</i>	0.00 a 30000 g (gramos)
<i>Precisión</i>	± 1 g
<i>Rango de trigger</i>	0.5-500 g

Se configuró el software Exponent para realizar pruebas de compresión en las variedades de pan, especificando una profundidad de 32 mm, una velocidad de 10 mm/s y

una fuerza de contacto de 1 N. Se utilizó una sonda cilíndrica P/36R para las pruebas, obteniéndose como resultados la dureza y la resiliencia. Antes de iniciar los ensayos, se calibró la sonda para detectar la superficie de textura, descendiendo la sonda hasta acercarla a la superficie de prueba y seleccionando la opción "Calibrar Sonda" en la barra de menú del software. Se estableció una distancia de 32 mm para que la sonda regresara a su posición inicial tras cada ciclo de compresión de la muestra (Baker, 1987).

Se implementó la metodología del American Institute of Baking (AIB), descartando las tapas y las dos rebanadas de cada extremo de los moldes de pan, y estableciendo que el texturómetro debía realizar la medición utilizando dos rebanadas por muestreo. El producto se almacenó en un área de acondicionamiento a una temperatura de 20-25 °C, asegurándose de utilizar rebanadas de pan con una estructura de miga homogénea, es decir, sin presencia de agujeros o cavidades. Se seleccionó el ícono "Start Test" en el programa para iniciar la medición, tras la cual, al finalizar la segunda compresión, la sonda regresaba a su posición original y el programa generaba el gráfico de dureza.

Se tomaron muestras de cinco variedades de pan blanco seleccionadas. Utilizando la fórmula para el cálculo del tamaño de muestra:

$$n = \frac{Z^2 \times p \times (1-p)}{E^2}$$

Donde  $n$  representa el tamaño de la muestra a determinar,  $Z$  es el valor crítico de 1.96 correspondiente a un nivel de confianza del 95%,  $p$  es 0.5 para maximizar el tamaño de la muestra, y  $E$  es el margen de error del 15% ( $E = 0.15$ ), se determinó que el tamaño de la muestra sería de 45 datos. Para asegurar la consistencia del proceso de producción, se decidió tomar los datos en tres lotes distintos para cada variedad de pan.

Las muestras se evaluaron en cinco puntos durante su vida útil: en los días 1, 7, 14, 21 y 28, realizando 15 lecturas con el texturómetro en cada punto temporal.

**Tabla 2** Corrida experimental para la medición de dureza y resiliencia en cada tipo de pan blanco

Toma de datos por día

Tipo de pan	Día 1			Día 7			Día 14			Día 21			Día 28		
	# de Lote			# de Lote			# de Lote			# de Lote			# de Lote		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>Pan blanco sin corteza A 450g (A)</i>	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71
<i>Pan blanco in corteza B 450g (B)</i>	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72
<i>Pan blanco sandwichero 800g (C)</i>	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73
<i>Pan blanco de 550g (D)</i>	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74
<i>Pan blanco de 525g (E)</i>	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75

Según la Tabla 2, se realizaron 45 lecturas diarias para el APT en cada tipo de pan, lo que resultó en 225 datos de dureza y resiliencia por variedad. Para las 75 corridas experimentales, se obtuvieron un total de 1125 datos (Cronograma desarrollado para el seguimiento de la recolección de datos a lo largo de la vida útil de los panes se encuentra en el Apéndice A).

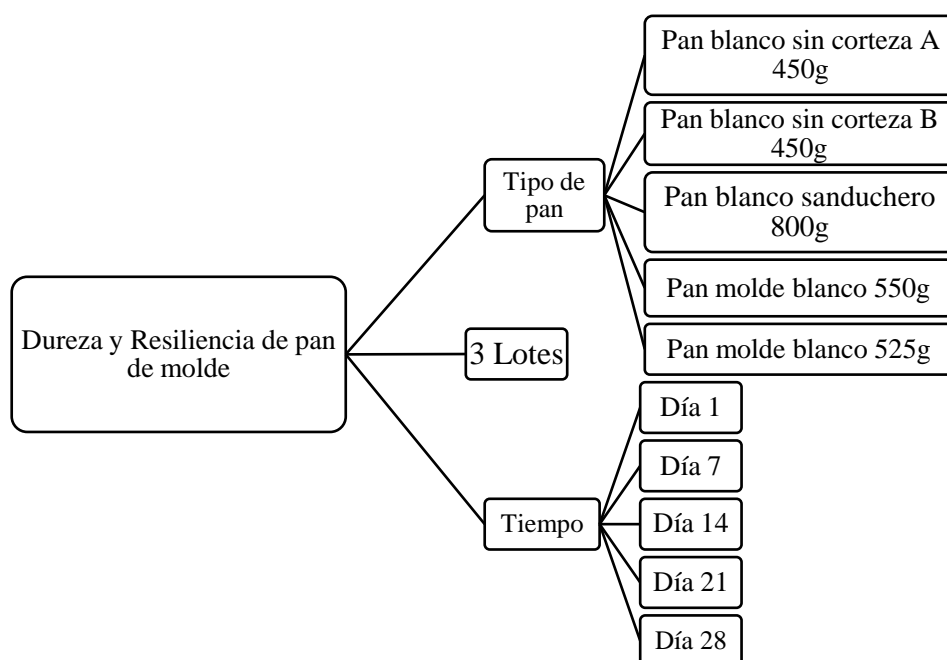
## 2.2 Análisis del deterioro de la suavidad y resiliencia en panes de molde

Para analizar el deterioro de la suavidad y resiliencia en panes de molde elaborados con harina de trigo durante su vida útil, se diseñó un experimento con variables categóricas para evaluar el impacto de tres factores: tipo de pan, lote y tiempo de vida útil (TVU), sobre la dureza y resiliencia del producto. Las mediciones se realizaron por triplicado para cada

variedad de pan, desde la fecha de elaboración hasta los 28 días de vida útil, que es el TVU establecido por la empresa para sus panes de molde.

Los resultados fueron analizados mediante una prueba ANOVA con un nivel de confianza del 95%, utilizando el software Design Expert V 23.0. Se planteó como hipótesis nula ( $H_0$ ) que los factores tipo de pan, lote y TVU no son significativos para las variables de respuesta de dureza y resiliencia. En contraste, la hipótesis alterna ( $H_a$ ) sostiene que los tres factores son significativos entre sí para dichas variables de respuesta.

**Figura 2** Esquema de factores y niveles para la dureza del pan de molde



Basándose en la metodología de Jahromi et al. (2014) y Różyło & Laskowski (2011), que emplea métodos estadísticos, incluidos intervalos de confianza, para la optimización de variables en la elaboración de pan de molde, se diseñó un proceso de optimización para identificar los tratamientos óptimos en función del tipo de lote, variedad de pan y tiempo de vida útil (TVU). El objetivo fue obtener la dureza mínima y la resiliencia máxima, verificando si los intervalos de confianza para las cinco variedades de pan de la empresa coinciden con las soluciones óptimas.

Se empleo un procedimiento sistemático. Este enfoque se fundamenta en los principios descritos por Montgomery (2012) y en los métodos de optimización detallados por Rey y Myers. Se utilizó los límites superiores e inferiores del intervalo de confianza para los factores de dureza y resiliencia, los cuales corresponden a los puntos en los que minimizar y maximizar la respuesta respectivamente. Posteriormente, se definió una muestra de seguimiento que se utilizó para verificar la validez del modelo optimizado.

El proceso de confirmación consistió en comparar el promedio de los datos de cada lote escogido por el modelo predictivo en el día 1, 14, 28 respectivamente (día inicio, día medio, día final) con el intervalo de confianza del para cada variedad de pan. Si el promedio de la muestra está en el intervalo de confianza, se considera que el modelo se ha confirmado exitosamente (Montgomery, 2012).

Se procedió a actualizar las especificaciones de textura para cada variedad de pan utilizando los valores óptimos indicados por el modelo matemático tras el análisis. Los valores de dureza mínima y resiliencia máxima optimizados para los días 1, 7, 14, 21 y 28 se establecieron como la mediana objetivo, mientras que los valores máximos y mínimos se determinaron a partir de la desviación estándar del modelo, siendo 92,40 para la dureza y 0,026 para la resiliencia.

La mejora en el proceso se validó mediante la comparación entre las curvas de suavidad iniciales y finales. Posteriormente, se verificó el tiempo de vida útil, definido como el periodo durante el cual los panes pueden permanecer almacenados antes de alcanzar la dureza máxima. Esto se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{Tiempo de vida útil (ts)} = \frac{\ln \frac{\text{dureza máxima inicial}}{\text{dureza máxima final}}}{K}$$

donde K representa la tasa de degradación de la suavidad del producto. De esta manera, se comprobó si el tiempo de vida útil de 28 días, declarado por la empresa, considera adecuadamente el nivel crítico de deterioro en términos de dureza que afecta a los panes.

### 2.3 Evaluación de la aceptabilidad del consumidor local

Para evaluar la aceptabilidad de los consumidores locales en relación con la textura de los panes de molde, se realizó una prueba afectiva de aceptación por atributos utilizando una escala hedónica con la participación de 30 panelistas semi-entrenados, con edades entre 20 y 25 años, pertenecientes a la Escuela Politécnica del Litoral en Guayaquil. Los panelistas evaluaron cinco variedades de panes producidos por la empresa, comparándolos con productos similares de la competencia mediante una prueba sensorial estructurada.

Durante la prueba sensorial, se compararon los atributos de dureza y resiliencia utilizando una escala hedónica de 5 puntos para cada variedad de pan de la empresa, frente a un producto de características similares de otra marca en el mercado. Cada panelista realizó cuatro pruebas sensoriales, dado que dos de los panes son competidores directos en el mercado, lo que hizo necesario incluir una prueba sensorial que comparara entre sí los panes de la propia empresa. Las muestras de pan se presentaron en rebanadas enteras, incluida la corteza, sobre platos plásticos blancos de 25 cm de diámetro, y se codificaron aleatoriamente, según se detalla en la tabla 3.

**Tabla 3** Codificación de muestras para prueba de preferencia

<i>Muestra</i>	<i>Código</i>
<i>Pan blanco sin corteza A 450g (A)</i>	526
<i>Competidor Pan blanco sin corteza A 450g</i>	725
<i>Pan blanco sin corteza B 450g (B)</i>	329
<i>Competidor Pan blanco sin corteza B 450g</i>	610
<i>Pan blanco 525g (C)</i>	510
<i>Competidor propio Pan blanco 550g (D)</i>	870
<i>Pan blanco sandwichero 800g (E)</i>	785
<i>Competidor pan blanco sandwichero 800g</i>	341



Cada panelista recibió un formulario impreso, un bolígrafo y un vaso con agua que se usó como limpiador de paladar (formulario entregado a los panelistas se muestra en el Apéndice B). La presentación de muestras consistió dos rebanadas de pan, que constituyeron la muestra objetivo y su competidor en el mercado. Ambas muestras fueron presentadas en un plato plástico desechable y codificadas con 3 dígitos. Las dimensiones de la rebanada de pan oscilaron entre 10 a 12×3 cm (incluyendo la corteza).

***Imagen 2 Prueba sensorial afectiva de aceptación proa tributos***



Hipótesis planteada:

$H_0$ : Los atributos de textura del pan (dureza y resiliencia) no influyen de forma significativa sobre el grado de aceptación del consumidor sobre los tipos de panes de molde blanco.

$H_a$ : Los atributos de textura del pan (dureza y resiliencia) influyen de forma significativa sobre el grado de aceptación del consumidor sobre los tipos de panes de molde blanco.

Se utilizó un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ) con una muestra de 30 panelistas para calcular el estadístico de prueba t. Para ello, se empleó la Tabla de Distribución T-Student (ver Anexo A) para determinar el valor crítico de t con (n - 1) grados de libertad. A continuación, se comparó el valor del estadístico t con el valor crítico obtenido. Si el valor de t es mayor que el valor crítico, no se rechazará la hipótesis nula, concluyendo que los atributos de textura del pan, como la dureza y la resiliencia, no influyen significativamente en

el grado de aceptación general de los panes de molde blanco por parte de los consumidores en el mercado.

Finalmente, se llevó a cabo una prueba afectiva de preferencia pareada para comparar las variedades de panes de la empresa con productos similares de la competencia. Se contabilizó cuántos panelistas eligieron cada tipo de muestra en cada prueba. De acuerdo con la tabla de Lawless (ver Anexo B), se estableció que, para un total de 30 panelistas y un  $\alpha$  de 0.05, el valor mínimo debe ser de 21 para evidenciar que los panelistas tienen una preferencia significativa por la muestra del pan de la empresa en comparación con su competidor.

## **Capítulo 3**

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1 Obtención de las especificaciones de textura para panes de molde

##### 3.1.1 Diseño ANOVA

*Tabla 4* Diseño ANOVA para la dureza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Valor F</i>	<i>Valor p</i>	
<i>Modelo</i>	4,893E+07	42	1,165E+06	136,49	< 0.0001	significante
<i>A-TIPO DE PAN</i>	4,150E+06	4	1,038E+06	121,56	< 0.0001	
<i>B-TVU</i>	3,732E+07	4	9,331E+06	1093,17	< 0.0001	
<i>C-LOTE</i>	1,397E+06	2	6,987E+05	81,85	< 0.0001	
<i>AB</i>	3,972E+06	16	2,482E+05	29,08	< 0.0001	
<i>AC</i>	1,676E+06	8	2,094E+05	24,54	< 0.0001	
<i>BC</i>	4,140E+05	8	51755,40	6,06	< 0.0001	
<i>Residual</i>	9,236E+06	1082	8535,94			
<i>Falta de ajuste</i>	1,029E+06	32	32170,13	4,12	< 0.0001	significante
<i>Error Puro</i>	8,206E+06	1050	7815,66			
<i>Cor Total</i>	5,817E+07	1124				
<i>R<sup>2</sup></i>	0,8412					
<i>R<sup>2</sup> ajustado</i>	0,8351					

El análisis ANOVA muestra que el valor F del modelo es 136,49, algo significativo estadísticamente. La probabilidad de obtener un valor F tan alto por azar es del 0,01%. Los términos del modelo se consideran significativos cuando el valor P es inferior a 0,0500. En este análisis, los términos A, B, C, así como sus interacciones, son significativos. Por otro lado, los términos con valores P superiores a 0,1000 se consideran insignificantes para el

modelo. Además, la falta de ajuste también es significativa, con un valor F de 4,12, lo que indica una probabilidad de solo 0,01% de que este valor ocurra por azar.

El  $R^2$  Predicho de 0,8284 muestra una buena concordancia con el  $R^2$  Ajustado de 0,8351, dado que la diferencia entre ambos es menor a 0,2. La Precisión Adecuada, que mide la relación señal-ruido, sugiere que un valor superior a 4 es deseable. En este caso, la relación obtenida de 49,201 indica una señal adecuada. Por lo tanto, se considera que este modelo es adecuado para explorar el espacio de diseño de manera efectiva (ver ecuación matemática en Apéndice C).

