

listo
por Tesis Teresa

Fecha de entrega: 01-oct-2025 04:02p. m. (UTC-0700)

Identificador de la entrega: 2768236197

Nombre del archivo: Tesis_-_Ti_tulo_Profesional-_Teresa_Quispe.docx (1.28M)

Total de palabras: 13796

Total de caracteres: 60451

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias
Alimentarias



**Comparación de estudios de vida útil en panes de molde:
Pruebas aceleradas y tiempo real**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias

Autor:

Bach. Teresa del Pilar Quispe Chumbes

Asesor:

Dr. Reynaldo Justino Silva Paz

Lima, 19 de septiembre de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo (Nombres y apellidos del asesor), docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: "**Comparación de estudios de vida útil en panes de molde: Pruebas aceleradas y tiempo real**" del autor Teresa del Pilar Quispe Chumbes tiene un índice de similitud de % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 29 días del mes de setiembre del año 2025

Dr. Reynaldo Justino Silva Paz

Agradecimiento

A Dios por todo.

⁵
A mis padres Marta y Yuri por su apoyo y sacrificio en bien de sus hijos.

A mi hermano Boris por su ayuda y apoyo en la logística de materiales.

A mi asesor Dr Reynaldo, por su guía, confianza y disposición.

Al Centro Universitario de Producción de Bienes y Servicios (CUPBS) - Unión y sus colaboradores por proporcionar los recursos necesarios, su tiempo y disposición.

Dedicatoria

A mis padres y hermano.

A mi novio Abner.

Índice

Resumen	5
Abstract.....	5
1. Introducción	6
2. Materiales y métodos	7
2.1. Muestra	7
2.2. Métodos de análisis.....	9
2.2.1. Análisis Químico Proximal	9
2.2.2. Determinación de la vida útil mediante panel entrenado	10
2.2.3. Determinación de la vida útil mediante consumidores.....	11
2.2.4. Determinación de la vida útil mediante modelos cinéticos	12
2.3. Diseño experimental	13
2.4. Análisis de datos	14
2.4.1. Datos descriptivos	14
2.4.2. Datos afectivos/aceptabilidad	14
2.5. Análisis estadístico	15
3. Resultados y discusión	16
3.1. Composición físico-química de los panes de molde.....	16
3.2. Variación de la composición química de los panes en el tiempo a diferentes temperaturas de almacenamiento.....	17
3.3. Variación de los datos descriptivos determinado por el panel entrenado en el tiempo a diferentes temperaturas de almacenamiento.	18
3.4. Aceptabilidad de los consumidores a diferentes temperaturas de almacenamiento	25
3.5. Determinación de valor crítico	27
3.6. Determinación de vida útil mediante cinética de reacción con Arrhenius.....	28
3.7. Determinación de vida útil mediante el factor Q10	31
3.8. Validación del modelo en tiempo acelerado vs tiempo real	33
4. Conclusión.....	36
6. Anexos.....	Error! Bookmark not defined.

Comparación de estudios de vida útil en panes de molde: Pruebas aceleradas y tiempo real

Comparison of shelf-life studies on sliced breads: Accelerated and real-time testing

Teresa Quispe Chumbes¹; Reynaldo J. Silva Paz*

¹ Escuela Profesional Ingeniería de Industrias Alimentarias – Facultad de Ingeniería y Arquitectura – Universidad Peruana Unión Lima – Perú

Resumen

El objetivo de esta investigación fue comparar la vida útil de panes de molde clásico, integral y multisemillas, mediante pruebas aceleradas usando la ecuación de Arrhenius y el factor Q10 y pruebas en tiempo real. Se realizaron análisis químicos y sensoriales con consumidores y jueces entrenados para las diferentes pruebas. Los atributos que más rápido se deterioraron fueron la dureza, firmeza, humedad sensorial y la aceptabilidad por parte de los consumidores; los métodos que aceleran el deterioro por efecto de la temperatura, se basan en el cumplimiento de la ley de Arrhenius; sin embargo, también se demostró que el factor Q10 permite la determinación de vida útil de los panes de molde similares al tiempo real. El tiempo de vida útil calculado para el pan almacenado a temperatura ambiente (~22°C) de la Marca A fue de 17 días, el pan Marca B, 29 días y el pan Marca C, 32 días debido a la diferente composición de ingredientes de cada marca de pan. En este sentido, un estudio de vida útil acelerada y en tiempo real, puede considerarse una herramienta eficaz al momento de analizar y estudiar las características para la aceptabilidad del pan de molde a lo largo de su vida útil.

Palabras clave: Vida útil, pan de molde, aceptabilidad, jueces, consumidores

Abstract

The objective of this research was to compare the shelf life of classic, whole wheat and multiseed breads by means of accelerated tests using the Arrhenius equation and the Q10 factor and real-time tests. Chemical and sensory analyses were performed with consumers and trained judges for the different tests. The attributes that deteriorated the fastest were hardness, firmness, sensory moisture and consumer acceptability; the methods that accelerate deterioration by temperature effect are based on the fulfillment of the Arrhenius law; however, it was also demonstrated that the Q10 factor allows the determination of shelf life of loaves similar to real time. The calculated shelf life for bread stored at room temperature (~22°C) Brand A was 17 days, Brand B, 20 days and Brand C, 32 days due to the different ingredient composition of each brand of bread. In this sense, an accelerated and real-time shelf-life study can be considered an effective tool when analyzing and studying the characteristics for the acceptability of sliced bread throughout its shelf-life.

Keywords: Shelf life, sliced bread, acceptability, judges, consumers

1. Introducción

En la actualidad los consumidores están cada día incrementando la demanda por alimentos de alta y adecuada calidad tanto desde una perspectiva nutricional como sensorial. Además, han desarrollado expectativas para que esta calidad sea mantenida a un alto nivel durante el periodo de compra hasta el consumo (Bianchi et al., 2024; Ribeiro et al., 2017). Estas expectativas no son solo consecuencias de los requerimientos primarios para que el alimento permanezca seguro, sino que también son consecuencia de la necesidad de minimizar los cambios indeseados en la calidad nutricional y sensorial.

El problema más importante del pan es la pérdida de humedad en la miga, lo que provoca su endurecimiento, así como el ablandamiento de la corteza y un cambio en su sabor causados principalmente por la retrogradación del almidón, lo que resulta en una disminución de la aceptación del producto. De hecho, el pan es un sistema dinámico que sufre cambios físicos como envejecimiento y redistribución de la humedad, cambios químicos como enranciamiento, cambios en el valor nutracéutico y modificaciones microbiológicas como el deterioro por levaduras, mohos y bacterias que inducen el “proceso de envejecimiento” (Best & Appleton, 2013; Taglieri et al., 2021). La pérdida de frescura, pérdida de crocancia de la corteza, pérdida de sabor y aumento de la firmeza de la miga durante el almacenamiento, también está relacionado con el envejecimiento del pan (Nouri et al., 2017); el cual ha sido ampliamente estudiado por su complejidad (Ding et al., 2019).

La vida en anaquel es determinada para cada alimento en particular (Paul Singh, 1997) y el hecho de incorporar nuevos ingredientes o reducir porcentajes de los mismos en el diseño de nuevos productos, puede traer consigo variación de la vida de anaquel del alimento. Existe diversas metodologías para determinar la vida útil que pueden ser mediante pruebas aceleradas o tiempo real. Las metodologías adecuadas en la que se realice correctamente las evaluaciones sensoriales, controles microbiológicos y fisicoquímicos son una fuente confiable para determinar el tiempo de vida útil de un alimento (Marinopoulou et al., 2020). No obstante, aunque las pruebas de vida útil en tiempo real proporcionan buenos datos, la obtención del resultado final conlleva tiempos muy prolongados (Ocheme & Chukwuma, 2014; Udomkun et al., 2016).

Lo anterior, no es práctico para la empresa e investigadores, ya que todo este proceso se ve reflejado en mayores tiempos y gastos asociados (Ocheme & Chukwuma, 2014). Por lo tanto, tener la información necesaria para determinar la vida útil de alimentos en un tiempo relativamente corto es de gran importancia (Aung & Chang, 2014; Venezuela et al., 2016), por lo que los estudios de pruebas de almacenamiento o vida útil aceleradas han estado mostrándose como una solución rentable y eficaz en la determinación del tiempo de vida útil de un producto (Venezuela et al., 2016).

Cuando se trata de la vida útil del pan, uno de los factores más importantes que la influyen es: la percepción del consumidor sobre la suavidad y frescura del pan. La colaboración del consumidor al elegir el límite de aceptabilidad de un producto permite la reducción de errores en las estimaciones de la vida útil, llegando a ser los principales determinantes del consumo y compra de un producto. (Marinopoulou et al., 2020).

Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue estimar el tiempo de vida útil de panes de molde clásico, integral y multiseñillas, reformulados y mejorados en calidad mediante pruebas aceleradas y tiempo real con la colaboración de consumidores y jueces entrenados con el fin de dar a conocer a los interesados en la industria de panificación la diferencia en resultados para ambos métodos.

2. Materiales y métodos

2.1. Muestra

a) Panes de molde

Se utilizaron tres marcas de panes de molde: Marca A (clásico), Marca B (integral) y Marca C (multicereal) con empaque de polietileno de un mismo lote adquiridos en el Bazar de la Universidad Peruana Unión, los cuales cumplieron con los criterios mínimos establecidos por la Norma Técnica Peruana 206.004:2021 para panes de molde (INACAL, 2021). La composición e información nutricional de cada marca de pan se encuentran en la Tabla 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1.

Composición (ingredientes) de panes analizados

Pan	Composición
Marca A	Harina de trigo fortificada, azúcar, manteca vegetal, levadura fresca, gluten de trigo, sal, leche entera en polvo, mezcla [antiglutinante (SIN170i), harina de trigo fortificada, agente de tratamiento de la harina (SIN 927a, SIN 1100i, enzimas)], sustituto de la sal [cloruro de sodio, acentuador de sabor [cloruro de potasio (SIN 577), regulador de la acidez [citrato de tripotasio (SIN 332ii), gluconato de potasio (SIN 577)]]], sustancia conservadora (SIN 282), sal, emulsionantes (SIN 471), mezcla [antiglutinantes (SIN 341iii, SIN 551, regulador de acidez (SIN 270), ácido esteárico], estabilizadores [Harina konjac (SIN 425), goma guar (SIN 412), mezcla enzimática [agentes de tratamiento de la harina (SIN 1100i, SIN 1100iii, xilanasa, fosfolipasa, glucosa oxidasa, harina de trigo fortificada].
Marca B	Harina integral de trigo fortificada, azúcar rubia, manteca vegetal, levadura fresca (saccharomyces cerevisiae), aceite vegetal, gluten de trigo, melaza de caña, salvado de trigo, sustituto de sal [cloruro de sodio, acentuador de sabor (cloruro de potasio (SIN 508)), reguladores de acidez [citrato de tripotasio (SIN 332ii), gluconato de potasio (SIN 577)], harina de soya, germen de trigo, mezcla [antiglutinante (SIN170i), harina de trigo fortificada, agente de tratamiento de la harina (SIN 927a, SIN 1100i, enzimas)], sustancia conservadora (SIN 282), emulsionante (SIN 471), sal, suero de leche en polvo, mezcla [antiglutinantes (SIN 341iii, SIN 551, regulador de acidez (SIN 270), ácido esteárico], emulsionante (SIN 322i).
Marca C	²⁵ Harina de trigo fortificada, harina integral de trigo fortificada, miel de abeja 5%, chips granulado [azúcar, harina de trigo, miel ámbar claro, aceite de canola, almidón de maíz, almidón de trigo, sólidos de jarabe de maíz, colorante SIN 150a, fructosa, dextrosa, sal, emulsionante SIN 322i], semillas de girasol 4%, aceite vegetal, semilla de chía 4%, hojuelas de avena, levadura fresca, gluten de trigo, ajonjolí 2%, sustituto de sal [cloruro de sodio, acentuador de sabor (cloruro de potasio (SIN 508)), reguladores de acidez [citrato de tripotasio (SIN 332ii), gluconato de potasio (SIN 577)], azúcar rubia, sustancia conservadora SIN 282, ²² mix enzimático [harina de trigo, emulsionante (SIN 471, SIN 481i), gluten de trigo, agente de tratamiento de la harina [SIN 300, alfa amilasa de aspergillus oryzae var (SIN1100 i), fumarato ferroso, cianocobalamina, ácido fólico, riboflavina y palmitato de vitamina A, edulcorante (glicósidos de esteviol de estevia SIN 960a), antioxidante (ácido ascórbico SIN 300), Glucosa oxidasa.

Tabla 2.

Información nutricional en 100 gramos de cada pan analizado

Energía y Nutrientes	Marca A	Marca B	Marca C
Energía (kcal)	293.2	287.5	314.1
Carbohidratos totales (g)	49.1	47.0	49.5
Azúcares totales (g)	7.6	6.6	9.9
Fibra dietética (g)	2.6	5.0	5.1
Grasa total (g)	5.8	5.9	7.5
Grasas saturadas (g)	3.0	2.6	1.4
Grasa trans (g)	0.0	0.0	0.0
Grasas monoinsaturadas (g)	1.7	1.7	2.5
Grasa poliinsaturadas (g)	1.0	1.5	3.6
Colesterol (mg)	0.0	2.0	2.0
Proteína (g)	11.3	11.6	12.1
Sodio (mg)	312.1	309.9	364.8
Hierro (mg)	-	-	12.8

b) Participantes

- Consumidores:

Participaron en el estudio 60 personas, consumidores habituales de panes de molde de la marca estudiada con edades comprendidas entre 18 a 40 años, residentes de la ciudad de Lima.

- Jueces entrenados:

Estuvo compuesto por 5 miembros entrenados en el análisis sensorial de panes de molde y que tienen incluido en su dieta el consumo de panes de la marca estudiada con edades comprendidas entre 28 y 40 años.

2.2. Métodos de análisis

2.2.1. Análisis Químico Proximal

El análisis proximal del pan de molde se efectuó según métodos oficiales de la AOAC (2016). Humedad 925.09, acidez (expresada en ácido sulfúrico) 942.15 y cenizas totales

930.22. Se midió en cada día de prueba a ²⁹ fin de cumplir con los requisitos exigidos por la 206.004 de la NTP para pan de molde.

2.2.2. ² Determinación de la vida útil mediante panel entrenado

El panel entrenado se encargó de medir ⁵ la intensidad de los atributos sensoriales para cada marca de pan descritos en la Tabla 3 utilizando una escala de 10 cm de longitud anclada en los extremos que corresponden a la intensidad del atributo según Lesaffre et al., (2017) quienes unifican los términos sensoriales para describir el pan de molde en un vocabulario experto y su relación con la apreciación del consumidor.

Estas mediciones se realizaron en los días descritos en la Tabla 4 para cada marca de pan a una temperatura de almacenamiento diferente en una presentación monádica; es decir, cada miembro recibió una tajada de pan en un plato codificado por cada marca de pan y temperatura de almacenamiento. Para la evaluación, se otorgó un tiempo de 60 segundos entre muestra y un vaso de agua para enjuagar su boca. Las condiciones para la evaluación fueron un ambiente iluminado a una temperatura y humedad relativa ambiente.

Tabla 3.

Atributos sensoriales para describir el pan de molde

Atributo sensorial	Extremo 0	Extremo 10	Descripción
Color de la Miga	Beige/Crema	Amarillo	Apariencia de la miga
Intensidad del color de la miga	Claro	Oscuro	
Aroma alcohol	Débil	Intenso	La intensidad del aroma que prevalece en el pan.
Aroma leche/mantequilla	Débil	Intenso	
Aroma fermentado	Débil	Intenso	
Aroma trigo	Débil	Intenso	
Dureza (pan entero)	Duro	Blando	Comportamiento del pan entero al presionar sobre la superficie.
Firmeza	Firme	Suave	Comportamiento de la rebanada cuando se presiona la superficie.