**Tabla 5** Diseño ANOVA para la resiliencia

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Valor F</i>	<i>Valor P</i>	
<i>Modelo</i>	2,07	42	0,0492	75,34	< 0.0001	significante
<i>A-TIPO DE PAN</i>	0,2983	4	0,0746	114,26	< 0.0001	
<i>B-TVU</i>	1,53	4	0,3832	587,01	< 0.0001	
<i>C-LOTE</i>	0,0275	2	0,0138	21,07	< 0.0001	
<i>AB</i>	0,0972	16	0,0061	9,31	< 0.0001	
<i>AC</i>	0,0883	8	0,0110	16,90	< 0.0001	
<i>BC</i>	0,0214	8	0,0027	4,10	< 0.0001	
<i>Residual</i>	0,7062	1082	0,0007			
<i>Falta de ajuste</i>	0,0288	32	0,0009	1,39	0,0730	No es significativo
<i>Error puro</i>	0,6775	1050	0,0006			
<i>Cor Total</i>	2,77	1124				
$R^2$	0,7452					
$R^2$ ajustado	0,7353					

El valor F del modelo de 75,34 indica que el modelo es significativo, con solo un 0,01% de probabilidad de que un valor F tan alto ocurra debido al ruido. Los valores P

inferiores a 0,0500 indican que los términos del modelo son significativos. En este caso, los términos A, B, C, así como sus interacciones, son significativos. Los valores superiores a 0,1000 sugieren que los términos del modelo no son significativos. Si hay muchos términos del modelo que no son significativos (excluyendo aquellos necesarios para mantener la jerarquía), la reducción del modelo podría mejorarlo.

El valor F de la falta de ajuste de 1,39 sugiere que hay una probabilidad del 7,30% de que un valor F de falta de ajuste tan alto ocurra debido al ruido. La falta de ajuste es un indicador negativo, ya que deseamos que el modelo se ajuste bien. Esta probabilidad relativamente baja (<10%) es preocupante.

El  $R^2$  Predicho de 0,7245 muestra una buena concordancia con el  $R^2$  Ajustado de 0,7353, ya que la diferencia es inferior a 0,2. La Precisión Adecuada mide la relación señal-ruido, y un valor superior a 4 es deseable. El valor de 36,339 indica que la señal es adecuada, lo que sugiere que este modelo puede utilizarse para explorar el espacio de diseño de manera efectiva (ver ecuación matemática en Apéndice C).

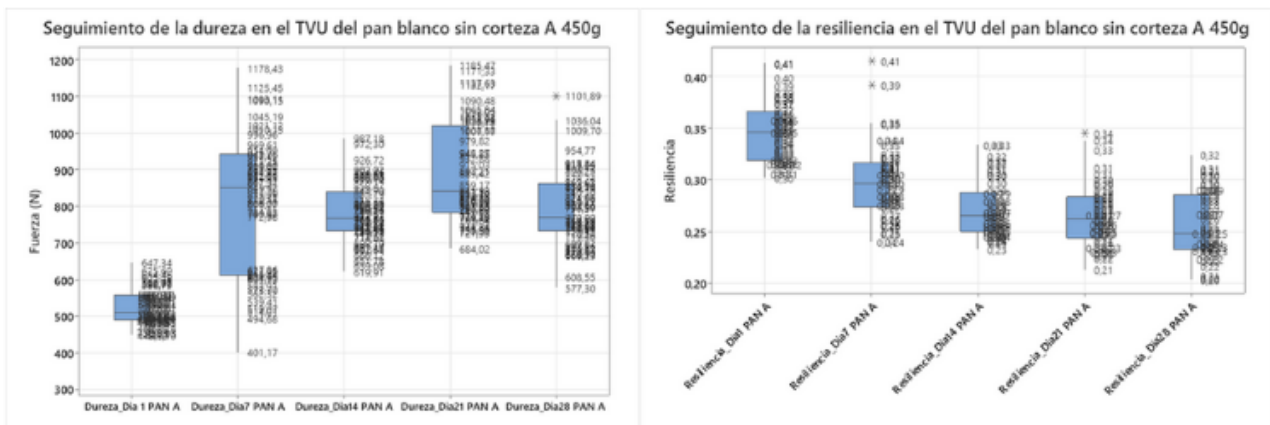
### **3.1.2 Eliminación de datos atípicos**

De acuerdo con Lee et al., el impacto del manejo de datos atípicos en la recolección de datos para el estudio de textura permite atenuar la relación experimental entre los datos de textura y las variables de estudio clave, en este caso, la dureza y resiliencia (2020). Para la identificación y eliminación de estos datos, se pueden implementar métodos estadísticos tales como métodos de puntuación Z o de rango Inter cuartil (RIC) que marcan los valores que se encuentran fuera de un rango específico (Chen & Opara, 2013).

De acuerdo con Fitrianto et al., el método de gráficos de caja y bigote (boxplot method) es efectivo en la identificación de manera preliminar de datos atípicos (2022). Se colocó los datos de dureza y resiliencia para cada tipo de pan en el Software Minitab 22.0, colocando en cada columna el total de los 15 datos obtenidos por día para los 3 lotes.

Se obtuvieron gráficos de caja y bigote para la dureza y resiliencia de los 5 tipos de panes, para visualizar la distribución del conjunto de datos para cada día de TVU e identificar los valores atípicos fuera del rango del gráfico. Estos datos atípicos se detallaron en las gráficas a continuación para el pan blanco sin corteza A de 450g. Los gráficos restantes se encuentran en el Apéndice C.

**Figura 3** Distribución de valores atípicos para el pan blanco sin corteza A 450g



La figura 3, represento las mediciones de dureza y resiliencia respectivamente para el pan blanco A sin corteza en los diferentes días de TVU. Para la dureza, los valores más altos indicaron que se requiere de más fuerza para comprimir el pan, con una tendencia al incremento de esta variable de respuesta conforme aumenta el tiempo de almacenamiento, mientras que las alturas de las cajas representaron la dispersión de los datos de fuerza. Los puntos individuales alrededor de cada caja mostraron la dispersión de las mediciones en cada día, indicando variabilidad en la dureza del pan desde el primer día.

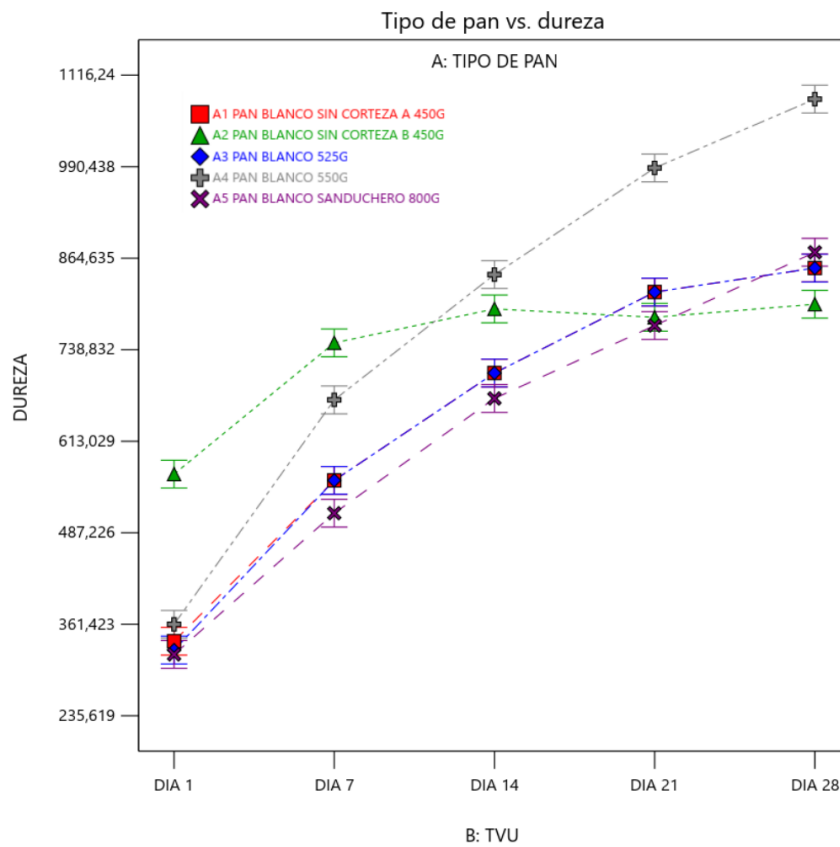
En el caso de la resiliencia, esta disminuyó gradualmente con el tiempo, lo que sugiere un pan menos esponjoso y firme a medida que avanzaba su TVU. Se evidenció una variabilidad en sus mediciones, no obstante, se reflejó una dispersión más consistente en comparación con la dureza. La aparición de asteriscos en cada gráfico permitió la eliminación de los datos atípicos para cada tipo de pan en su TVU. De esta manera, los datos usados para

el análisis de textura estuvieron libres de datos sesgados, permitiendo una distribución simétrica de datos (Hussain & Asad, 2020).

### 3.1.3 Especificación de textura

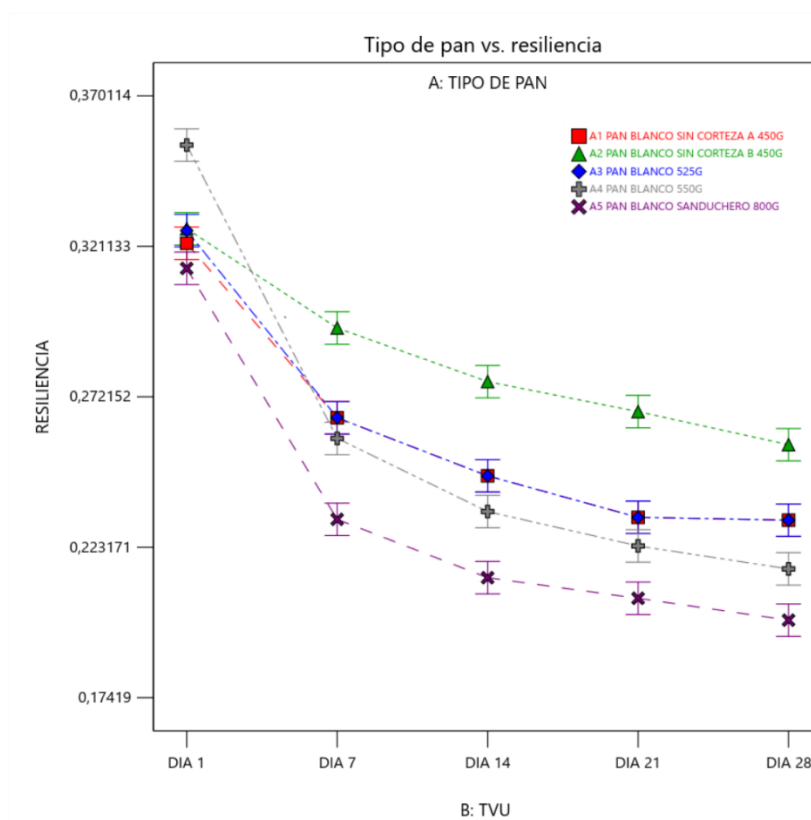
Para la determinación de los valores de dureza y resiliencia mínima, objetiva, y máxima respectivamente, se obtuvo de manera gráfica la media de dureza y resiliencia para cada tipo de pan en su TVU. A continuación, se presentan de manera visual las medianas de dureza y resiliencia para cada tipo de pan en su TVU.

**Gráfico 2** Valores medios de dureza para cada tipo de pan en su TVU





**Gráfico 3** Valores medios de resiliencia para cada tipo de pan en su TVU



El gráfico 2, indicó como todos los tipos de pan muestran un aumento en la dureza media a media que transcurre su TVU, lo que se espera por la retrogradación del almidón, la recristalización y el fortalecimiento de las moléculas de almidón, especialmente amilopectina, que se produce tras la gelatinización al hornear pan. Es un fenómeno muy íntimamente relacionado con la dureza del pan a lo largo del tiempo. La recristalización inducida por la retrogradación aumenta la firmeza y reduce la capacidad de retención de agua de la miga, lo que en última instancia conduce a la rigidez del pan (Zhou et al., 2019). Modificaciones en la formulación del pan, como la adición de almidones modificados o ingredientes que retarden la retrogradación, han demostrado reducir la velocidad de endurecimiento, indicando la relevancia de este proceso en la textura del pan almacenado (Gostin, 2019).

El pan blanco sin corteza B de 450g tuvo menos dureza que las otras variedades, y el pan blanco de 550g alcanzó, de 28 días, la mayor dureza al finalizar el TVU. Adicionalmente,

el aumento de la dureza se pronunció más entre el día 14 y el día 28, sugiriendo que los cambios estructurales más significativos ocurren en la segunda mitad del periodo de TVU.

El gráfico 3, verificó que la disminución de la resiliencia en los panes durante el almacenamiento se relaciona también con la retrogradación del almidón, que lleva a cambios en la estructura interna del pan, afectando negativamente su textura. Este proceso de recristalización del almidón contribuye a la pérdida de elasticidad y cohesividad en la miga, lo que resulta en una disminución de la resiliencia con el tiempo pan (Zhou et al., 2019).

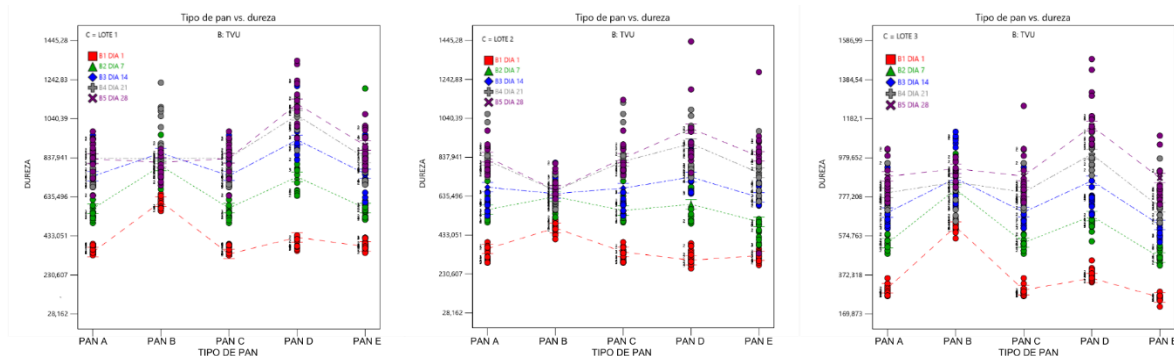
Tanto el pan blanco sin corteza A de 450g y el pan blanco de 525g iniciaron con niveles de resiliencia más altos, pero representaron una disminución rápida de esta en comparación con las otras variedades. Esto sugiere que pueden ser dos variedades de panes que pierden su elasticidad más rápido, mientras que las variedades de panes restantes a pesar de tener una resiliencia más baja mantuvieron su capacidad elástica de manera más constante en su TVU. Adicionalmente, el descenso de la resiliencia fue notable en los primeros 14 días de TVU, estabilizándose en los días posteriores; por lo tanto, la pérdida de elasticidad es más significativa en la primera mitad de TVU.

A partir de las medias de estas variables de respuesta para cada tipo de pan en el gráfico 2 y en el gráfico 3, se obtuvieron las especificaciones de estos atributos (ver Apéndice E).

## 3.2 Análisis del deterioro de la suavidad y resiliencia en panes de molde

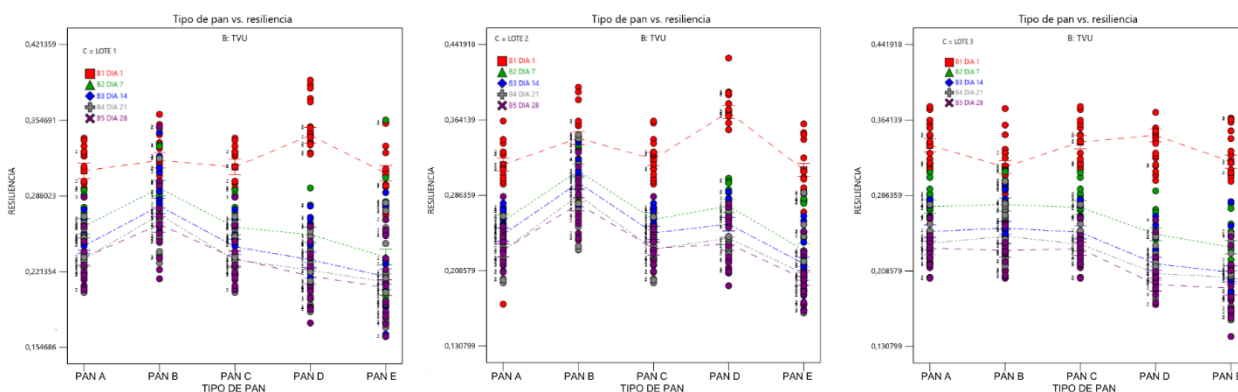
### 3.2.1 Variación del TVU

*Figura 4* Dispersión de la dureza entre TVU en variedades de pan



La figura 4 describió el aumento de la dureza con transcurso del TVU para cada variedad de pan, proporcionalmente, el día 1 mostro los valores más bajos, mientras que el día 28 mostro los valores más altos. En el lote 1, se evidencio variaciones en el incremento de la dureza pronunciadas a partir del día 14. En el lote 2, el rango de valores de dureza fue más amplio en los días 21 y 28. La dureza incremento más continua y menos abrupta que el Lote1, siendo un lote más consistente en el avance del TVU. El lote 3 alcanzó valores máximos de dureza mayores que en los otros lotes. Presento diferencias en la dureza entre las variedades de pan mayores en comparación a la de los lotes anteriores en los días 21 y 28. Por consiguiente, el lote 3 pudiera ser un indicador en desviaciones del manejo de la línea de producción iniciando con la formulación.

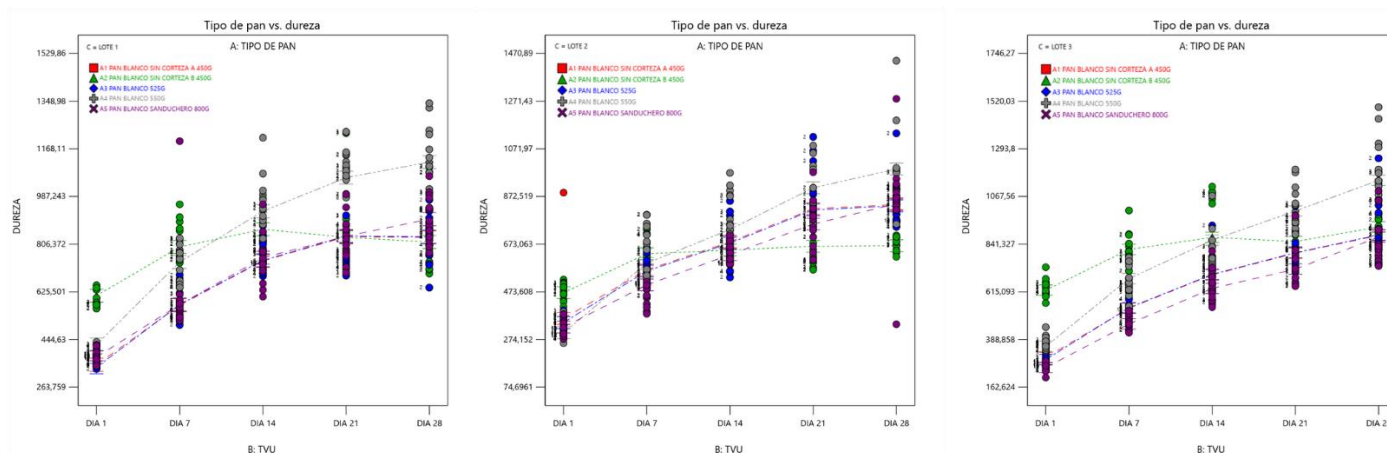
**Figura 5** Dispersión de la resiliencia entre TVU en variedades de pan



La figura 5, indicó como la resiliencia disminuyó en todos los tipos de pan a medida que avanzó el tiempo. Para el lote 1, los datos del día 1 mostraron los valores más altos de resiliencia, mientras que los del día 28 fueron los más bajos. El pan blanco de 550g con mayor resiliencia inicial en el día 1, indicó que pierde más elasticidad en comparación con las otras variedades. Para el lote 2, se evidenció una mayor capacidad elástica en los tipos de panes en los días 14 y 21, sugiriendo que ciertos tipos de pan tienen formulaciones que retrasan la pérdida de elasticidad. La disminución de la resiliencia uniforme en el lote 2, sugiere que este tuvo mayor control en su producción. En el lote 3, se visualizó más diferenciación entre los tipos de pan según el pan envejeció los días 14 y 21 y la caída de manera pronunciada de la resiliencia en el día 14 sugirió que el lote 3 fue más susceptible a la pérdida de elasticidad.

### 3.2.2 Efecto de la variación del tipo de Lote

*Figura 6* Dispersión de la dureza en diferentes lotes



En la figura 6, se evaluó la variación de lotes y su influencia en los valores de dureza.

En el Lote 1, todos los tipos de pan iniciaron con una dureza inicial relativamente baja, con el pan blanco sin corteza B de de 450g mostrando un valor de dureza mayor de 590,67 N en comparación con los panes restantes. Durante el día 7 hubo un aumento significativo en la dureza de todos los tipos de pan, con el pan blanco sin corteza B de 450g que siguió mostrando una dureza media de 811,16 N mayor a los demás.

En el día 14, continuó el incremento de la dureza para todos los tipos de pan, pero el pan blanco de 550g mostró un aumento de dureza más pronunciado en comparación con los días anteriores. En el día 21, el pan blanco de 550g alcanza los valores más altos de dureza media de 1089,87 N. En el día 28, la dureza de todos los tipo de pan alcanzó su punto máximo, con el pan blanco de 550g y el pan blanco sandwichero de 800g manteniendose como los panes con mayor dureza. Ambos tipos de panes blancos sin corteza de 450g terminaron la menor dureza con una diferencia de 696,76 N y de 786,94 N respectivamente para el tipo A y tipo B.

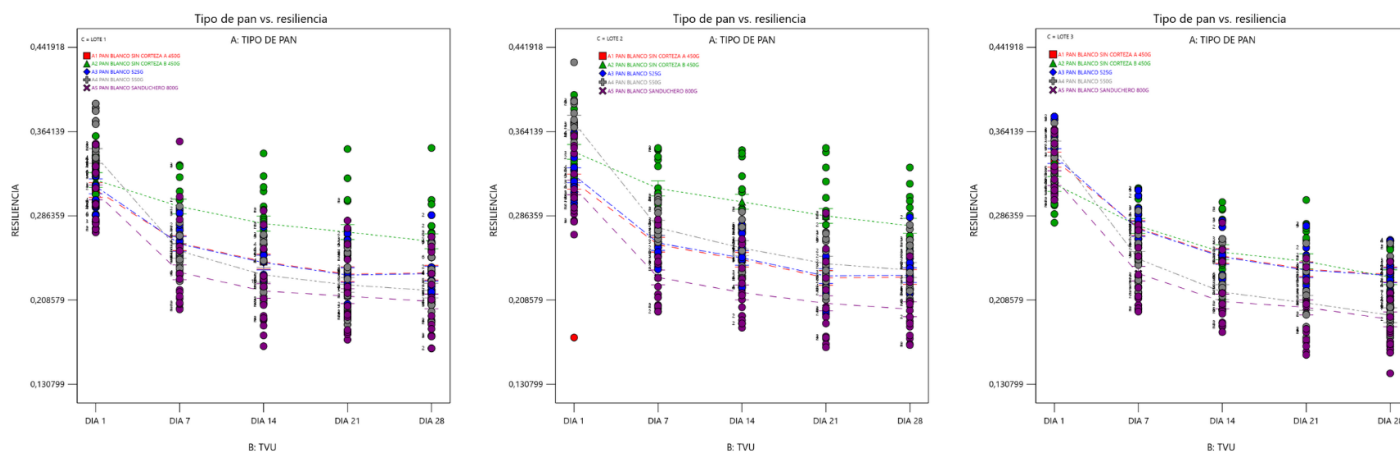
Para el lote 2, se evidenció un comportamiento similar al del primer lote. La diferencia significativa predominó en el pan blanco de 525 g, que mostró mayor dureza que el lote 1, del día 7 al día 28. De igual manera, para el lote 3, las tendencias de aumento de

dureza siguieron siendo similares a los gráficos anteriores, con el pan blanco sandwichero de 800g teniendo los valores mínimos de dureza para cada día de TVU, mientras que, tanto el pan blanco sin corteza A de 450g y el pan blanco de 525g presentaron una tendencia de aumento de dureza gradual desde el día 1 hasta el día 28. No obstante, el pan blanco sin corteza B de 450g presentó las mayores fluctuaciones de dureza media para cada día de TVU con un incremento no lineal.

Los tres tipos de lote presentaron variaciones en la dureza media para el mismo tipo de pan, esto se pudo deber a la variabilidad dentro y entre cada lote de harina de trigo usando en el proceso de la elaboración del pan, impactando la consistencia de la calidad del pan debido a factores como distintas mezclas de trigo en un mismo lote de harina (Li Vigni et al., 2013). El impacto en la dureza del pan estará dado por composición proteica de la harina, específicamente el balance entre gliadinas y gluteninas, que se encontró que correlaciona con la dureza del pan. De modo que, variaciones de la fracción proteica en los distintos tipos de lote influyen en las propiedades texturales del pan (Li Vigni et al., 2013).

A pesar de que los tres gráficos indicaron que todos los tipos de pan tienden a aumentar su dureza con el tiempo, el pan sandwichero blanco de 800g represento el aumento de dureza media de manera gradual en comparación con los otros panes. El pan blanco sin corteza A de 450g y el blanco de 525 g aumentaron de dureza de manera similar en los tres lotes, mientras que el pan blanco de 550g obtuvo el mayor crecimiento de dureza en el día 28. Por último, el pan blanco sin corteza B de 450g, presento para los tres tipos de lotes las mayores desviaciones en el comportamiento de su dureza, evidenciando una variación no gradual correspondiente al TVU.

**Figura 7** Dispersión de la resiliencia en diferentes lotes



En caso de resiliencia, según la figura 7, en el lote 1, la resiliencia disminuye progresivamente con el tiempo para todos los tipos de pan. El pan blanco de 550g mostró una resiliencia inicial más alta que fue disminuyendo con el tiempo. Tanto los panes sin corteza (A y B) y el pan blanco de 525g tendieron a mantener una mayor resiliencia en comparación con los otros tipos.

En el lote 2, las tendencias de disminución de la resiliencia fueron similares a las del lote 1. Sin embargo, la resiliencia inicial del pan blanco sin corteza B de 450g fue más baja en comparación con el primer lote. Para el lote 3, la tendencia fue consistente con los anteriores, pero destacó como el pan blanco sin corteza A de 450g y el blanco de 525g tuvieron la resiliencia inicial más alta, pero disminuyó más pronunciada que los anteriores.

Los tres tipos de lotes indicaron diferencias en los valores iniciales y la tasa de disminución entre los lotes. Para los tres tipos de lotes, el pan blanco sin corteza B de 450g presentó la mayor resiliencia inicial pero tuvo a su vez la disminución más pronunciada de su atributo en su TVU, mientras que, tanto el pan blanco sin corteza A de 450g y el pan blanco de 525g tuvieron valores similares de resiliencia en cada lote y compartieron una correlación similar en la tasa de disminución de esta variable de respuesta; lo que implicó que son tipos de panes que mantienen una elasticidad constante de manera prolongada en su TVU.

En el proceso de envejecimiento del pan blanco, se descubrió que la resiliencia es influenciada por el uso de enzimas y las condiciones de almacenamiento (Amigo et al., 2016). En el caso de estos panes, las condiciones de almacenamiento fueron las mismas para los tres tipos de lotes, ya que, cada lote de pan se obtuvo de la línea directa de producción y fueron almacenados en un ambiente seco y fresco durante los 28 días de TVU.

De modo que, el cambio en la resiliencia se pudo deber a variación del uso en cada lote de la enzima de tipo  $\alpha$ -amilasas maltogénicas, que alteran la cinética de envejecimiento espacial dentro del pan y proporcionalmente afectan la resiliencia de la miga de pan a lo largo del tiempo (Amigo et al., 2016). Adicionalmente, mínimas variaciones de la concentración enzimática dan apertura a diferencias significativas en la resiliencia, exponiendo la sensibilidad de este atributo textural a las variaciones de lote en el proceso de amasado industrial (Barbosa-Ríos et al., 2018).

### **3.2.3 Tratamientos óptimos como indicadores de mejoras en el proceso**

Se optimizó el diseño experimental para identificar el efecto de los factores del tipo de lote en el día inicial, medio y final de TVU en las variables de respuesta de dureza y resiliencia, ya que, los intervalos de confianza proveen una medida de la fiabilidad para los valores previstos de dureza y resiliencia en la calidad final del producto (Jahromi et al., 2014). Se obtuvieron los intervalos de confianza para cada variedad de pan a partir de las medias de dureza y resiliencia en cada día (ver media y desviación estándar en Apéndice F).



**Tabla 6** Intervalos de confianza para la dureza de cada tipo de pan en su TVU

Tipo de pan	TVU	Intervalo de confianza
<i>Pan blanco sin corteza A de 450g</i>	Día 1	363,90 <388,10>412,30
	Día 14	664,85 <706,70>748,55
	Día 28	801,90 <851,10>900,30
<i>Pan blanco sin corteza B de 450g</i>	Día 1	530,90 <567,90>604,90
	Día 14	760,00 <795,00>830,03
	Día 28	748,50 <801,40>854,30
<i>Pan blanco de 525g</i>	Día 1	304,40 <326,00>347,60
	Día 14	656,50 <706,70>756,90
	Día 28	810,60 <851,10>891,60
<i>Pan blanco de 550g</i>	Día 1	349,40 <361,30>373,20
	Día 14	786,70 <842,10>897,60
	Día 28	971,20 <1083,30>1195,40
<i>Pan blanco sandwichero de 800g</i>	Día 1	290,60 <319,90>349,20
	Día 14	635,00 <671,80>708,60
	Día 28	834,90 <872,80>910,70

La Tabla 6 presenta los intervalos de confianza para la dureza de varios tipos de panes en tres puntos de sus respectivas vidas: Día 1, Día 14, y Día 28. Según la tabla, la dureza del pan en todos los tipos de panes está aumentando con el tiempo, mostrando que la dureza está directamente relacionada con el envejecimiento del pan. Por el contrario, el pan blanco de 550g es mucho más rígido en términos del endurecimiento entre el día 1 (349,40 <361,30>373,20) y el día 28 (971,20 <1083,30>1195,40); por lo tanto, esta variedad de pan alcanza una dureza mucho mayor que el resto durante el almacenamiento.