Resistencia la deformación	Rígido	Deformable	Comportamiento del producto cuando los laterales de la rebanada se aprietan entre el pulgar y el índice.
Humedad miga tocando	Seco	Húmedo	La humedad presionando suavemente la rebanada en ambos lados entre el pulgar, índice y dedo medio.
Elasticidad	Poco elástico	Muy elástico	Capacidad de la miga para volver a su forma original, al presionar firmemente el centro de la rebanada con un dedo.
Flexibilidad	No plegable	Plegable	Comportamiento del producto cuando la rebanada se pliega en dos.
Rigidez	La rebanada se dobla	La rebanada se mantiene rígida	Comportamiento de la rebanada cuando se coge por la esquina.
Humedad miga en la boca	Sensación de boca seca	Sensación húmeda/fresca en la boca	Se coloca un trozo de miga en la boca y evalúa el nivel de humedad.
Adhesividad	No pegajoso	Pegajoso	Adherencia de un trozo de miga entre los dientes. Masticando 10 veces. Es pegajoso cuando se crea una película entre las mandíbulas o se adhiere a los dientes.
Sabor dulce	Poco/sin azúcar	Muy dulce	La intensidad del sabor que prevalece en el pan al ser consumido
Sabor ácido	Sutilmente ácido/dulce	Muy ácido	
Sabor salado	Ligeramente salado/sin sal	Salado	
Sabor umami	Poco/sin umami	Muy umami	

Fuente: (Lesaffre et al., 2017)

2.2.3. Determinación de la vida útil mediante consumidores

Cada consumidor recibió el día específico, tres platos codificados con números al azar en tres momentos diferentes. Cada plato incluía una tajada de pan de molde que comprendía parte de la corteza y miga. El intervalo entre dos evaluaciones de muestras consecutivas fue de 60 segundos, en el que el panelista enjuaga su boca con agua (Watts et al., 1992). Para cada muestra se les solicitó determinar la aceptabilidad o rechazo global e intención de compra del pan mediante un cuestionario de dos alternativas: Sí es aceptable y No es

aceptable; Sí lo compraría y No lo compraría (Nicolí, 2012). Las respuestas sí o no se utilizaron para determinar la vida útil mediante el análisis de supervivencia (Hough et al., 2003).

2.2.4. Determinación de la vida útil mediante modelos cinéticos

La determinación de vida útil de los panes se realizó teniendo en cuenta la disminución o cambio estadístico significativo de los análisis químicos y atributos sensoriales del producto a condiciones aceleradas. Para este estudio se escogieron las temperaturas de 30 °C, 40 °C y 50 °C a fin de establecer una diferencia de 10 °C y calcular el valor Q10, el cual representa la relación de las constantes de velocidad de reacción a la temperatura determinada (García & Molina, 2011). Se trabajaron con modelos cinéticos para poder determinar la velocidad de reacción y orden de cinética. La constante de velocidad de reacción en función de la temperatura se describe por la ecuación de Arrhenius (1).

$$k = A_0 + \frac{E_a}{RT}, n = 0 \quad ; \quad k = A_0 e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)}, n = 1 \quad (1)$$

Se aplicaron logaritmos a ambos lados de la ecuación (1) y se obtuvo la ecuación de una línea recta con una pendiente E_a/R (2). El término E_a corresponde al valor de la energía de activación, k es la constante de velocidad de reacción, A es el factor de frecuencia, R es la constante de los gases ideales (8.31 J/mol K) y T es la temperatura absoluta (Kelvin).

$$\ln k = \frac{E_a}{RT} \cdot \frac{1}{T} + \ln A_0 \quad (2)$$

El parámetro Q_{10} se define como la razón entre la constante de velocidad a una temperatura (T) y la constante de velocidad a otra temperatura ($T+10^\circ\text{C}$). Este parámetro depende de E_a y la temperatura absoluta T y se calcula de acuerdo a la ecuación (3).

$$Q_{10} = \frac{k_{(T+10)}}{k_T} = e^{\left(\frac{10E_a}{R(T+10)}\right)} = \frac{VU_T}{VU_{(T+10)}} \quad (3)$$

Donde k_T es la constante de reacción a T_1 y $k_{(T+10)}$ es la constante a $T_2 = T_1 + 10^\circ\text{C}$. VU_T es la vida útil del producto a T_1 y VU_{T+10} es la vida de anaquel a T_2 .

2.3. Diseño experimental

Las muestras de pan de molde se dividieron en cuatro grupos para su almacenamiento, los cuales corresponden a cuatro temperaturas diferentes: ambiente, 30, 40 y 50 °C.

Tabla 4.

Factores de tratamiento para determinar la vida útil de panes de molde

	Tratamientos				Variables respuesta
	Tiempo real T. Ambiente	Tiempo acelerado			
		30 °C	40 °C	50 °C	
Días de evaluación	0	0	0	0	Análisis químico
	6	5	3	2	Aceptabilidad por consumidores
	11	10	7	6	Análisis sensorial por jueces entrenados
	23	17	14	10	
	30	24	19	15	Deteminación de vida útil

Para las condiciones de tiempo real, los panes se almacenaron de la misma forma que su comercialización, es decir, en un ambiente con temperatura no controlada entre 18 y 23 °C y humedad entre 76 y 86 %; el tiempo de almacenamiento fue recomendado por (Belz et al., 2019). Se utilizó un mismo lote para los 0, 6, 11, 23, 30 días y se evaluaron química y sensorialmente. Por otro lado, para las condiciones de tiempo acelerado, los panes se almacenaron dentro de estufas con temperatura controlada de 30, 40 y 50 °C y humedad de ambiente controlado a 80% durante los días registrados en la Tabla 4. Todos los tipos de almacenamientos fueron realizados fuera de luz intensa, olores extraños y libres de contaminación.

Los análisis sensoriales y químicos se realizaron en días específicos para cada temperatura según la Tabla 4. Cada día establecido, cuatro unidades de panes eran retirados del lugar de almacenamiento y distribuidos en los diferentes análisis de estudio.

2.4. Análisis de datos

2.4.1. Datos descriptivos

Se realizó el cálculo del promedio y desviación estándar de las mediciones en la escala de intensidad para cada atributo medido por los jueces entrenados. Además se aplicó el Análisis de varianza para un solo factor (días) por cada temperatura con un intervalo de confianza al 95 %. Finalmente, para determinar diferencias entre los días de análisis, se realizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza de $\alpha = 0,05$ para cada uno de los atributos. Todos los datos fueron procesados en los programas Microsoft Excel y XLStat.

2.4.2. Datos afectivos/aceptabilidad

Se calculó la cantidad de muestras rechazadas por el panel sensorial no entrenado de cada marca de pan mediante una prueba afectiva de aceptación discriminativa en función al atributo de aceptación general según Bustamante (2022). En la prueba de aceptación, los consumidores contestaron con un SÍ o NO a las muestras presentadas con diferentes días de almacenamientos. Estos resultados se ajustaron al modelo de Weibull y se determinó la diferencia de rechazos entre los días de almacenamiento mediante la prueba no paramétrica Chi-cuadrado. Con los parámetros encontrados de Weibull, se puede aplicar en la función de falla, también conocida como función de rechazo acumulada de Weibull.

2.4.3. Estimación del nivel de atributo crítico

La estimación del nivel de atributo crítico se realizó por regresión lineal de la intensidad del atributo medido por el panel entrenado con el porcentaje de aceptabilidad del consumidor. Considerando como límite el 65% de aceptabilidad de los panes Marca A y Marca B por parte de los consumidores reemplazamos el porcentaje de aceptabilidad en la ecuación lineal obtenida y obtenemos la intensidad del atributo crítico. En el caso del pan Marca C se consideró como límite de aceptabilidad el 90%.

2.5. Análisis estadístico

Para evaluar las metodologías de determinación de tiempo de vida útil, se aplicaron los análisis estadísticos correspondientes: Análisis de Varianza para un solo factor; regresión lineal de los datos de tiempo y contenido de humedad y otros atributos sensoriales con la aplicación de la ecuación de primer grado, determinación de los coeficientes de determinación y correlación y los intervalos de confianza al 95 %. Para la validez de los resultados obtenidos se verificó los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilks, homogeneidad de varianza e independencia. Para determinar diferencias entre los días de análisis, se realizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$ para cada uno de los parámetros. Todos los datos fueron procesados en los programas Microsoft Excel y XLStat.

La bondad de ajuste de los tiempos experimentales a los estimados fue establecido considerando la raíz del error cuadrático medio (RMSE) expresado en días y el porcentaje de error relativo. Ya que, es una métrica muy común para evaluar la precisión de modelos de predicción o regresión. Mide la diferencia entre los valores reales y los predichos, penalizando más fuertemente los errores grandes. (Gerón, 2019).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\text{Valor predicho} - \text{Valor real})^2}{\text{Número de datos experimentales}}} \quad (4)$$

$$\%Error\ relativo = \frac{RMSE}{\text{Tiempo máximo medido}} \times 100 \quad (5)$$

3. Resultados y discusión

3.1. Composición físico-química de los panes de molde

Se determinó el porcentaje de humedad, acidez y ceniza de las tres muestras de pan el día de su producción y se verificó el cumplimiento con la Norma Técnica Peruana 206.004:2021 para panes de molde (INACAL, 2021) en la Tabla 5. La marca A y C presentaron un porcentaje de humedad adecuado; sin embargo, en el caso de la marca B fue mayor. Respecto al porcentaje de acidez y ceniza, todas las marcas se encontraron dentro de lo establecido.

Tabla 5.