**Tabla 7** Intervalos de confianza para la resiliencia de cada tipo de pan en su TVU

Tipo de pan	TVU	Intervalo de confianza
Pan blanco sin corteza A de 450g	Día 1	0,31<0,32>0,33
	Día 14	0,24<0,25>0,26
	Día 28	0,21<0,23>0,25
Pan blanco sin corteza B de 450g	Día 1	0,32<0,33>0,34
	Día 14	0,26<0,28>0,30
	Día 28	0,24<0,26>0,28
Pan blanco de 525g	Día 1	0,32<0,33>0,34
	Día 14	0,24<0,25>0,26
	Día 28	0,22<0,23>0,24
Pan blanco de 550g	Día 1	0,34<0,35>0,36
	Día 14	0,22<0,23>0,24
	Día 28	0,21<0,22>0,23
Pan blanco sandwichero de 800g	Día 1	0,30<0,31>0,32
	Día 14	0,20<0,21>0,22
	Día 28	0,18<0,20>0,22

La Tabla 7 ilustra los intervalos de confianza para la resiliencia, una propiedad inversa a la dureza, que se define como la capacidad del pan para recuperar su forma después de ser comprimido. De manera similar a la dureza, los intervalos de confianza para la resiliencia también disminuyen con el tiempo, lo que refleja que el pan se vuelve menos elástico. Un ejemplo de este tipo de envejecimiento es el pan blanco sin corteza tipo A de 450 g, que muestra una disminución en la masticabilidad de entre el día 1 (0,31 <0,32> 0,33) y el día 28 (0,21 <0,23> 0,25).

El aumento de la dureza y la reducción de la resiliencia observados están en línea con el fenómeno de la retrogradación del almidón, catalogado como la causa subyacente de la pérdida de suavidad y la abrumadora firmeza del pan (Różyło & Laskowski, 2011). Es un fenómeno común en panaderías de vida útil estable, y el deterioro de la textura se acelera con la recristalización del almidón y la migración del agua (Jahromi et al., 2014).

Estos límites superiores de dureza y más estrechos de resiliencia en los días finales del TVU revelan mayor variabilidad en la dureza de la miga de pan mientras que la resiliencia alcanza un mínimo y se estabiliza. Esto señala a la vez que, aunque la dureza aumenta de manera irregular la capacidad de recuperación del pan a su forma original después de una compresión se reduce.

Se busco optimizar cada variedad de pan en los días 1, 14 y 28, utilizando para la dureza el límite inferior del intervalo de confianza, que representa mayor suavidad durante el tiempo de almacenamiento del pan, y para la resiliencia el límite superior del intervalo de confianza, que representa mayor elasticidad del pan al realizar una compresión sobre este (ver en Apéndice G los tratamientos de optimización para cada variedad de pan).

**Tabla 8** Medias de dureza y resiliencia experimental para soluciones optimas por tipo de pan

Tipo de pan	Día	# de Lote optimo	Deseabilidad	Dureza optima	Resiliencia optima	Media de dureza del Lote	Media de resiliencia del lote	Existe variabilidad en el proceso (si/no)
Pan A	1	3	1,00	303,38	0,338	567,42	0,343	Si
	14	3	0,55	695,53	0,249	843,29	0,292	Si
	28	2	0,57	838,40	0,230	870,73	0,261	Si
Pan B	1	2	1,00	469,87	0,345	479,46	0,346	Si
	14	2	0,99	648,48	0,299	668,61	0,298	Si
	28	1	0,64	814,50	0,263	786,94	0,267	No
Pan C	1	3	1,00	293,72	0,341	369,68	0,313	Si
	14	2	0,55	677,38	0,248	641,13	0,253	No
	28	1	0,69	834,51	0,233	844,32	0,233	No
Pan D	1	1	1,00	302,29	0,372	387,84	0,352	No
	14	2	1,00	734,57	0,257	777,33	0,250	No
	28	2	0,97	987,56	0,236	933,58	0,232	No
Pan E	1	3	1,00	255,80	0,321	253,38	0,332	No
	14	2	0,88	629,24	0,216	643,70	0,213	No
	28	2	0,68	842,08	0,20	867,02	0,1999	No

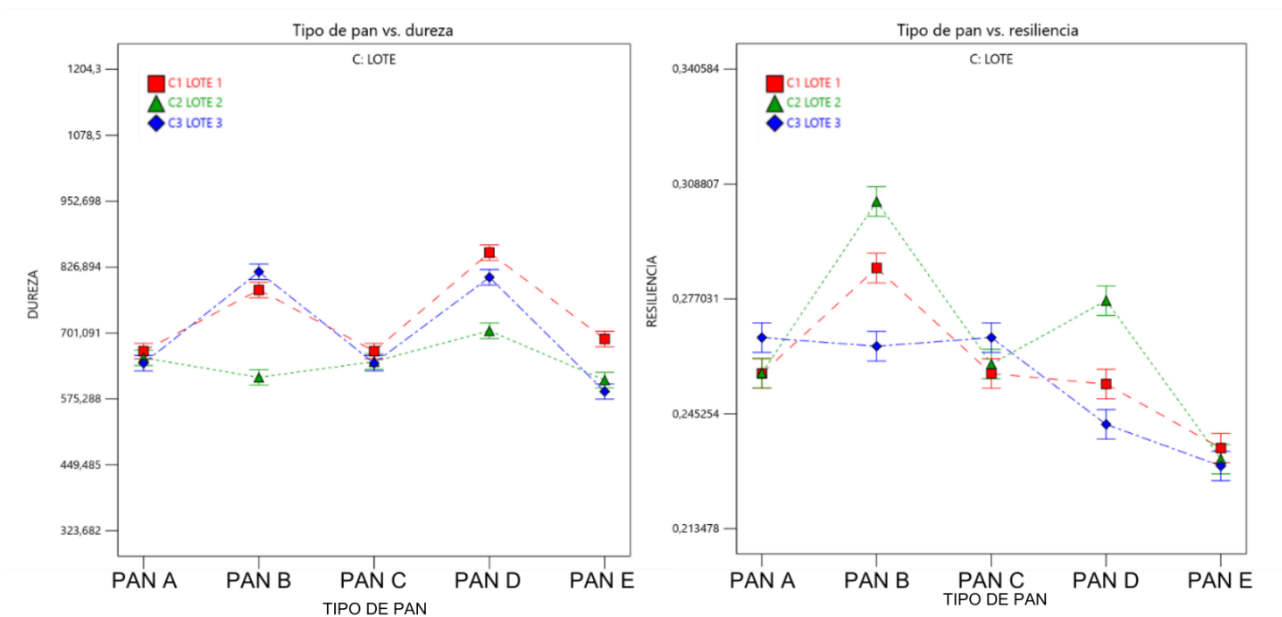
La Tabla 8 presenta un resumen de los resultados de la optimización para cada variedad de pan en tres momentos clave: el día 1 (inicio del tiempo de almacenamiento), el día 14 (mitad del tiempo de almacenamiento), y el día 28 (final del tiempo de almacenamiento). La optimización numérica proporcionó las medias óptimas de dureza y resiliencia, permitiendo optimizar los lotes con menores fluctuaciones en el proceso.

La validación de la optimización se llevó a cabo comparando las medias de dureza y resiliencia obtenidas con el texturómetro para cada lote de las distintas variedades de pan. Se consideró que, si los valores medios de dureza y resiliencia para cada lote se encontraban dentro del intervalo de confianza establecido para cada variedad, el proceso de producción no presentaba variabilidad significativa. Sin embargo, tanto el pan blanco sin corteza A de 450 g como el pan blanco sin corteza B de 450 g mostraron fluctuaciones en el proceso, reflejadas en valores fuera del intervalo de confianza.

En el caso del pan blanco de 525 g, se observó variabilidad en el Lote 1; sin embargo, para los Lotes 2 y 3, la optimización arrojó valores de dureza menores y de resiliencia mayores que los establecidos en el intervalo de confianza, lo que indica que el proceso no presentó variaciones significativas entre estos lotes. Por último, tanto el pan blanco de 550 g como el pan blanco sandwichero de 800 g obtuvieron valores óptimos de dureza y resiliencia menores que los del intervalo de confianza, confirmando la estabilidad y consistencia del proceso de producción.

Así que, la obtención de valores fuera del intervalo de confianza en un proceso de producción indica fluctuaciones en dicho proceso, reflejando posibles inconsistencias a abordar. Por otro lado, valores que se encuentran dentro de los intervalos de confianza propuestos pueden sugerir que el proceso se ha estabilizado, lo que permite evaluar con precisión la efectividad de las mejoras implementadas, asegurando que el producto final cumpla con las especificaciones de calidad establecidas (Wu, Shu, & Cheng, 2009).

**Figura 8** Variación de media de lotes para tipo de pan



De acuerdo con la figura 8, El análisis de la variabilidad en los valores de dureza y resiliencia entre los diferentes lotes de pan blanco (Lote 1 en rojo, Lote 2 en verde, y Lote 3 en azul) evidenció diferencias significativas que apuntan a posibles fluctuaciones en el proceso de producción. Estas variaciones son particularmente visibles en la dispersión de los valores de dureza y resiliencia para cada tipo de pan según el lote, lo que sugiere posibles inconsistencias en el control del proceso.

En cuanto a la dureza, los datos mostraron una variabilidad notable entre los lotes. El Lote 1 presentó los valores de dureza más elevados, seguido por el Lote 3, mientras que el Lote 2 registró los valores más bajos. Esta variación fuera del intervalo de confianza predefinido podría indicar fluctuaciones en la dureza del pan producido en distintos lotes, lo que podría estar relacionado con variaciones en etapas clave del proceso como el amasado, la fermentación o la cocción. La dureza es un parámetro significativo para evaluar la calidad del pan, y sus variaciones en este valor pueden reflejar inconsistencias en las condiciones del proceso, como la temperatura y el tiempo de cocción (Pintaude, 2022).

En el caso de la resiliencia, también se observó una variabilidad considerable entre los lotes. El Lote 2 destaca con valores de resiliencia significativamente más altos en comparación con los Lotes 1 y 3, lo que podría indicar una mayor capacidad del pan para resistir deformaciones sin romperse. Esta variabilidad sugiere que podría haber diferencias en la formulación o en el manejo de la masa que están afectando la estructura del pan. Los valores superiores de resiliencia y los menores de dureza observados en el Lote 2 pudieron interpretarse como el resultado de un proceso de producción más optimizado para este lote en particular, lo que indicaría una estabilización del proceso en comparación con los otros lotes (Wu et al., 2009).

### 3.2.4 Determinación del tiempo de vida útil en función de la resiliencia y la dureza

Se calculo el tiempo de vida útil tras la obtención de las especificaciones de textura optimas (ver Apéndice F). Para cada variedad de pan se determinó la constante K de degradación en términos de dureza a partir de los datos de dureza máxima para los días 1, 7, 14, 21 y 28 respectivamente. En la tabla 9 se presenta el TVU de cada pan.

**Tabla 9** Tiempo de vida útil para cada tipo de pan

<i>Tipo de pan</i>	<i>Dureza máxima inicial (N)</i>	<i>Dureza máxima final (N)</i>	<i>Constante K</i>	<i>Tiempo de vida útil (días)</i>
<i>Pan Blanco A sin corteza de 450g</i>	303,90	838,40	0,0356	29
<i>Pan Blanco B sin corteza de 450g</i>	469,90	814,50	0,0167	33
<i>Pan Blanco C de 525g</i>	293,70	834,50	0,0361	29
<i>Pan Blanco D de 550g</i>	987,60	987,60	0,0406	29
<i>Pan Blanco E sandwichero de 800g</i>	255,80	842,10	0,0418	29

El tiempo de vida útil declarado por la empresa es de 28 días. El cálculo de la cinética de vida útil determinó que el TVU para cada variedad de pan es de 29 días para las 4 variedades de panes a excepción del pan blanco B sin corteza de 450g que tuvo uno de 33 días. Por lo tanto, el tiempo de TVU declarado por la empresa considera la tasa de degradación de la suavidad del producto y considera el nivel crítico de deterioro en términos de la dureza máxima que afecta a los panes.

Se evaluó las mejoras en el proceso de producción de las variedades de pan blanco, centrándose en el tiempo de vida útil (TVU). El Pan Blanco A sin corteza de 450g presenta una dureza máxima de 838,40 N, considerablemente menor que la media de su competidor de 450g al día 21, que alcanza los 1110,50 N. Aunque tenga un tiempo de vida útil similar, la menor dureza sugiere una textura más suave al final de su vida útil, lo que podría favorecer al consumidor. Por otro lado, el Pan Blanco B sin corteza de 450g, con un tiempo de vida útil de 33 días, presenta una dureza máxima final de 814,50 N, inferior a la dureza media de su competidor de 450g en el día 21 (1042,30 N). Esto indica que, incluso con un tiempo de vida útil prolongado, el pan mantiene una textura más suave en comparación con su competidor.

El Pan Blanco C de 525g muestra una dureza máxima final similar a la del Pan Blanco A (834,50 N). Comparado con el Pan Blanco D de 550g, un competidor interno, este último exhibe una dureza máxima final más alta que las otras variedades internas, aunque sigue siendo inferior a los valores observados en los competidores, pero ligeramente superior a la dureza máxima del Pan Blanco C. El Pan Blanco E sándwich de 800g presenta una dureza máxima final ligeramente inferior a la dureza media del competidor de 800g en el día 21 (1032,50 N).

En conjunto, las variedades de pan blanco analizadas muestran una dureza máxima final inferior a la de los competidores, incluso con un tiempo de vida útil extendido. Esto sugiere un proceso de producción optimizado, que no solo extiende la vida útil de los panes, sino que también mantiene una textura más deseable para los consumidores.

### 3.3 Evaluación de la aceptabilidad del consumidor local

#### 3.3.1 Prueba afectiva de aceptación por atributos

Se validó, mediante la prueba T de Student para dos muestras, si los atributos de dureza y resiliencia influyen significativamente en la aceptabilidad del consumidor local. La hipótesis planteada fue:

$H_0$ : Los atributos de textura del pan (dureza y resiliencia) no influyen de manera significativa en el grado de aceptación del consumidor respecto a los distintos tipos de pan de molde blanco.

$H_a$ : Los atributos de textura del pan (dureza y resiliencia) influyen de manera significativa en el grado de aceptación del consumidor respecto a los distintos tipos de pan de molde blanco.

Se utilizaron 30 panelistas, lo que resultó en un grado de libertad (df) de 29. La muestra A correspondió al pan de referencia y la muestra B al pan competidor.

Para el pan sin corteza A de 450 g, la media de suavidad fue de 24,6, mientras que para su competidor fue de 9,4. El valor de T obtenido fue 1,1. Con un nivel de significancia de 0,05 y un df de 29, el valor crítico de T fue 1,69. Dado que el T calculado (1,1) es menor que el T crítico (1,69), se concluyó que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa.

En cuanto a la resiliencia, la media para el pan sin corteza A de 450 g fue de 23,8, y para su competidor fue de 23,4. Se obtuvo un valor crítico de T de 0,00, lo que indica que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras.

Para el pan sin corteza B de 450 g, la media de suavidad fue de 23,4, mientras que para su competidor fue de 9,8. El valor crítico de T fue 0,9. Con un df de 29 y un nivel de significancia de 0,05, el T crítico fue 1,69. Como el T calculado (0,9) es menor que el T



crítico (1,69), se concluyó que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa entre las muestras.

La media de resiliencia para el pan sin corteza B de 450 g fue de 23,0, y para su competidor fue de 22,0. El valor crítico de T fue 0,01, lo que indica que no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras.

Para el pan blanco de 525 g, la media de suavidad fue de 25,0, mientras que para su competidor interno de 550 g fue de 10,8. El valor crítico de T fue 0,7. Con un df de 29 y un nivel de significancia de 0,05, el T crítico fue 1,69. Como el T calculado (0,7) es menor que el T crítico (1,69), se concluyó que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa entre las muestras.

En cuanto a la resiliencia, la media para el pan blanco de 525 g fue de 24,8, y para su competidor de 550 g fue de 22,8. El valor crítico de T fue 0,1, lo que indica que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa entre las muestras.

Finalmente, para el pan blanco sándwich de 800 g, la media de suavidad fue de 26,6, mientras que para su competidor fue de 12,8. El valor crítico de T fue 0,8. Con un df de 29 y un nivel de significancia de 0,05, el T crítico fue 1,69. Dado que el T calculado (0,8) es menor que el T crítico (1,69), se concluyó que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa entre las muestras.

La media de resiliencia para el pan blanco sándwich de 800 g fue de 18,4, y para su competidor fue de 17,6. El valor crítico de T fue 0,1, lo que indica que no hay evidencia suficiente para afirmar una diferencia significativa entre las muestras.

### **3.3.2 Prueba afectiva de preferencia pareada**

Para la prueba afectiva de preferencia pareada se tuvo un total de 30 panelistas semientrenados, los cuales escogieron a nivel general, la preferencia de la rebanada de pan que se les presentó, siendo una rebanada del pan de la empresa vs. La rebanada del pan

competidor en el mercado. De acuerdo con la tabla de Lawless que se encuentra en el Anexo B, se necesitó de un mínimo de 21 panelistas para un total de 30 panelistas que escojan cierta muestra para que exista diferencia significativa entre la preferencia del tipo de panes con un nivel de significancia del 95%.

**Tabla 10** Preferencia total de tipo de pan por panelista

<i>Tipo de pan</i>	<i>Código de muestra</i>	<i>Total, de numero de panelistas</i>
<i>Pan blanco sin corteza A de 450g vs. Pan competidor sin corteza A de 450g</i>	526	25
	725	5
<i>Pan blanco sin corteza B de 450g vs. Pan competidor sin corteza B de 450g</i>	329	21
	610	9
<i>Pan blanco de 525g vs. Pan competidor blanco de 550g</i>	510	25
	870	5
<i>Pan blanco sandwichero de 800g vs. Pan blanco sandwichero competidor de 800g</i>	785	21
	341	9

Según la tabla 10, para cada tipo de pan de referencia de la empresa que compitió con los del mercado, se tuvo un mínimo de 21 panelistas que seleccionaron el primer pan, por lo que, a nivel de preferencia, hay diferencia significativa entre los dos tipos de panes.

## **Capítulo 4**

## **4.1 Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1.1 Conclusiones**

Tras concluir el proyecto integrador, se definieron las especificaciones de textura en los panes de molde de mayor producción en una empresa panificadora en Guayaquil, evaluando la aceptabilidad sensorial del consumidor local aceptando la variedad de pan en comparación con su competidor en el mercado.

El análisis del deterioro de la suavidad y resiliencia en el pan durante su vida útil reveló un incremento significativo en la dureza y una disminución en la resiliencia a partir de la segunda semana de almacenamiento. Estos cambios, atribuibles a la retrogradación del almidón y la pérdida de agua en la miga, subrayan la necesidad de mejorar tanto la formulación del producto como las condiciones de almacenamiento para minimizar estos efectos y prolongar el TVU del pan.

Las fluctuaciones identificadas en los parámetros de dureza y resiliencia subrayan la necesidad de abordar las inconsistencias en el control del proceso de producción para asegurar la calidad del producto final. La diferencia en los valores entre los lotes resalta la importancia de implementar medidas de control más rigurosas para reducir la variabilidad y garantizar que el producto cumpla consistentemente con las especificaciones de calidad establecidas. Mantener valores consistentes de dureza y resiliencia es crucial para asegurar que el producto final sea homogéneo y cumpla con los estándares de calidad

Se establecieron especificaciones de textura que definen el perfil óptimo de suavidad y resiliencia para los panes de molde. Los datos mostraron que los panes que mantuvieron una dureza inferior a 700 N y una resiliencia superior a 0.3 hasta el día 14 de almacenamiento fueron los más aceptados por los consumidores. La optimización del diseño experimental permitió validar con intervalos de confianza, si existe desviación en el proceso al realizar el

muestreo de textura de un pan de molde. Si a partir de los datos muestreados, la media experimental no está dentro del rango del intervalo, se deberá de verificar si la producción del pan no presenta desviaciones en el proceso.

Las evaluaciones sensoriales confirmaron que los atributos de dureza y resiliencia por si solos no son significativos para comprender la aceptabilidad del consumidor local, ya que, los valores de T crítico fueron menores al T tabulado. No obstante, la prueba de preferencia pareada determino que los panelistas tuvieron mayor preferencia significativa a los panes de la empresa. Se concluye que a nivel local los consumidores no consideran la dureza y resiliencia como un atributo significativo para el consumo de un producto, por lo que, a nivel de mercado, los consumidores locales consideran variables como sabor y precio en la compra de panes.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

Para seguir contribuyendo al objetivo de desarrollo sostenible, se recomienda en una siguiente fase de investigación implementar las siguientes mejoras en el proceso de producción del pan de molde:

Realizar una investigación enfocada en evaluar la variación de dureza y resiliencia en panes de molde blanco en función del contenido proteico de gliadinas y gluteninas en diferentes tipos de harina, con el objetivo de determinar el porcentaje óptimo de proteínas que se alinee con la formulación del pan. Adicionalmente, se recomienda utilizar la fórmula del pan blanco sandwichero de 800g para analizar el impacto del contenido enzimático de amilasas maltogénicas en la mejora de las formulaciones restantes.

La implementación de protocolos más estrictos para estandarizar la temperatura y el tiempo de amasado y horneado es fundamental para reducir las variaciones entre lotes. Al garantizar condiciones de producción consistentes, se mejora la calidad del producto final, lo que fortalece la competitividad de la empresa en el mercado. Este esfuerzo está directamente alineado con el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, ya que promueve la adopción

de tecnologías avanzadas como sensores de temperatura y sistemas de monitoreo en tiempo real, que aseguran que cada lote se produzca bajo condiciones idénticas. Esta innovación no solo optimiza la producción, sino que también contribuye al desarrollo de infraestructuras más eficientes y sostenibles.

La calidad de los ingredientes, especialmente de la harina y las enzimas, debe ser monitoreada más de cerca para asegurar la consistencia en los resultados del producto final. Se recomienda establecer relaciones más estrechas con los proveedores, lo que permitirá un mayor control sobre la calidad de los suministros. Este control mantendrá la calidad del pan y reducirá el riesgo de desviaciones en el proceso de producción. Esta acción refuerza el ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico, al asegurar condiciones de trabajo más controladas y estables, lo que impacta positivamente en la productividad y el crecimiento económico sostenible de la empresa.

## Referencias

American Association of Cereal Chemists, (1988). Cereal Laboratory Methods No. 74-09.

Amer. Ass. of Cereal Chem., St. Paul, Minnesota.

<http://captura.uchile.cl/jspui/bitstream/2250/5108/1/ParamMecTexAlim%27%2707.pdf>

Amigo, J., Del Olmo Alvarez, A., Engelsen, M. M., Lundkvist, H., & Engelsen, S. (2016).

Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic  $\alpha$ -amylases. Part 1:

Spatial distribution and kinetic modeling of hardness and resilience. *Food Chemistry*,

208, 318-325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.162>

BAKER, A. E. & PONTE, J. G. Jr. (1987). Measurement of bread firmness with the universal

testing machine. Report of the AACC Committee on Bread Firming Measurement.

*Cereal Foods World* 32, 491.

Barbosa-Ríos, J. A., Castellón-Jardón, J., Guadarrama-Lezama, A. Y., Álvarez-Ramírez, J.,

Meraz, M., & Carrillo-Navas, H. (2018). Effect of new generation enzymes addition

on the physical, viscoelastic and textural properties of traditional Mexican sweet

bread. *Journal of Cereal Science*, 79, 160-167.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.012>

Chen, L., & Opara, U. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and

processed foods – A review. *Journal of Food Engineering*, 119, 497-507.

<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.06.028>.

Fitrianto, A., Muhamad, W., Kriswan, S., & Susetyo, B. (2022). Comparing Outlier Detection

Methods using Boxplot Generalized Extreme Studentized Deviate and Sequential

Fences. *Aceh International Journal of Science and*

*Technology*. <https://doi.org/10.13170/aijst.11.1.23809>.

- Gao, J., Lin, S., Jin, X., Wang, Y., Yin, J., Dong, Z., & Zhou, W. (2019). In vitro digestion of bread: How is it influenced by the bolus characteristics? *Journal of Texture Studies*, 50(3), 257-268. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12391>
- García, R. J., y Mechán, J. (2022). *Optimización de las características texturales y sensoriales del pan de molde a base de harina de Prosopis pallida, Amaranthus caudatus y almidón de papa* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo] Repositorio Institucional Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10699>
- García-Gómez, B., Fernández-Canto, N., Vázquez-Odériz, M., Quiroga-García, M., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. (2022). Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads. *Food Control*, 134, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108765>
- Gostin, A. (2019). Effects of substituting refined wheat flour with wholemeal and quinoa flour on the technological and sensory characteristics of salt-reduced breads. *LWT*. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108412>.
- Hussain, A., & Asad, Z. (2020). Outliers Detection in Skewed Distributions: Split Sample Skewness Based Boxplot. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 54, 279-296. <https://doi.org/10.24818/18423264/54.3.20.17>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2019). Encuesta Estructural Empresarial. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Quito, Ecuador.
- Jahromi, M., & Wrigley, C. W. (2014). Bread staling: Molecular mechanisms and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(4), 422-433. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.733641>
- Jahromi, S. H. R., Karimi, M., Yazdi, F. T., & Mortazavi, S. (2014). Response Surface Optimization of Barbari Bread-Making Process Variables: Interrelationship of



- Texture, Image and Organoleptic Characteristics; Using Image Analysis for Quality and Shelf Life Prediction. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1608-1621. <https://doi.org/10.1111/JFPP.12123>
- Kang, X., Yu, B., Zhang, H., Sui, J., Guo, L., El-Aty, A. M. A., & Cui, B. (2020). The formation and in vitro enzymatic digestibility of starch-lipid complexes in steamed bread free from and supplemented with different fatty acids: Effect on textural and retrogradation properties during storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 1210-1219. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.003>
- Laureati, M., Sandvik, P., L. Almli, V., Sandell, M., Zeinstra, G. G., Methven, L., Wallner, H., Jilani, H., Alfaro, B., y Proserpio, C. (2020). Individual differences in texture preferences among European children: Development and validation of the Child Food Texture Preference Questionnaire (CFTPQ). *Food Quality and Preference*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103828>
- Matz, S. (1987). *Formulas and processes for bakers*. Pan-Tech International, Inc.
- Matz, S. (1987). *Ingredientes for bakers*. Pan-Tech International, Inc.
- Mollakhalili-meybodi, N., Sheidaei, Z., khorshidian, N., Nematollahi, A., & khanniri, E. (2023). Sensory attributes of wheat bread: a review of influential factors. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 17(3), 2172-2181. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-017>
- Montemurro, M., y Pontonio, E. (2024). Texture Profile Analysis. En M. Gobbetti., y C. G. Rizzello (Eds.), *Basic Methods and Protocols on Sourdough* (pp. 103-111). Humana Press.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.

- Nakamoto, H., Nishikubo, D., Kobayashi, F. (2017). Food texture evaluation using logistic regression model and magnetic food texture sensor. *Journal of Food Engineering*, 222, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.008>
- NTE INEN 95:1979-06 "Pan Común, Requisitos. Primera Revisión
- Plummer, K. (2024). Texture Analysers. En A. Rosenthal., y J. Chen (Eds.), *Food Texturology: Measurement and Perception of Food Textural Properties* (pp. 177-195). Springer.
- Różyło, R., & Laskowski, J. (2011). Predicting Bread Quality (Bread Loaf Volume and Crumb Texture). *Journal of Cereal Science*, 61, 61-67.  
<https://doi.org/10.2478/v10222-011-0006-8>
- Różyło, R., & Laskowski, J. (2011). Predicting the mechanical properties of bread crumb by means of digital image analysis and artificial neural network. *Journal of Cereal Science*, 54(1), 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.01.011>
- Vigni, M., Baschieri, C., Marchetti, A., & Cocchi, M. (2013). RP-HPLC and chemometrics for wheat flour protein characterisation in an industrial bread-making process monitoring context.. *Food chemistry*, 139 1-4, 553-62  
. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.085>.
- Voong, A. K., y Westphal, L. (2024). Texture of bakery products. En A. Rosenthal., y J. Chen (Eds.), *Food Texturology: Measurement and Perception of Food Textural Properties* (pp. 291-311). Springer.
- Zarzycki, P.; Wirkijowska, A.; Teterycz, D.; Łysakowska, P. Innovations in Wheat Bread: Using Food Industry By-Products for Better Quality and Nutrition. *Appl. Sci.* 2024, 14, 3976. <https://doi.org/10.3390/app14103976>

Zhou, L., Mu, T., Ma, M., & Sun, H. (2019). Staling of potato and wheat steamed breads: physicochemical characterisation and molecular mobility. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/IJFS.14149>.

Wu, C., Shu, M., & Cheng, F. (2009). Generalized confidence intervals for assessing process capability of multiple production lines. *Quality and Reliability Engineering International*, 25. <https://doi.org/10.1002/qre.996>.