Requerimientos mínimos para panes de molde

	Marca A	Marca B	Marca C	Norma Técnica Peruana
% Humedad	38.99 ± 0.35	40.19 ± 0.15	36.51 ± 0.31	< 40.0%
% Acidez	0.20 ± 0.00	0.25 ± 0.00	0.19 ± 0.00	< 0.50%
% Cenizas	2.92 ± 0.04	3.01 ± 0.08	2.72 ± 0.01	< 4.0%

La marca B presentó el mayor porcentaje para los tres componentes, esto puede deberse a la adición de salvado de trigo que incrementa la acidez, dado que la fibra aporta ácidos que incrementan la acidez y disminuye el pH (Simanca et al., 2013). Además si la fermentación ocurre a altas temperaturas o durante periodos prolongados, es probable que la acidez del pan aumente debido al exceso de ácido producido en esa etapa. En cambio, si la fermentación se realiza a bajas temperaturas y durante un tiempo breve, podrían aparecer efectos negativos en el sabor y otras características sensoriales del pan (Suca-Apaza et al., 2022). Asimismo, este pan contiene germen, principal fuente de lípidos en el grano de trigo que se relaciona con la acidez por la presencia de ácidos grasos libres. Por otro lado, el salvado al estar conformado por pericarpio, capa de aleurona, epidermis nuclear y tegumentos, posee una mayor cantidad de cenizas (Liu et al., 2015).

3.2. Variación de la composición química de los panes en el tiempo a diferentes temperaturas de almacenamiento

9 Para determinar el tiempo de vida útil en modo real y acelerado, se realizaron mediciones de los parámetros químicos de los panes en estudio expuestos a cuatro temperaturas diferentes en diferentes días. 24 Los resultados se muestran en la Figura 1, en la que se observa que a mayor tiempo y temperatura hay una disminución de todos los parámetros.

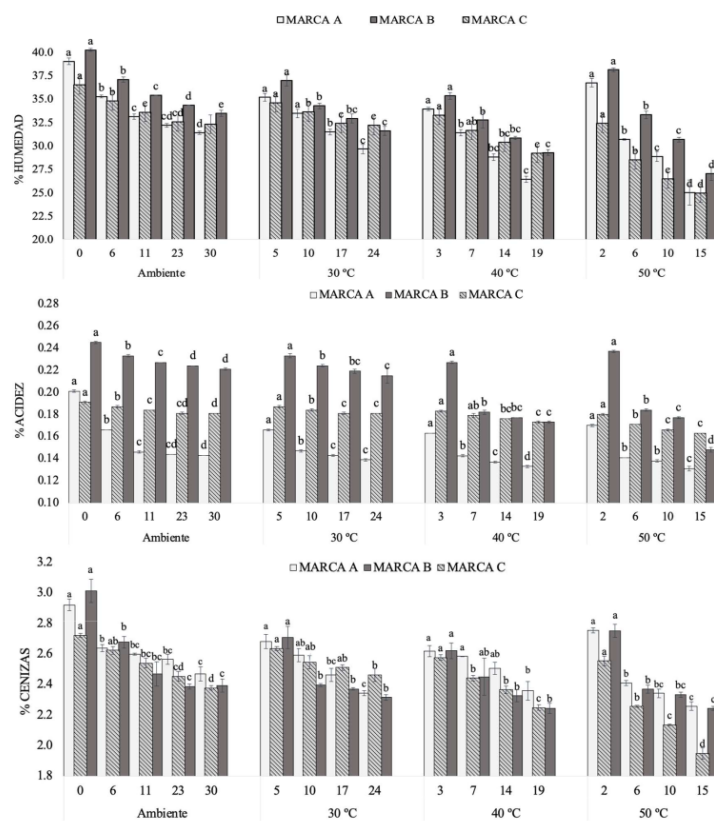


Figura 1. Cambio de porcentaje de humedad, acidez y cenizas en los días de estudio

El contenido de humedad es determinante en cuanto a la conservación y vida útil del pan; es decir, representa una relación proporcional en donde a mayor contenido de humedad, menor es su vida útil; ya que, la cantidad de agua incrementa la posibilidad de proliferación de microorganismos. La incorporación de propionato cálcico en el pan impidió eficazmente la proliferación de hongos, manteniendo la integridad del producto hasta el último día de la evaluación similar a lo obtenido por Lafuente ³⁵ et al. (2024). Por otro lado, la disminución del contenido de humedad es signo de menor vida útil a causa de la no aceptabilidad por parte de consumidores (Bhise & Kaur, 2014).

En este caso, la marca A fue quien perdió mayor contenido de humedad respecto a los otros panes y la marca B presentó mayor contenido de humedad en cada una de las temperaturas y días estudiados. Durante el almacenamiento, el agua tiende a evaporarse, lo que resulta en una disminución de A_w que varía según la humedad relativa exterior (Bianchi et al., 2024).

El pan blanco generalmente contiene menos grasa y fibra en comparación con el pan integral. Las grasas y fibras ayudan a retener la humedad en el pan. Dado que el pan integral conserva más de estas sustancias debido al uso de harina de grano entero, tiende a mantener su humedad por más tiempo. La estructura del pan blanco, con menos fibra y más almidón, puede hacer que se seque más rápidamente. El almidón en el pan blanco puede cristalizarse más rápidamente, lo que contribuye a una textura más seca con el tiempo (Monteau et al., 2017).

3.3. Variación de los datos descriptivos determinado por el panel entrenado en el tiempo a diferentes temperaturas de almacenamiento.

De igual forma, los atributos sensoriales de los panes descritos en la Tabla 3 fueron evaluados por el panel entrenado. La intensidad medida para los atributos se presenta en las Tabla 6-9, en el caso de los panes almacenados a ⁴⁰temperatura ambiente sólo se observaron diferencias significativas en los panes de marca A y B para los atributos de dureza, firmeza, humedad al tacto, flexibilidad y humedad en la boca, a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento, los atributos se aproximaban al extremo 0. El pan

marca C no presentó diferencias significativas durante los 30 días de evaluación. Además, se destaca el sabor dulce como el predominante en las tres marcas de pan estudiadas, el cual va disminuyendo con el tiempo. Tarar et al. (2010) en la evaluación sensorial de panes también obtuvo que a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento, el sabor del pan se volvió más inaceptable. Asimismo el aroma y la textura del pan también se deterioraron con el tiempo.

Tabla 6.

Cambio de intensidad de atributos sensoriales de los panes a temperatura ambiente