## Apéndices

## APENDICE A

## Cronograma de muestreo de datos en el texturómetro

PRODUCTO	LOTE	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE VENCIMIENTO	DÍA 1	DÍA 7	DÍA 14	DÍA 21	DÍA 28
PAN BLANCO SIN CORTEZA A 450 G	L1 0406 15:15 BECG	4/6/2024	2/7/2024	miércoles, 5-jun	martes, 11-jun	martes, 18-jun	martes, 25-jun	martes, 2-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L1 0606 09:10 BECG	6/6/2024	4/7/2024	viernes, 7-jun	jueves, 13-jun	jueves, 20-jun	jueves, 27-jun	jueves, 4-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L1 1006 11:14 BECG	10/6/2024	8/7/2024	martes, 11-jun	lunes, 17-jun	lunes, 24-jun	lunes, 1-jul	lunes, 8-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
PAN BLANCO B SIN CORTEZA ACTIDEFENS E 450G	L1 0406 10:54 BECG	4/6/2024	2/7/2024	miércoles, 5-jun	martes, 11-jun	martes, 18-jun	martes, 25-jun	martes, 2-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L1 0606 11:00 BECG	6/6/2024	4/7/2024	viernes, 7-jun	jueves, 13-jun	jueves, 20-jun	jueves, 27-jun	jueves, 4-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L1 1006 13:47 BECG	10/6/2024	8/7/2024	martes, 11-jun	lunes, 17-jun	lunes, 24-jun	lunes, 1-jul	lunes, 8-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
PAN BLANCO SANDUCHER O 800 G	L2 0506 05:58 BECG	5/6/2024	3/7/2024	jueves, 6-jun	miércoles, 12-jun	miércoles, 19-jun	miércoles, 26-jun	miércoles, 3-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L2 0606 10:45 BECG	6/6/2024	4/7/2024	viernes, 7-jun	jueves, 13-jun	jueves, 20-jun	jueves, 27-jun	jueves, 4-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L2 1406 00:37 BECG	14/6/2024	12/7/2024	sábado, 15-jun	viernes, 21-jun	viernes, 28-jun	viernes, 5-jul	viernes, 12-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
PAN BLANCO 550 G	L2 0406 10:52 BECG	4/6/2024	2/7/2024	miércoles, 5-jun	martes, 11-jun	martes, 18-jun	martes, 25-jun	martes, 2-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L2 0606 15:50 BECG	6/6/2024	4/7/2024	viernes, 7-jun	jueves, 13-jun	jueves, 20-jun	jueves, 27-jun	jueves, 4-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L2 1106 13:33 BECG	11/6/2024	9/7/2024	miércoles, 12-jun	martes, 18-jun	martes, 25-jun	martes, 2-jul	martes, 9-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
PAN BLANCO 525 G	L2 0506 10:15 BECG	5/6/2024	3/7/2024	jueves, 6-jun	miércoles, 12-jun	miércoles, 19-jun	miércoles, 26-jun	miércoles, 3-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L2 1206 15:23 BECG	12/6/2024	10/7/2024	jueves, 13-jun	miércoles, 19-jun	miércoles, 26-jun	miércoles, 3-jul	miércoles, 10-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS
	L2 1706 22:50 BECG	17/6/2024	15/7/2024	martes, 18-jun	lunes, 24-jun	lunes, 1-jul	lunes, 8-jul	lunes, 15-jul
				DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS	DATOS TOMADOS

## APÉNDICE B

### Formulario de prueba de aceptación y preferencia pareada

Fecha: _____					
<b>Marcar con una "X" el rango de edad donde se encuentra</b>					
Menos de 18 años _____ 18 a 25 años _____ 26 a 35 años _____ 36 a 45 años _____ Mas de 45 años _____					
*Antes de iniciar lea con atención las indicaciones de cada enunciado. Para la evaluación de las muestras					
<b>Indicaciones:</b>					
<b>Evalúa la suavidad de la rebanada de pan</b>					
Código Muestra <b>526</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Suavidad de la rebanada					
Código Muestra <b>725</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Resiliencia de la rebanada					
<b>Evalúa la resiliencia de la rebanada de pan</b>					
Código Muestra <b>526</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Resiliencia de la rebanada					
Código Muestra <b>725</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Resiliencia de la rebanada					
¿Cuál de las muestras le gusto más? Marque con "X" <span style="margin-left: 100px;"><b>526</b> _____</span> <span style="margin-left: 100px;"><b>725</b> _____</span>					
<i>¡Muchas gracias por tu colaboración!</i>					

### Formulario de prueba sensorial para el pan A blanco sin corteza y pan A competidor

Fecha: _____					
<b>Marcar con una "X" el rango de edad donde se encuentra</b>					
Menos de 18 años _____ 18 a 25 años _____ 26 a 35 años _____ 36 a 45 años _____ Mas de 45 años _____					
*Antes de iniciar lea con atención las indicaciones de cada enunciado. Para la evaluación de las muestras					
<b>Indicaciones:</b>					
<b>Evalúa la suavidad de la rebanada de pan</b>					
Código Muestra <b>329</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Suavidad de la rebanada					
Código Muestra <b>610</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Resiliencia de la rebanada					
<b>Evalúa la resiliencia de la rebanada de pan</b>					
Código Muestra <b>329</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Resiliencia de la rebanada					
Código Muestra <b>610</b>	1 Pésimo	2 Malo	3 Ni bueno ni malo	4 Bueno	5 Excelente
Resiliencia de la rebanada					
¿Cuál de las muestras le gusto más? Marque con "X" <span style="margin-left: 100px;"><b>329</b> _____</span> <span style="margin-left: 100px;"><b>610</b> _____</span>					
<i>¡Muchas gracias por tu colaboración!</i>					

### Formulario de prueba sensorial para el pan B blanco sin corteza y pan B competidor



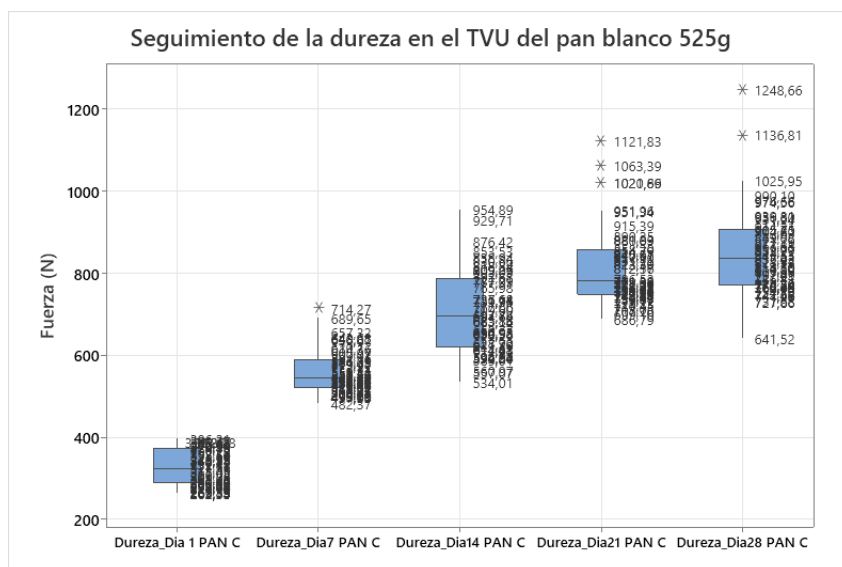
## APÉNDICE C

### Ecuaciones matemáticas para dureza y resiliencia

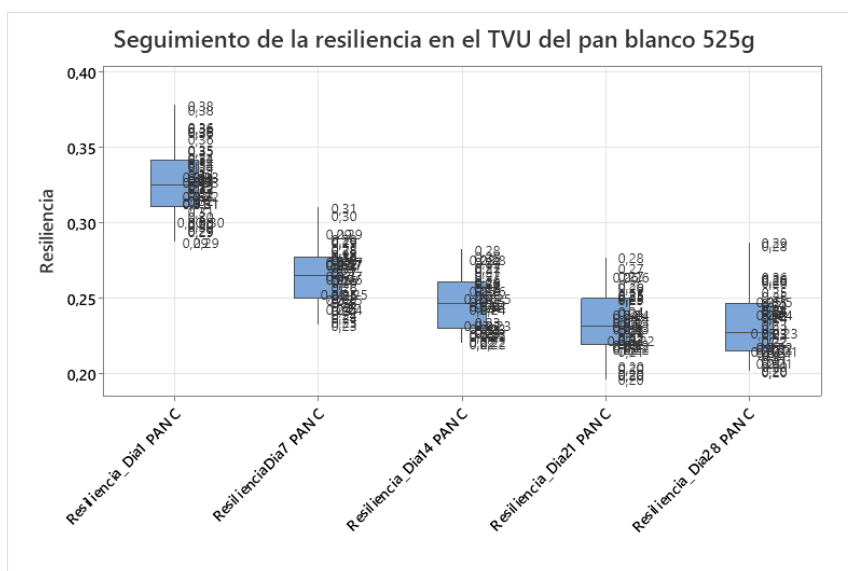
DUREZA =	RESILIENCIA =
+693,05	+0,2591
-38,41 A[1]	+0,0007 A[1]
+46,14 A[2]	+0,0254 A[2]
-40,83 A[3]	+0,0015 A[3]
+96,01 A[4]	-0,0016 A[4]
-310,40 B[1]	+0,0696 B[1]
-82,94 B[2]	+0,0041 B[2]
+51,42 B[3]	-0,0155 B[3]
+143,03 B[4]	-0,0264 B[4]
+39,03 C[1]	-0,0016 C[1]
-46,36 C[2]	+0,0067 C[2]
-6,17 A[1]B[1]	-0,0072 A[1]B[1]
+139,11 A[2]B[1]	-0,0272 A[2]B[1]
-15,83 A[3]B[1]	-0,0039 A[3]B[1]
-117,31 A[4]B[1]	+0,0271 A[4]B[1]
-12,52 A[1]B[2]	+0,0014 A[1]B[2]
+91,98 A[2]B[2]	+0,0059 A[2]B[2]
-10,10 A[3]B[2]	+0,0006 A[3]B[2]
-36,26 A[4]B[2]	-0,0030 A[4]B[2]
+0,6730 A[1]B[3]	+0,0021 A[1]B[3]
+4,38 A[2]B[3]	+0,0081 A[2]B[3]
+3,09 A[3]B[3]	+0,0013 A[3]B[3]
+1,63 A[4]B[3]	-0,0072 A[4]B[3]
+20,44 A[1]B[4]	-0,0004 A[1]B[4]
-98,78 A[2]B[4]	+0,0093 A[2]B[4]
+22,86 A[3]B[4]	-0,0013 A[3]B[4]
+56,60 A[4]B[4]	-0,0074 A[4]B[4]
-27,12 A[1]C[1]	-0,0018 A[1]C[1]
+5,00 A[2]C[1]	+0,0026 A[2]C[1]
-24,70 A[3]C[1]	-0,0026 A[3]C[1]
+26,42 A[4]C[1]	-0,0024 A[4]C[1]
+45,58 A[1]C[2]	-0,0099 A[1]C[2]
-76,42 A[2]C[2]	+0,0128 A[2]C[2]
+40,75 A[3]C[2]	-0,0082 A[3]C[2]
-37,45 A[4]C[2]	+0,0124 A[4]C[2]
-1,21 B[1]C[1]	-0,0085 B[1]C[1]
+3,63 B[2]C[1]	-0,0007 B[2]C[1]
+23,80 B[3]C[1]	+0,0010 B[3]C[1]
+4,69 B[4]C[1]	+0,0030 B[4]C[1]
+24,75 B[1]C[2]	-0,0009 B[1]C[2]
+7,18 B[2]C[2]	-0,0024 B[2]C[2]
-23,73 B[3]C[2]	+0,0027 B[3]C[2]
+3,73 B[4]C[2]	-0,0005 B[4]C[2]



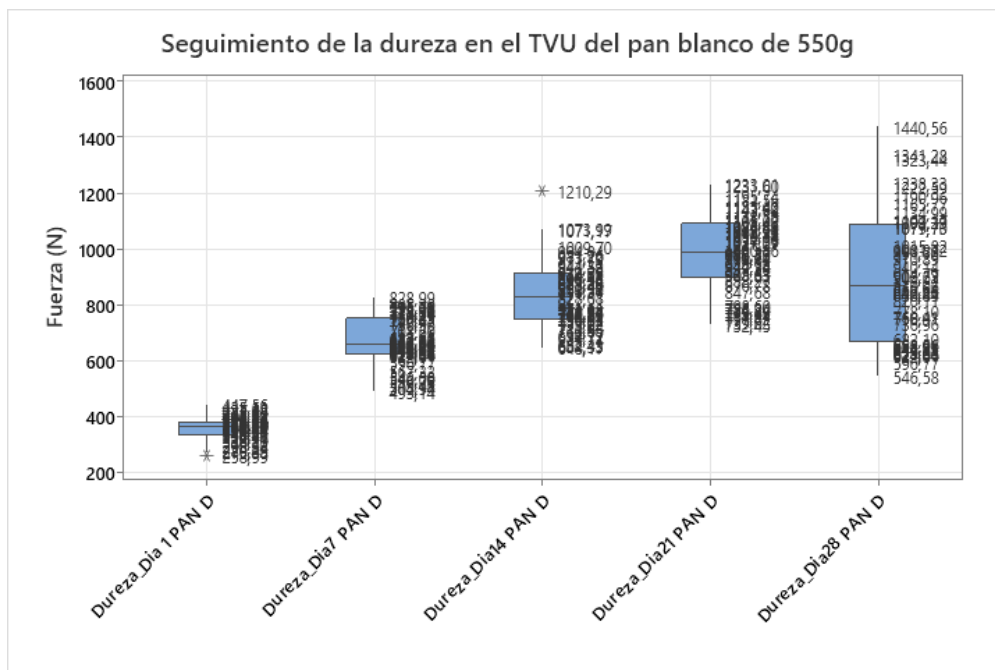




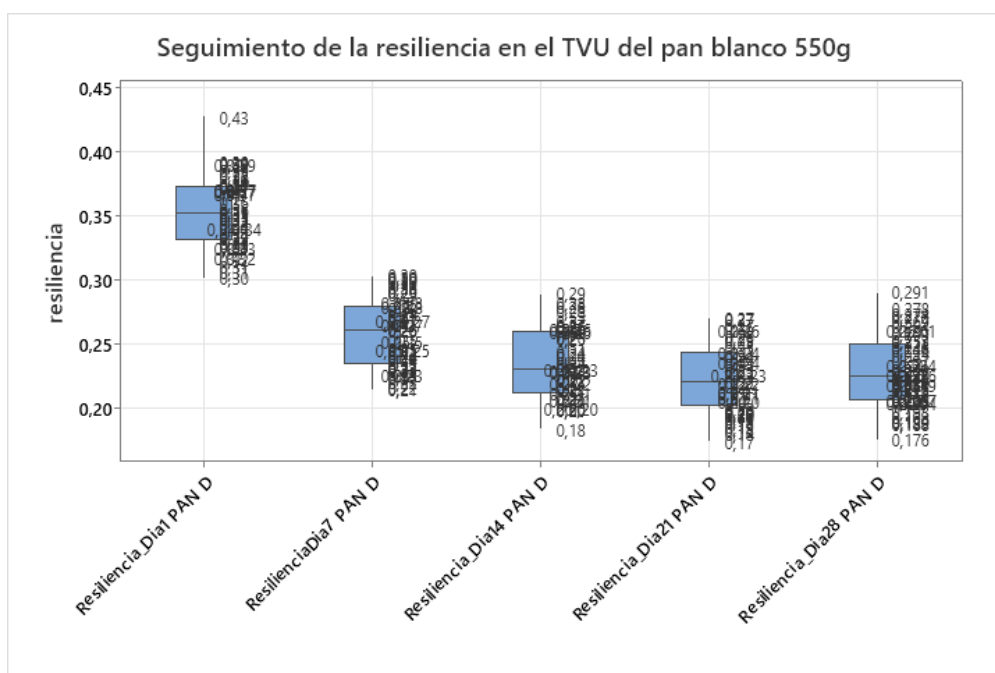
Distribución de valores atípicos en la dureza del pan blanco 525g [Minitab 22.0]



Distribución de valores atípicos en la resiliencia del pan blanco 525g [Minitab 22.0]



Distribución de valores atípicos en la dureza del pan blanco 550g [Minitab 22.0]



Distribución de valores atípicos en la resiliencia del pan blanco 550g [Minitab 22.0]



## APÉNDICE E

### Especificaciones de textura

*Especificación de textura para el pan blanco sin corteza A de 450g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	239,30	338,10	436,90	0,23	0,32	0,41
<i>Día 7</i>	365,50	559,20	752,90	0,18	0,27	0,36
<i>Día 14</i>	536,20	706,70	877,20	0,17	0,25	0,33
<i>Día 21</i>	681,60	818,10	954,60	0,15	0,23	0,31
<i>Día 28</i>	751,00	851,10	951,30	0,14	0,23	0,32

*Nota: elaboración propia.*

*Especificación de textura para el pan blanco sin corteza B de 450g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	420,90	567,90	715,00	0,24	0,33	0,42
<i>Día 7</i>	556,60	669,90	783,20	0,20	0,29	0,38
<i>Día 14</i>	723,60	795,00	866,40	0,17	0,28	0,39
<i>Día 21</i>	616,80	783,40	950,00	0,16	0,27	0,38
<i>Día 28</i>	693,60	801,40	1017,00	0,17	0,26	0,35

*Nota: elaboración propia.*

*Especificación de textura para el pan blanco de 525g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	193,70	326,00	458,30	0,26	0,33	0,40
<i>Día 7</i>	425,00	559,20	693,40	0,21	0,27	0,33
<i>Día 14</i>	604,30	706,70	809,10	0,20	0,25	0,30
<i>Día 21</i>	684,00	818,10	952,20	0,17	0,23	0,29
<i>Día 28</i>	685,80	851,10	1016,40	0,17	0,23	0,29

*Nota: elaboración propia.*

*Especificación de textura para el pan blanco sandwichero de 800g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	200,30	319,90	439,50	0,22	0,31	0,40
<i>Día 7</i>	400,70	514,10	627,50	0,14	0,23	0,32
<i>Día 14</i>	521,80	671,80	821,80	0,12	0,21	0,30
<i>Día 21</i>	599,60	772,00	944,40	0,10	0,21	0,32
<i>Día 28</i>	718,40	872,80	1027,20	0,11	0,20	0,29

*Nota: elaboración propia.*

*Especificación de textura para el pan blanco de 550g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	288,30	361,30	434,30	0,27	0,35	0,43
<i>Día 7</i>	489,50	669,90	850,30	0,18	0,26	0,34
<i>Día 14</i>	729,10	842,10	955,10	0,15	0,23	0,31
<i>Día 21</i>	849,90	988,70	1127,50	0,14	0,22	0,30
<i>Día 28</i>	854,90	1083,30	1311,80	0,14	0,22	0,30

*Nota: elaboración propia.*

## APÉNDICE F

### Datos para el cálculo del intervalo de confianza

*Media y desviación estándar para la dureza por tipo de pan en su TVU de inicio, medio y fin*

Tipo de pan	Pan blanco A sin corteza 450g			Pan blanco B sin corteza 450g			Pan blanco de 525g			Pan blanco de 550g			Pan blanco sandwichero de 800g		
	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28
Media	388,10	706,70	851,10	567,90	795,00	801,40	326,00	706,70	851,10	361,30	842,10	1083,30	319,90	671,80	872,80
$\sigma$	49,40	85,30	100,20	75,50	71,40	107,80	44,10	102,40	82,60	24,30	113,00	228,50	59,80	75,00	77,20

*Nota: elaboración propia.*

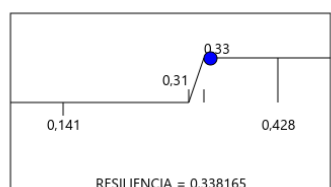
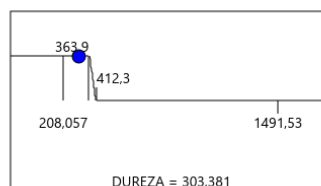
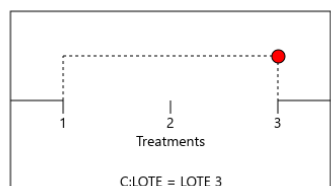
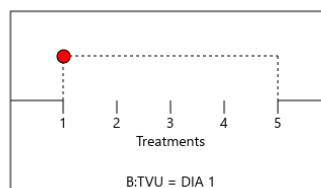
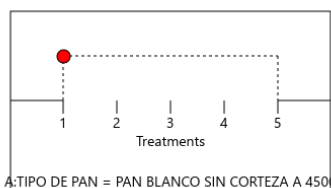
*Media y desviación estándar para la resiliencia por tipo de pan en su TVU de inicio, medio y fin*

Tipo de pan	Pan blanco A sin corteza 450g			Pan blanco B sin corteza 450g			Pan blanco de 525g			Pan blanco de 550g			Pan blanco sandwichero de 800g		
	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28	Día 1	Día 14	Día 28
Media	0,32	0,25	0,23	0,33	0,28	0,26	0,33	0,25	0,23	0,35	0,23	0,22	0,31	0,21	0,20
$\sigma$	0,029	0,027	0,032	0,030	0,036	0,031	0,023	0,018	0,021	0,028	0,027	0,027	0,030	0,028	0,031

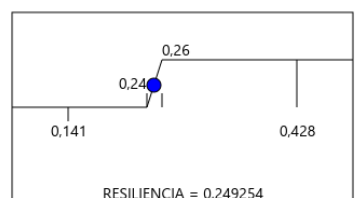
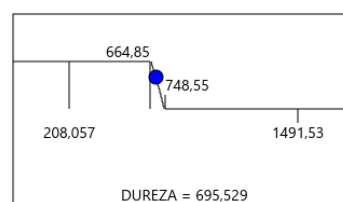
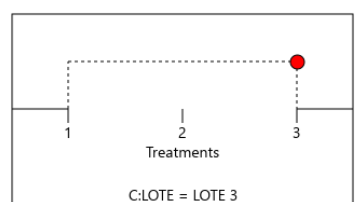
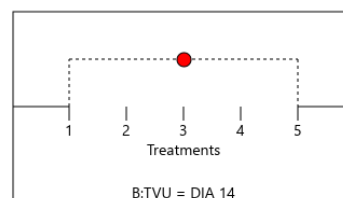
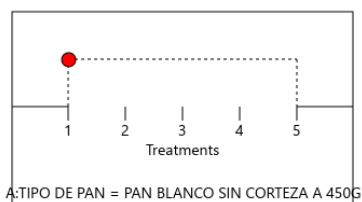
*Nota: elaboración propia.*

## APÉNDICE G

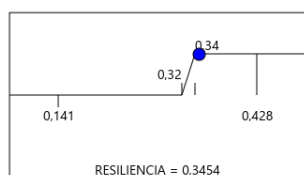
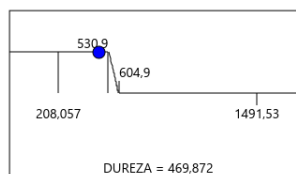
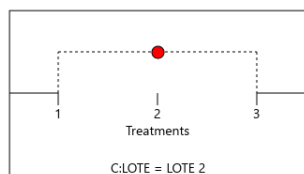
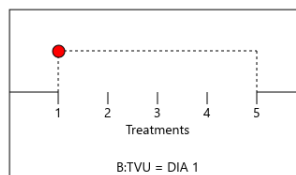
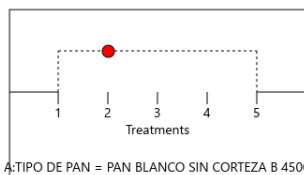
### Soluciones de dureza mínima y resiliencia máxima para las variedades de panes



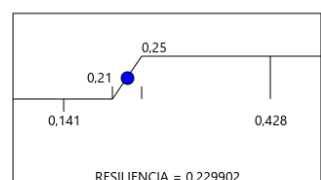
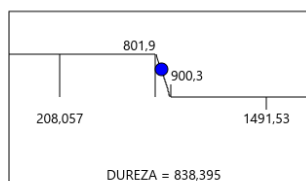
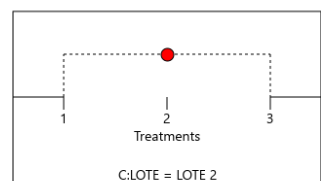
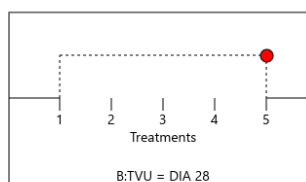
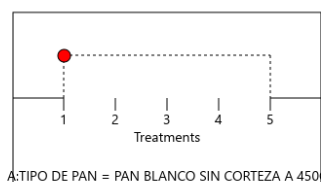
Desirability = 1,000  
Solution 1 out of 10



Desirability = 0,552  
Solution 28 out of 35

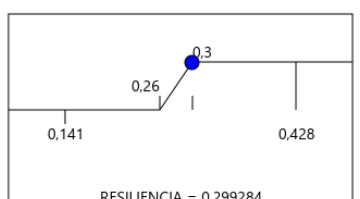
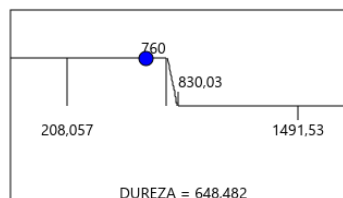
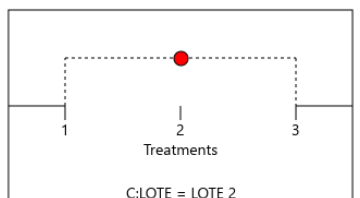
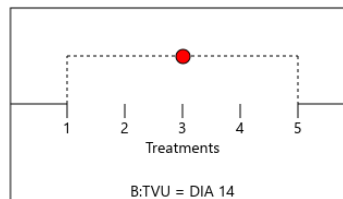
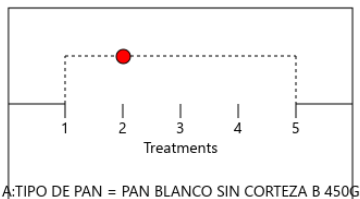


Desirability = 1,000  
Solution 5 out of 8

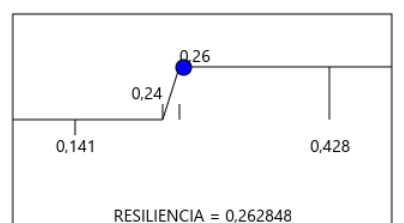
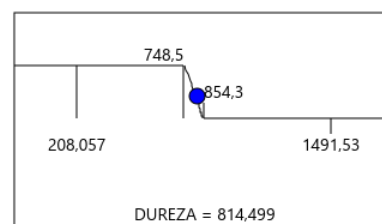
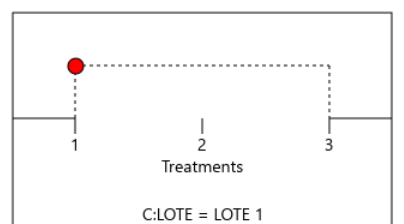
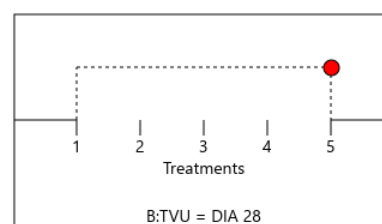
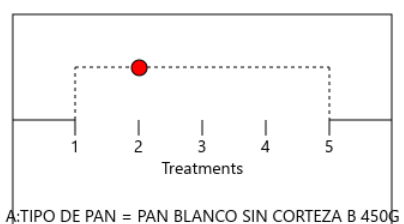


Desirability = 0,571  
Solution not selected

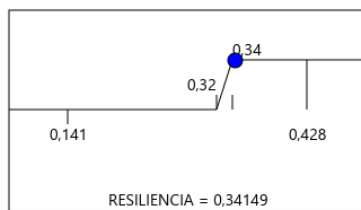
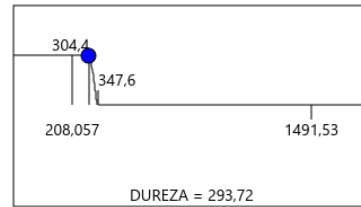
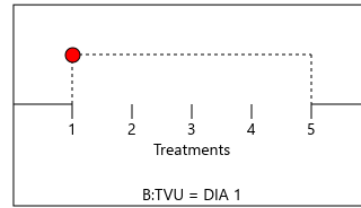
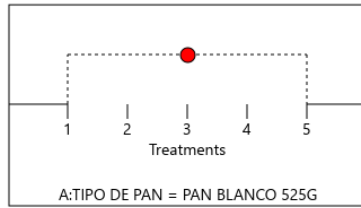




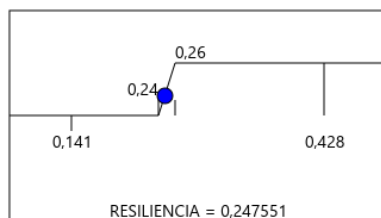
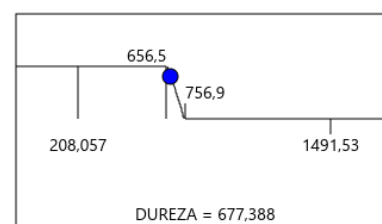
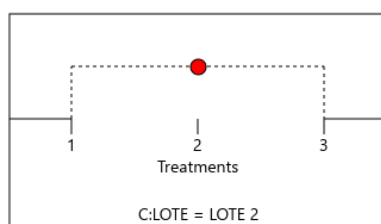
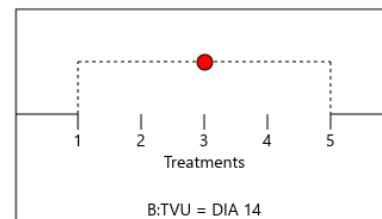
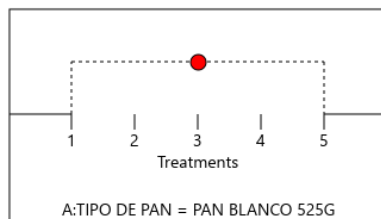
Desirability = 0,991  
Solution 17 out of 28