TEMPERATURA AMBIENTE					
Tiempo	0	6	11	23	30
COLOR MIGA					
Marca A	2.43 ± 2.36 ^a	3.43 ± 3.04 ^a	2.13 ± 2.41 ^a	5.72 ± 3.05 ^a	4.63 ± 1.95 ^a
Marca B	5.37 ± 2.67 ^a	4.37 ± 1.63 ^a	2.13 ± 1.35 ^a	2.30 ± 0.72 ^a	1.87 ± 1.36 ^a
Marca C	3.87 ± 3.88 ^a	3.77 ± 3.76 ^a	2.37 ± 1.46 ^a	2.73 ± 0.83 ^a	2.47 ± 1.21 ^a
INTENSIDAD DE COLOR DE MIGA					
Marca A	4.17 ± 2.56 ^a	1.53 ± 1.00 ^a	0.63 ± 0.55 ^a	3.52 ± 3.94 ^a	4.67 ± 3.06 ^a
Marca B	7.43 ± 1.80 ^a	6.80 ± 0.46 ^a	5.20 ± 2.88 ^a	6.83 ± 1.20 ^a	4.17 ± 2.52 ^a
Marca C	5.87 ± 3.31 ^a	5.53 ± 2.11 ^a	3.07 ± 2.61 ^a	3.87 ± 1.43 ^a	3.93 ± 1.27 ^a
AROMA ALCOHOL / TOSTADO*					
Marca A	0.70 ± 0.44 ^a	1.57 ± 1.65 ^a	0.53 ± 0.42 ^a	0.63 ± 0.98 ^a	0.63 ± 0.59 ^a
Marca B*	4.40 ± 2.46 ^a	4.33 ± 0.84 ^a	4.57 ± 2.12 ^a	4.00 ± 1.21 ^a	3.53 ± 1.21 ^a
Marca C*	1.47 ± 1.50 ^a	1.70 ± 0.70 ^a	2.83 ± 2.42 ^a	2.87 ± 0.64 ^a	3.73 ± 0.80 ^a
AROMA LECHE/CEREAL*					
Marca A	1.77 ± 2.72 ^a	4.27 ± 2.10 ^a	1.33 ± 1.44 ^a	1.65 ± 2.97 ^a	1.10 ± 1.82 ^a
Marca B*	8.40 ± 0.36 ^a	6.97 ± 0.31 ^{ab}	4.60 ± 1.06 ^{bc}	4.23 ± 1.75 ^{bc}	3.53 ± 1.28 ^c
Marca C*	2.00 ± 0.70 ^a	2.37 ± 1.40 ^a	3.13 ± 1.76 ^a	3.13 ± 1.11 ^a	3.77 ± 2.06 ^a
AROMA FERMENTADO					
Marca A	1.53 ± 2.06 ^a	2.27 ± 1.99 ^a	0.70 ± 0.95 ^a	1.50 ± 2.29 ^a	1.03 ± 1.19 ^a
Marca B	0.27 ± 0.06 ^a	1.30 ± 0.40 ^a	3.17 ± 1.66 ^a	3.37 ± 2.17 ^a	1.80 ± 1.48 ^a
Marca C	0.27 ± 0.12 ^a	0.67 ± 0.31 ^a	2.07 ± 1.36 ^a	1.40 ± 0.30 ^a	2.23 ± 1.63 ^a
AROMA TRIGO					
Marca A	0.97 ± 0.68 ^a	1.87 ± 1.06 ^a	0.97 ± 0.12 ^a	1.48 ± 1.70 ^a	0.50 ± 0.46 ^a
Marca B	5.10 ± 3.75 ^a	6.13 ± 0.70 ^a	4.40 ± 2.00 ^a	4.30 ± 1.56 ^a	2.65 ± 1.07 ^a
Marca C	3.00 ± 2.65 ^a	2.97 ± 2.63 ^a	2.43 ± 0.42 ^a	2.57 ± 0.76 ^a	2.63 ± 0.90 ^a
DUREZA					
Marca A	7.97 ± 1.07 ^a	4.43 ± 2.89 ^{ab}	3.43 ± 1.85 ^{ab}	1.55 ± 2.24 ^b	0.87 ± 0.51 ^b
Marca B	8.27 ± 1.01 ^a	6.33 ± 0.71 ^{ab}	5.13 ± 1.75 ^{ab}	5.00 ± 1.74 ^b	1.23 ± 0.67 ^c
Marca C	5.67 ± 3.90 ^a	5.73 ± 3.82 ^a	6.00 ± 2.12 ^a	4.47 ± 0.95 ^a	2.97 ± 2.00 ^a
FIRMEZA					
Marca A	8.87 ± 1.01 ^a	5.97 ± 0.40 ^{ab}	5.43 ± 0.62 ^b	3.40 ± 2.25 ^{bc}	1.85 ± 1.36 ^c
Marca B	8.00 ± 0.95 ^a	6.37 ± 1.04 ^a	5.40 ± 2.26 ^{ab}	4.67 ± 2.75 ^{ab}	1.53 ± 1.54 ^b
Marca C	6.90 ± 1.68 ^a	6.90 ± 1.68 ^a	6.70 ± 1.30 ^a	4.67 ± 0.90 ^a	6.67 ± 1.24 ^a
RESISTENCIA					
Marca A	7.83 ± 1.36 ^a	5.47 ± 3.41 ^a	4.87 ± 3.87 ^a	3.90 ± 3.73 ^a	4.43 ± 4.37 ^a
Marca B	5.57 ± 3.01 ^a	5.43 ± 1.12 ^a	6.13 ± 3.20 ^a	3.20 ± 1.85 ^a	3.08 ± 2.69 ^a
Marca C	4.63 ± 3.78 ^a	4.27 ± 3.29 ^a	6.83 ± 2.28 ^a	3.90 ± 1.15 ^a	6.60 ± 2.29 ^a
HUMEDAD AL TACTO					
Marca A	9.00 ± 0.87 ^a	6.63 ± 0.50 ^{ab}	4.80 ± 1.05 ^b	3.45 ± 3.15 ^b	2.77 ± 1.08 ^b
Marca B	8.03 ± 0.76 ^a	5.90 ± 0.27 ^{ab}	5.67 ± 1.53 ^{ab}	3.67 ± 1.30 ^b	2.40 ± 2.27 ^b
Marca C	7.70 ± 1.25 ^a	7.93 ± 1.54 ^a	7.47 ± 1.67 ^a	5.73 ± 1.00 ^a	7.50 ± 1.73 ^a
ELASTICIDAD					

Marca A	5.90 ± 4.99 ^a	2.63 ± 1.66 ^a	1.87 ± 1.56 ^a	4.45 ± 3.45 ^a	7.63 ± 1.01 ^a
Marca B	4.02 ± 4.07 ^a	3.57 ± 0.91 ^a	2.70 ± 1.54 ^a	3.07 ± 1.42 ^a	4.60 ± 2.07 ^a
Marca C	6.40 ± 2.34 ^a	5.83 ± 0.38 ^a	7.60 ± 0.99 ^a	6.17 ± 0.87 ^a	7.33 ± 1.16 ^a
FLEXIBILIDAD					
Marca A	8.67 ± 1.53 ^a	1.63 ± 0.40 ^b	1.40 ± 1.99 ^b	1.68 ± 1.58 ^b	1.40 ± 1.13 ^b
Marca B	6.50 ± 1.01 ^a	6.40 ± 0.82 ^{ab}	5.20 ± 0.92 ^{abc}	2.77 ± 2.43 ^{bc}	1.88 ± 1.40 ^c
Marca C	8.00 ± 1.35 ^a	7.93 ± 1.10 ^a	7.57 ± 0.93 ^a	7.10 ± 1.05 ^a	7.40 ± 1.28 ^a
RIGIDEZ					
Marca A	2.77 ± 3.59 ^a	7.47 ± 0.35 ^a	4.23 ± 2.66 ^a	7.45 ± 2.71 ^a	7.10 ± 2.75 ^a
Marca B	1.87 ± 0.85 ^c	2.93 ± 0.25 ^c	3.87 ± 2.64 ^{bc}	7.23 ± 0.46 ^{ab}	7.98 ± 1.27 ^a
Marca C	8.10 ± 1.10 ^a	8.27 ± 1.63 ^a	4.50 ± 2.07 ^a	5.77 ± 0.65 ^a	3.90 ± 2.74 ^a
HUMEDAD EN LA BOCA					
Marca A	8.30 ± 0.69 ^a	4.20 ± 1.56 ^{ab}	2.70 ± 2.89 ^b	1.65 ± 1.16 ^b	1.73 ± 1.30 ^b
Marca B	8.07 ± 0.78 ^a	7.12 ± 0.35 ^{ab}	4.73 ± 0.51 ^{bc}	3.07 ± 1.86 ^{cd}	1.35 ± 0.91 ^d
Marca C	7.37 ± 1.11 ^a	7.60 ± 1.30 ^a	6.63 ± 1.97 ^a	4.87 ± 1.22 ^a	6.30 ± 1.77 ^a
ADHESIVIDAD					
Marca A	3.53 ± 2.90 ^a	1.13 ± 0.61 ^a	3.27 ± 3.68 ^a	2.45 ± 2.68 ^a	2.27 ± 1.75 ^a
Marca B	4.03 ± 3.70 ^a	1.80 ± 0.30 ^a	2.07 ± 0.96 ^a	0.93 ± 0.81 ^a	1.00 ± 0.65 ^a
Marca C	5.27 ± 1.20 ^a	5.40 ± 1.61 ^a	5.40 ± 2.52 ^a	4.33 ± 1.00 ^a	5.20 ± 2.71 ^a
DULCE					
Marca A	2.80 ± 2.60 ^a	3.17 ± 3.40 ^a	1.07 ± 0.40 ^a	1.20 ± 0.62 ^a	0.50 ± 0.40 ^a
Marca B	3.70 ± 3.58 ^a	1.77 ± 0.64 ^a	1.10 ± 1.39 ^a	1.20 ± 0.27 ^a	0.95 ± 0.45 ^a
Marca C	4.20 ± 3.00 ^a	4.07 ± 2.50 ^a	6.13 ± 1.78 ^a	4.57 ± 1.78 ^a	6.70 ± 2.10 ^a
ACIDO					
Marca A	0.43 ± 0.21 ^a	0.93 ± 0.85 ^a	0.33 ± 0.25 ^a	0.63 ± 0.74 ^a	0.33 ± 0.25 ^a
Marca B	0.33 ± 0.15 ^a	0.27 ± 0.06 ^a	1.19 ± 0.92 ^a	0.47 ± 0.23 ^a	0.30 ± 0.22 ^a
Marca C	0.43 ± 0.15 ^a	0.37 ± 0.32 ^a	0.47 ± 0.32 ^a	0.60 ± 0.44 ^a	0.47 ± 0.64 ^a
SALADO					
Marca A	0.33 ± 0.32 ^a	1.60 ± 1.21 ^a	2.63 ± 3.31 ^a	1.83 ± 3.05 ^a	1.00 ± 1.22 ^a
Marca B	1.77 ± 1.58 ^a	1.40 ± 0.70 ^a	1.67 ± 1.21 ^a	2.17 ± 0.81 ^a	1.10 ± 1.03 ^a
Marca C	0.80 ± 0.95 ^a	0.90 ± 0.61 ^a	0.60 ± 0.46 ^a	1.23 ± 0.75 ^a	0.57 ± 0.45 ^a
UMAMI					
Marca A	0.23 ± 0.25 ^a	0.43 ± 0.31 ^a	0.30 ± 0.44 ^a	0.40 ± 0.29 ^a	0.20 ± 0.20 ^a
Marca B	0.93 ± 0.97 ^a	9.43 ± 0.15 ^a	0.33 ± 0.31 ^a	0.40 ± 0.17 ^a	0.20 ± 0.12 ^a
Marca C	0.77 ± 0.74 ^a	0.73 ± 0.71 ^a	0.57 ± 0.51 ^a	0.80 ± 0.27 ^a	0.60 ± 0.56 ^a