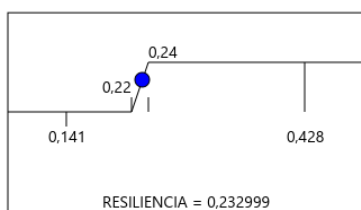
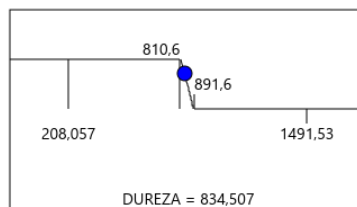
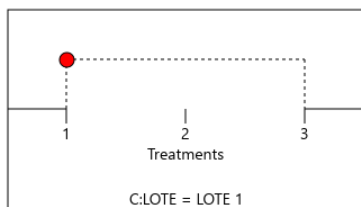
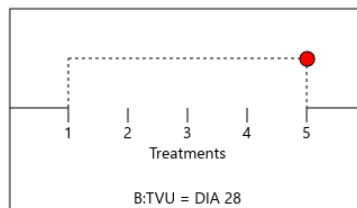
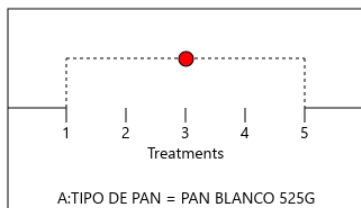
Desirability = 0,640  
Solution 32 out of 40



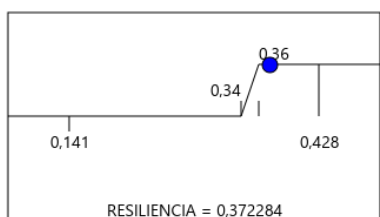
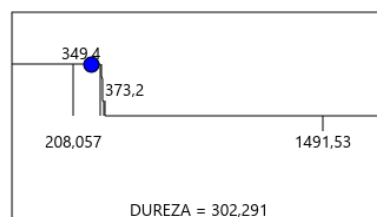
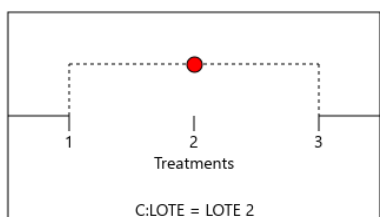
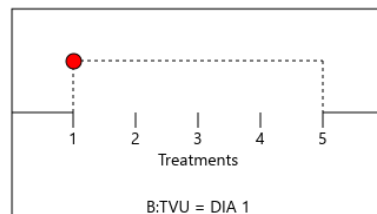
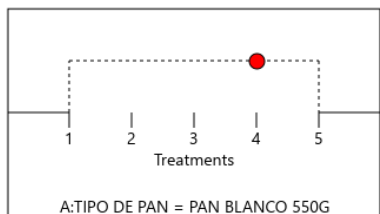
Desirability = 1,000  
Solution 2 out of 5



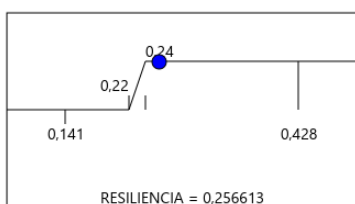
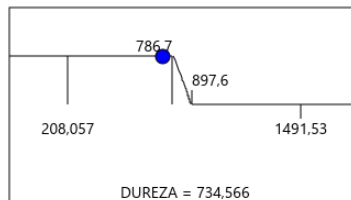
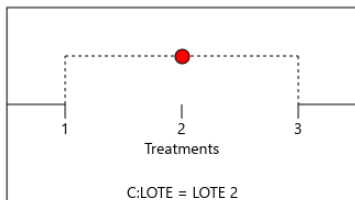
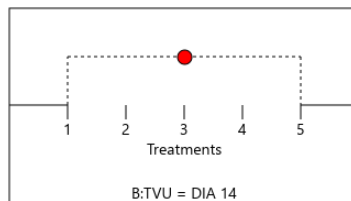
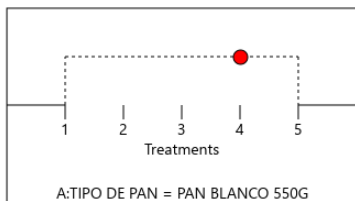
Desirability = 0,552  
Solution 27 out of 35



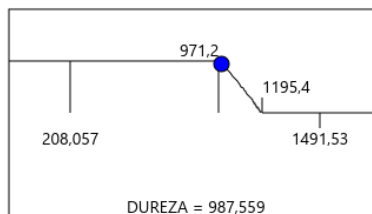
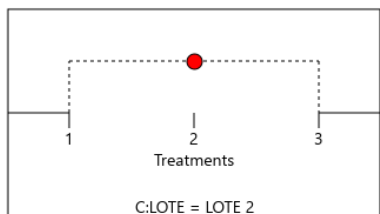
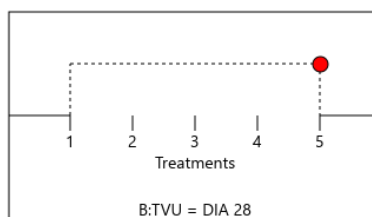
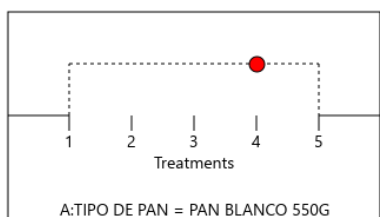
Desirability = 0,687  
Solution 48 out of 57



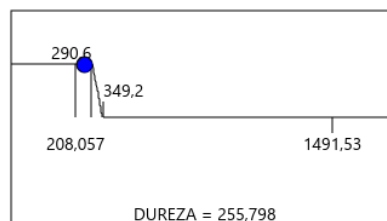
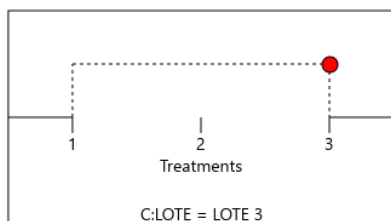
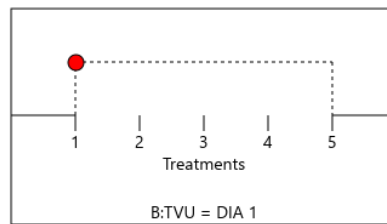
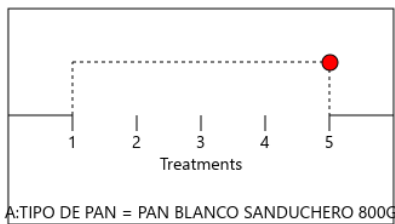
Desirability = 1,000  
Solution 1 out of 3



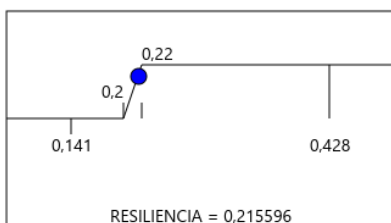
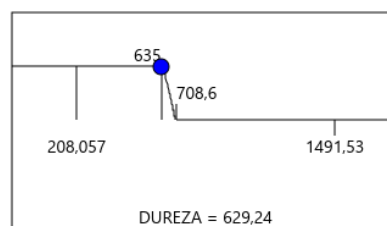
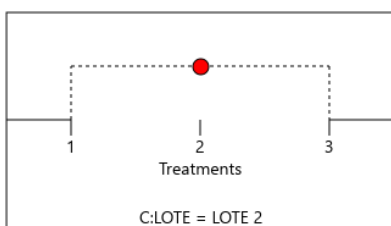
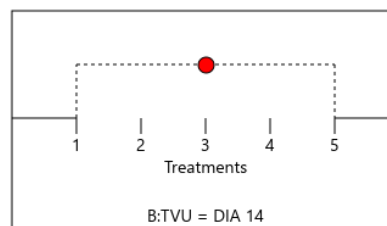
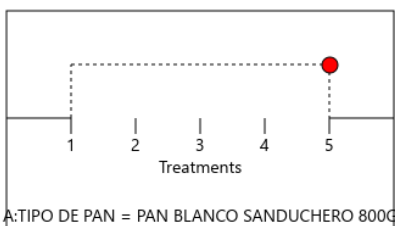
Desirability = 1,000  
Solution 9 out of 57



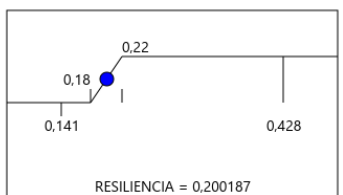
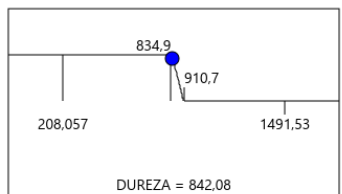
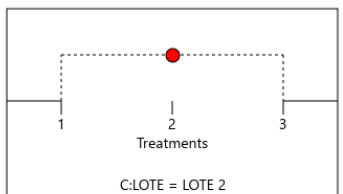
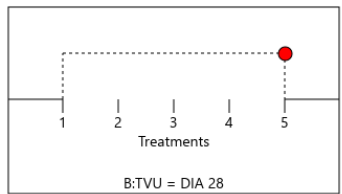
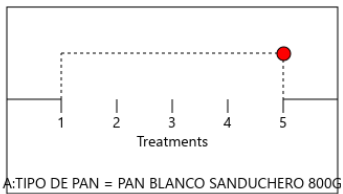
Desirability = 0,966  
Solution 61 out of 67



Desirability = 1,000  
Solution 1 out of 8



Desirability = 0,883  
Solution 28 out of 36



Desirability = 0,679  
Solution 63 out of 68

## APÉNDICE F

### Especificaciones óptimas para cada tipo de pan

*Especificación óptima de textura para el pan blanco sin corteza A de 450g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	211,50	303,90	396,30	0,31	0,34	0,37
<i>Día 7</i>	444,80	537,20	629,60	0,25	0,28	0,31
<i>Día 14</i>	603,10	695,50	787,90	0,22	0,25	0,28
<i>Día 21</i>	728,70	821,10	913,50	0,20	0,23	0,26
<i>Día 28</i>	746,00	838,40	930,80	0,20	0,23	0,26

*Especificación óptima de textura para el pan blanco sin corteza B de 450g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	377,50	469,90	562,30	0,32	0,35	0,38
<i>Día 7</i>	540,20	632,60	725,00	0,27	0,30	0,33
<i>Día 14</i>	556,10	648,50	740,90	0,27	0,30	0,33
<i>Día 21</i>	572,00	664,40	756,80	0,25	0,28	0,31
<i>Día 28</i>	722,10	814,50	906,90	0,23	0,26	0,29

*Especificación óptima de textura para el pan blanco de 525g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	201,30	293,70	386,10	0,31	0,34	0,37
<i>Día 7</i>	447,30	539,70	632,10	0,24	0,27	0,30
<i>Día 14</i>	585,00	677,40	769,80	0,22	0,25	0,28
<i>Día 21</i>	708,60	801,00	893,40	0,21	0,24	0,27
<i>Día 28</i>	742,10	834,50	926,90	0,20	0,23	0,26

*Especificación óptima de textura para el pan blanco de 550g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	209,90	302,30	394,70	0,37	0,40	0,43
<i>Día 7</i>	500,60	593,00	685,40	0,25	0,28	0,31
<i>Día 14</i>	642,20	734,60	827,00	0,23	0,26	0,29
<i>Día 21</i>	816,20	908,60	1001,00	0,21	0,24	0,27
<i>Día 28</i>	895,20	987,60	1080,00	0,21	0,24	0,27

*Especificación óptima de textura para el pan blanco sandwichero de 800g*

<i>Día</i>	<i>Dureza mínima</i>	<i>Dureza objetivo</i>	<i>Dureza máxima</i>	<i>Resiliencia mínima</i>	<i>Resiliencia objetivo</i>	<i>Resiliencia máxima</i>
<i>Día 1</i>	163,40	255,80	348,20	0,29	0,32	0,35
<i>Día 7</i>	370,30	462,70	555,10	0,20	0,23	0,26
<i>Día 14</i>	536,80	629,20	721,60	0,19	0,22	0,25
<i>Día 21</i>	662,60	755,00	847,40	0,19	0,22	0,25
<i>Día 28</i>	749,70	842,10	934,50	0,17	0,20	0,23



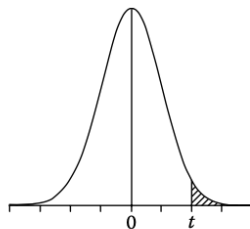
## APÉNDICE G

### Valores medios de dureza y resiliencia de los panes competidores

<i>Tipo de pan</i>	<i>TVU</i>	<i>Dureza media</i>	<i>Resiliencia media</i>
<i>Pan blanco sin corteza A competidor de 450g</i>	Día 7	1213,10	0,32
	Día 14	1184,90	0,32
	Día 21	1110,50	0,33
<i>Pan blanco sin corteza B competidor de 450g</i>	Día 7	729,00	0,40
	Día 14	961,10	0,38
	Día 21	1042,30	0,37
<i>Pan blanco competidor de 800g</i>	Día 7	880,90	0,21
	Día 14	903,50	0,20
	Día 21	1032,50	0,19

## Anexo A

### Distribución T student



- Instructions:
- (1) Enter the row of the table corresponding to the number of degrees of freedom ( $\nu$ ) for error.
  - (2) Pick the value of  $t$  in that row, from the column that corresponds to the predetermined  $\alpha$ -level.

$\nu$	$\alpha$						
	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
$\infty$	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

**ANEXO B**  
**Tabla de Lawless**

<i>N</i>	<i>X</i>	<i>N</i>	<i>X</i>	<i>N</i>	<i>X</i>
20	15	60	39	100	61
21	16	61	39	105	64
22	17	62	40	110	66
23	17	63	40	115	69
24	18	64	41	120	72
25	18	65	41	125	74
26	19	66	42	130	77
27	20	67	43	135	80
28	20	68	43	140	83
29	21	69	44	145	85
30	21	70	44	150	88
31	22	71	45	155	91
32	23	72	45	160	93
33	23	73	46	165	96
34	24	74	46	170	99
35	24	75	47	175	101
36	25	76	48	180	104
37	25	77	48	185	107
38	26	78	49	190	110
39	27	79	49	195	112
40	27	80	50	200	115
41	28	81	50	225	128
42	28	82	51	250	142
43	29	83	51	275	155
44	29	84	52	300	168
45	30	85	53	325	181
46	31	86	53	350	194
47	31	87	54	375	207
48	32	88	54	400	221
49	32	89	55	425	234
50	33	90	55	450	247
51	34	91	56	475	260
52	34	92	56	500	273
53	35	93	57	550	299
54	35	94	57	600	325
55	36	95	58	650	351
56	36	96	59	700	377
57	37	97	59	800	429
58	37	98	60	900	480
59	38	99	60	1000	532

Notes: *N* is the total number of consumers

*X* is the minimum required in the larger of the two segments

Choice is forced

Values of *X* were calculated in Excel from the *z*-score approximation to the binomial distribution

Values of *N* and *X* not shown can be calculated from  $X = 0.98\sqrt{N} + N/2 + 0.5$

Calculated values of *X* must be rounded up to the nearest whole integer

Tests with  $N < 20$  are not recommended but critical values can be found by reference to the exact binomial (cumulative) probabilities in Table I

Values are based on the two-tailed *Z*-score of 1.96 for  $\alpha = 0.05$

Critical minimum values for  $\alpha = 0.01$  can be found in Table M