Conforme se aumentó la temperatura de almacenamiento, el valor de intensidad de los atributos fue diferente significativamente a menor tiempo de almacenamiento. Ya que, al exponer los alimentos a condiciones extremas, se espera la aceleración de su deterioro (Galić et al., 2019), lo cual se confirma con lo obtenido en las Tablas 7-9.

Tabla 7.

Cambio de intensidad de atributos sensoriales de los panes a temperatura 30°C

TEMPERATURA 30 °C				
Tiempo	5	10	17	24
COLOR MIGA				
Marca A	3.27 ± 3.00 ^a	3.53 ± 3.52 ^a	2.60 ± 0.71 ^a	5.60 ± 3.39 ^a
Marca B	3.25 ± 2.43 ^a	2.95 ± 0.92 ^a	2.50 ± 0.76 ^a	1.93 ± 1.66 ^a
Marca C	3.70 ± 3.61 ^a	2.87 ± 2.44 ^a	2.47 ± 1.01 ^a	1.50 ± 0.14 ^a
INTENSIDAD DE COLOR DE MIGA				
Marca A	1.37 ± 0.95 ^a	1.60 ± 0.62 ^a	2.30 ± 1.80 ^a	2.25 ± 0.87 ^a
Marca B	5.58 ± 2.28 ^a	6.75 ± 0.07 ^a	7.03 ± 1.25 ^a	4.20 ± 2.96 ^a
Marca C	5.47 ± 2.17 ^a	3.43 ± 2.80 ^a	3.70 ± 1.25 ^a	3.35 ± 0.64 ^a

	AROMA ALCOHOL / TOSTADO*			
Marca A	1.40 ± 1.61 ^a	1.80 ± 1.47 ^a	1.63 ± 1.19 ^a	1.73 ± 1.99 ^a
Marca B*	4.20 ± 0.69 ^a	5.10 ± 0.28 ^a	4.20 ± 1.31 ^a	3.40 ± 1.30 ^a
Marca C*	1.63 ± 0.59 ^a	2.30 ± 1.11 ^a	2.47 ± 0.31 ^a	3.65 ± 0.07 ^a
	AROMA LECHE/CEREAL*			
Marca A	4.10 ± 2.05 ^a	2.83 ± 0.75 ^a	1.77 ± 1.81 ^a	1.83 ± 1.94 ^a
Marca B*	6.20 ± 1.36 ^a	5.00 ± 0.42 ^a	4.43 ± 1.85 ^a	3.37 ± 1.19 ^a
Marca C*	2.30 ± 1.21 ^a	2.93 ± 1.04 ^a	2.47 ± 0.40 ^a	2.90 ± 0.71 ^a
	AROMA FERMENTADO			
Marca A	2.10 ± 1.93 ^a	2.57 ± 1.82 ^a	2.38 ± 1.48 ^a	1.65 ± 2.26 ^a
Marca B	1.65 ± 0.96 ^a	5.15 ± 1.06 ^a	3.57 ± 2.27 ^a	1.87 ± 1.87 ^a
Marca C	0.60 ± 0.20 ^a	2.70 ± 1.31 ^a	1.73 ± 0.49 ^a	2.25 ± 1.48 ^a
	AROMA TRIGO			
Marca A	1.70 ± 1.02 ^a	1.77 ± 0.84 ^a	1.53 ± 2.06 ^a	2.05 ± 1.53 ^a
Marca B	5.30 ± 1.58 ^a	4.85 ± 0.64 ^a	4.50 ± 1.65 ^a	2.77 ± 1.36 ^a
Marca C	2.90 ± 2.85 ^a	3.13 ± 1.00 ^a	2.30 ± 0.60 ^a	2.10 ± 1.56 ^a
	DUREZA			
Marca A	4.27 ± 2.92 ^a	3.87 ± 2.19 ^a	0.87 ± 0.72 ^a	2.33 ± 1.61 ^a
Marca B	5.95 ± 0.81 ^a	2.65 ± 0.35 ^{bc}	5.20 ± 1.76 ^{ab}	1.13 ± 0.49 ^c
Marca C	5.67 ± 3.97 ^a	5.27 ± 1.21 ^a	2.47 ± 1.33 ^a	2.90 ± 0.57 ^a
	FIRMEZA			
Marca A	5.80 ± 0.46 ^a	3.83 ± 2.41 ^{ab}	1.10 ± 0.53 ^b	2.88 ± 2.04 ^{ab}
Marca B	5.78 ± 1.30 ^a	3.15 ± 0.78 ^{ab}	4.87 ± 2.77 ^{ab}	0.97 ± 0.38 ^b
Marca C	6.83 ± 1.91 ^a	7.23 ± 1.10 ^a	4.10 ± 2.65 ^a	4.65 ± 1.20 ^a
	RESISTENCIA			
Marca A	5.30 ± 3.47 ^a	4.47 ± 3.76 ^a	1.10 ± 0.17 ^a	2.95 ± 2.86 ^a
Marca B	6.43 ± 2.37 ^a	3.60 ± 0.57 ^{ab}	3.40 ± 1.78 ^{ab}	2.00 ± 1.04 ^b
Marca C	4.20 ± 3.51 ^a	7.03 ± 3.12 ^a	4.40 ± 3.05 ^a	5.65 ± 3.04 ^a
	HUMEDAD			
Marca A	5.47 ± 1.05 ^a	3.80 ± 2.33 ^{ab}	0.93 ± 0.35 ^b	2.80 ± 2.18 ^{ab}
Marca B	5.58 ± 0.50 ^a	3.40 ± 0.28 ^{bc}	3.87 ± 1.36 ^{ab}	1.47 ± 0.15 ^c
Marca C	7.87 ± 1.77 ^a	7.73 ± 1.46 ^a	4.63 ± 2.10 ^a	4.70 ± 2.26 ^a
	ELASTICIDAD			
Marca A	2.47 ± 1.60 ^a	1.80 ± 0.79 ^a	2.27 ± 1.69 ^a	2.95 ± 2.92 ^a
Marca B	2.75 ± 1.61 ^a	3.75 ± 1.20 ^a	3.27 ± 1.33 ^a	4.47 ± 2.49 ^a
Marca C	5.77 ± 0.55 ^a	3.60 ± 2.25 ^a	5.13 ± 1.50 ^a	6.45 ± 0.92 ^a
	FLEXIBILIDAD			
Marca A	1.47 ± 0.38 ^a	0.70 ± 0.40 ^a	0.65 ± 0.49 ^a	2.27 ± 2.60 ^a
Marca B	5.70 ± 1.55 ^a	2.10 ± 0.00 ^{ab}	2.97 ± 2.50 ^{ab}	1.40 ± 0.52 ^b
Marca C	7.87 ± 1.33 ^a	8.20 ± 1.81 ^a	5.37 ± 2.33 ^a	6.20 ± 0.28 ^a
	RIGIDEZ			
Marca A	7.30 ± 0.36 ^a	7.03 ± 2.28 ^a	8.27 ± 1.07 ^a	5.97 ± 4.27 ^a
Marca B	4.28 ± 2.89 ^a	3.25 ± 1.63 ^a	7.43 ± 0.47 ^a	8.47 ± 1.29 ^a
Marca C	8.20 ± 1.81 ^a	3.13 ± 2.70 ^a	6.17 ± 2.32 ^a	7.00 ± 1.56 ^a
	HUMEDAD			
Marca A	4.03 ± 1.60 ^a	2.77 ± 1.44 ^a	1.83 ± 1.50 ^a	1.55 ± 0.53 ^a
Marca B	6.40 ± 1.30 ^a	2.75 ± 0.50 ^b	3.27 ± 1.95 ^{ab}	1.17 ± 0.55 ^b
Marca C	7.53 ± 1.53 ^a	7.53 ± 1.70 ^a	4.33 ± 2.14 ^a	4.75 ± 0.50 ^a
	ADHESIVIDAD			
Marca A	0.97 ± 0.57 ^a	0.97 ± 0.32 ^a	1.07 ± 1.16 ^a	1.93 ± 1.73 ^a
Marca B	1.45 ± 0.56 ^a	2.25 ± 2.05 ^a	1.13 ± 0.81 ^a	1.00 ± 0.61 ^a
Marca C	5.33 ± 1.65 ^a	4.23 ± 2.25 ^a	4.50 ± 2.21 ^a	4.15 ± 2.76 ^a
	DULCE			
Marca A	3.00 ± 3.36 ^a	1.60 ± 0.80 ^a	1.23 ± 0.21 ^a	1.00 ± 0.72 ^a
Marca B	1.33 ± 0.86 ^a	0.95 ± 0.50 ^a	1.40 ± 0.30 ^a	1.13 ± 0.50 ^a
Marca C	4.00 ± 2.30 ^a	5.83 ± 1.76 ^a	4.57 ± 1.78 ^a	3.80 ± 0.14 ^a
	ÁCIDO			
Marca A	0.77 ± 0.80 ^a	0.80 ± 0.76 ^a	0.33 ± 0.06 ^a	0.35 ± 0.27 ^a
Marca B	0.20 ± 0.08 ^a	0.65 ± 0.35 ^a	0.67 ± 0.25 ^a	0.43 ± 0.12 ^a
Marca C	0.30 ± 0.30 ^a	0.50 ± 0.40 ^a	0.57 ± 0.47 ^a	0.70 ± 0.14 ^a
	SALADO			

Marca A	1.43 ± 1.16 ^a	1.67 ± 1.19 ^a	1.17 ± 0.90 ^a	1.60 ± 1.78 ^a
Marca B	1.10 ± 0.70 ^a	2.40 ± 0.28 ^a	2.37 ± 0.90 ^a	1.63 ± 1.03 ^a
Marca C	0.83 ± 0.51 ^a	0.70 ± 0.61 ^a	1.30 ± 0.76 ^a	1.20 ± 0.42 ^a
UMAMI				
Marca A	0.27 ± 0.25 ^a	0.30 ± 0.30 ^a	0.40 ± 0.17 ^a	0.23 ± 0.21 ^a
Marca B	0.28 ± 0.17 ^a	0.40 ± 0.14 ^a	0.60 ± 0.27 ^a	0.73 ± 0.49 ^a
Marca C	0.87 ± 0.72 ^a	0.30 ± 0.30 ^a	0.60 ± 0.10 ^a	0.70 ± 0.28 ^a

Tabla 8.

Cambio de intensidad de atributos sensoriales de los panes a temperatura 40°C

TEMPERATURA 40 °C				
Tiempo	3	7	14	19
COLOR MIGA				
Marca A	3.50 ± 2.91 ^a	5.73 ± 3.35 ^a	3.60 ± 2.69 ^a	1.93 ± 1.11 ^a
Marca B	2.07 ± 0.64 ^a	2.20 ± 0.85 ^a	2.27 ± 2.05 ^a	1.35 ± 0.55 ^a
Marca C	1.40 ± 0.99 ^a	3.17 ± 2.41 ^a	2.10 ± 0.25 ^a	1.40 ± 0.46 ^a
INTENSIDAD DE COLOR DE MIGA				
Marca A	1.87 ± 1.06 ^a	1.68 ± 1.19 ^a	2.05 ± 0.64 ^a	2.13 ± 1.71 ^a
Marca B	5.87 ± 2.55 ^a	6.30 ± 1.84 ^a	6.13 ± 0.32 ^a	3.63 ± 0.22 ^a
Marca C	1.65 ± 1.63 ^a	3.75 ± 1.03 ^a	2.68 ± 0.62 ^a	4.40 ± 1.40 ^a
AROMA ALCOHOL / TOSTADO*				
Marca A	2.00 ± 1.66 ^a	1.80 ± 1.96 ^a	2.20 ± 0.28 ^a	2.07 ± 1.50 ^a
Marca B*	4.60 ± 2.62 ^a	2.80 ± 1.27 ^a	2.73 ± 1.07 ^a	3.18 ± 2.36 ^a
Marca C*	1.45 ± 0.64 ^a	1.95 ± 1.31 ^a	2.43 ± 1.53 ^a	1.73 ± 1.24 ^a
AROMA LECHE/CEREAL*				
Marca A	3.73 ± 2.50 ^a	1.98 ± 1.99 ^a	3.70 ± 0.14 ^a	3.53 ± 0.32 ^a
Marca B*	5.13 ± 1.97 ^a	2.45 ± 1.91 ^a	3.50 ± 0.79 ^a	3.90 ± 1.71 ^a
Marca C*	2.70 ± 0.71 ^a	1.75 ± 1.17 ^a	2.60 ± 1.14 ^a	1.73 ± 1.16 ^a
AROMA FERMENTADO				
Marca A	2.80 ± 2.36 ^a	1.43 ± 1.65 ^a	2.75 ± 1.77 ^a	1.90 ± 1.56 ^a
Marca B	2.43 ± 2.36 ^a	2.80 ± 1.84 ^a	2.53 ± 2.65 ^a	3.10 ± 2.03 ^a
Marca C	1.55 ± 0.35 ^a	2.13 ± 1.37 ^a	2.50 ± 1.45 ^a	1.77 ± 2.04 ^a
AROMA TRIGO				
Marca A	3.43 ± 3.30 ^a	1.70 ± 0.50 ^a	2.45 ± 1.91 ^a	2.07 ± 1.72 ^a
Marca B	4.20 ± 2.29 ^a	3.35 ± 1.06 ^a	3.37 ± 1.42 ^a	3.70 ± 2.32 ^a
Marca C	1.95 ± 1.06 ^a	2.23 ± 1.60 ^a	2.70 ± 0.97 ^a	1.70 ± 1.60 ^a
DUREZA				
Marca A	6.50 ± 0.76 ^a	2.70 ± 1.46 ^b	1.25 ± 0.50 ^b	1.07 ± 0.61 ^b
Marca B	6.40 ± 0.79 ^a	2.40 ± 0.57 ^b	1.37 ± 1.10 ^b	1.85 ± 1.26 ^b
Marca C	6.90 ± 2.12 ^a	3.13 ± 0.67 ^b	2.93 ± 1.57 ^b	2.90 ± 1.22 ^b
FIRMEZA				
Marca A	4.77 ± 2.55 ^a	3.10 ± 1.93 ^a	2.55 ± 1.20 ^a	1.23 ± 0.70 ^a
Marca B	6.63 ± 0.67 ^a	2.45 ± 0.35 ^b	2.13 ± 0.90 ^b	2.10 ± 0.41 ^b
Marca C	7.30 ± 1.98 ^a	5.67 ± 2.38 ^a	5.22 ± 2.17 ^a	6.10 ± 2.44 ^a
RESISTENCIA				
Marca A	5.37 ± 3.43 ^a	3.22 ± 2.74 ^a	1.10 ± 0.42 ^a	3.00 ± 3.48 ^a
Marca B	5.90 ± 3.15 ^a	2.25 ± 0.21 ^a	1.93 ± 0.23 ^a	3.80 ± 3.93 ^a
Marca C	6.75 ± 3.61 ^a	6.50 ± 3.16 ^a	5.93 ± 2.11 ^a	4.43 ± 2.57 ^a
HUMEDAD				
Marca A	5.57 ± 2.12 ^a	2.98 ± 2.13 ^a	2.00 ± 0.28 ^a	1.47 ± 0.91 ^a
Marca B	6.40 ± 1.50 ^a	1.95 ± 0.35 ^b	2.00 ± 0.66 ^b	1.55 ± 1.00 ^b
Marca C	7.30 ± 1.70 ^a	6.15 ± 2.56 ^a	4.00 ± 0.88 ^a	5.37 ± 2.40 ^a
ELASTICIDAD				
Marca A	2.77 ± 1.72 ^a	2.40 ± 2.11 ^a	6.35 ± 0.07 ^a	5.67 ± 2.93 ^a
Marca B	5.37 ± 3.94 ^a	5.10 ± 1.13 ^a	4.47 ± 2.50 ^a	2.85 ± 2.78 ^a
Marca C	6.60 ± 0.28 ^a	6.45 ± 2.20 ^a	7.47 ± 2.39 ^a	7.87 ± 1.47 ^a

	FLEXIBILIDAD			
Marca A	2.13 ± 1.79 ^a	2.35 ± 2.62 ^a	1.35 ± 0.64 ^a	1.00 ± 1.02 ^a
Marca B	5.40 ± 1.45 ^a	1.10 ± 0.14 ^a	1.40 ± 1.76 ^a	3.13 ± 4.53 ^a
Marca C	8.00 ± 2.26 ^a	7.63 ± 1.62 ^a	7.15 ± 1.41 ^a	4.30 ± 3.24 ^a
	RIGIDEZ			
Marca A	7.03 ± 0.57 ^a	8.37 ± 1.29 ^a	5.10 ± 4.10 ^a	5.37 ± 4.05 ^a
Marca B	5.23 ± 2.57 ^a	7.20 ± 1.27 ^a	4.57 ± 3.78 ^a	6.35 ± 4.24 ^a
Marca C	3.90 ± 3.96 ^a	3.60 ± 1.79 ^a	3.63 ± 2.62 ^a	5.00 ± 4.29 ^a
	HUMEDAD			
Marca A	5.40 ± 1.40 ^a	1.80 ± 0.52 ^b	2.10 ± 0.57 ^b	1.20 ± 0.61 ^b
Marca B	5.90 ± 0.72 ^a	1.55 ± 0.07 ^b	1.20 ± 0.89 ^b	0.78 ± 0.39 ^b
Marca C	6.80 ± 3.54 ^a	6.33 ± 1.86 ^a	4.78 ± 3.00 ^a	4.10 ± 2.75 ^a
	ADHESIVIDAD			
Marca A	1.77 ± 1.50 ^a	1.98 ± 1.78 ^a	2.70 ± 2.55 ^a	1.03 ± 0.92 ^a
Marca B	3.00 ± 3.12 ^a	2.60 ± 3.25 ^a	1.67 ± 1.58 ^a	1.95 ± 3.04 ^a
Marca C	5.45 ± 2.19 ^a	5.63 ± 2.51 ^a	6.20 ± 2.28 ^a	5.37 ± 3.01 ^a
	DULCE			
Marca A	2.27 ± 1.21 ^a	1.00 ± 0.65 ^a	0.95 ± 0.92 ^a	1.63 ± 0.91 ^a
Marca B	0.77 ± 0.55 ^a	1.20 ± 0.57 ^a	1.67 ± 0.45 ^a	1.73 ± 1.16 ^a
Marca C	6.50 ± 2.55 ^a	4.85 ± 1.37 ^a	5.23 ± 1.20 ^a	4.57 ± 2.21 ^a
	ÁCIDO			
Marca A	0.40 ± 0.36 ^a	0.38 ± 0.29 ^a	0.40 ± 0.00 ^a	0.43 ± 0.12 ^a
Marca B	0.40 ± 0.27 ^a	0.35 ± 0.21 ^a	0.77 ± 0.45 ^a	0.60 ± 0.80 ^a
Marca C	0.95 ± 1.20 ^a	0.53 ± 0.37 ^a	0.40 ± 0.20 ^a	0.47 ± 0.29 ^a
	SALADO			
Marca A	1.40 ± 1.61 ^a	1.68 ± 1.77 ^a	0.95 ± 0.92 ^a	1.57 ± 1.10 ^a
Marca B	1.80 ± 1.51 ^a	2.60 ± 0.14 ^a	1.63 ± 1.16 ^a	1.08 ± 1.01 ^a
Marca C	0.65 ± 9.78 ^a	0.65 ± 0.40 ^a	1.15 ± 0.93 ^a	0.87 ± 0.80 ^a
	UMAMI			
Marca A	0.27 ± 0.23 ^a	0.28 ± 0.17 ^a	0.40 ± 0.14 ^a	0.30 ± 0.27 ^a
Marca B	0.27 ± 0.25 ^a	0.40 ± 0.28 ^a	0.60 ± 0.10 ^a	0.40 ± 0.29 ^a
Marca C	0.95 ± 1.20 ^a	0.38 ± 0.26 ^a	0.38 ± 0.29 ^a	0.53 ± 0.12 ^a

Tabla 9.

Cambio de intensidad de atributos sensoriales de los panes a temperatura 50°C

TEMPERATURA 50 °C				
Tiempo	2	6	10	15
	COLOR MIGA			
Marca A	6.27 ± 4.85 ^a	4.85 ± 4.74 ^a	6.00 ± 3.61 ^a	5.90 ± 3.61 ^a
Marca B	1.67 ± 1.85 ^a	2.60 ± 1.20 ^a	2.10 ± 1.80 ^a	2.45 ± 1.48 ^a
Marca C	4.17 ± 3.80 ^a	5.90 ± 3.18 ^a	2.60 ± 0.52 ^a	2.07 ± 0.47 ^a
	INTENSIDAD DE COLOR DE MIGA			
Marca A	0.93 ± 0.32 ^a	1.90 ± 0.71 ^a	1.07 ± 1.12 ^a	1.17 ± 1.12 ^a
Marca B	5.70 ± 1.02 ^a	6.93 ± 1.94 ^a	6.59 ± 9.53 ^a	4.90 ± 1.13 ^a
Marca C	1.37 ± 1.36 ^a	2.83 ± 0.50 ^a	3.87 ± 0.90 ^a	3.87 ± 0.90 ^a
	AROMA ALCOHOL / TOSTADO*			
Marca A	0.87 ± 0.83 ^a	2.05 ± 0.21 ^a	2.63 ± 2.27 ^a	0.53 ± 2.27 ^a
Marca B*	2.97 ± 3.52 ^a	2.70 ± 0.92 ^a	5.70 ± 1.14 ^a	3.70 ± 0.71 ^a
Marca C*	1.90 ± 2.09 ^a	2.27 ± 1.68 ^a	2.23 ± 1.62 ^a	1.57 ± 0.51 ^a
	AROMA LECHE/CEREAL*			
Marca A	3.25 ± 1.63 ^a	3.55 ± 0.07 ^a	3.37 ± 2.91 ^a	1.43 ± 1.35 ^a
Marca B*	3.80 ± 3.76 ^a	2.20 ± 1.35 ^a	5.40 ± 1.39 ^a	4.45 ± 0.21 ^a
Marca C*	2.17 ± 1.04 ^a	2.93 ± 0.67 ^a	2.40 ± 2.33 ^a	2.63 ± 1.55 ^a
	AROMA FERMENTADO			

Marca A	1.27 ± 1.68 ^a	2.60 ± 1.70 ^a	2.77 ± 2.46 ^a	1.40 ± 1.42 ^a
Marca B	2.33 ± 2.57 ^a	2.57 ± 1.30 ^a	3.97 ± 3.29 ^a	3.85 ± 0.92 ^a
Marca C	1.17 ± 1.51 ^a	1.50 ± 1.91 ^a	1.77 ± 2.38 ^a	1.73 ± 2.31 ^a
AROMA TRIGO				
Marca A	0.93 ± 0.51 ^a	2.30 ± 1.84 ^a	1.73 ± 1.97 ^a	1.83 ± 1.97 ^a
Marca B	3.37 ± 2.07 ^a	3.30 ± 0.79 ^a	5.07 ± 2.66 ^a	3.85 ± 1.20 ^a
Marca C	2.30 ± 0.96 ^a	1.63 ± 1.72 ^a	1.87 ± 2.38 ^a	1.50 ± 1.31 ^a
DUREZA				
Marca A	4.97 ± 2.50 ^a	1.10 ± 0.42 ^{ab}	0.80 ± 0.89 ^b	0.50 ± 0.78 ^b
Marca B	7.07 ± 0.32 ^a	2.47 ± 0.61 ^b	1.10 ± 1.04 ^b	0.75 ± 0.92 ^b
Marca C	7.73 ± 0.31 ^a	4.48 ± 0.77 ^b	1.60 ± 1.13 ^c	1.40 ± 1.02 ^c
FIRMEZA				
Marca A	6.33 ± 1.80 ^a	2.40 ± 1.27 ^b	1.07 ± 1.00 ^b	0.60 ± 0.70 ^b
Marca B	6.17 ± 0.70 ^a	2.57 ± 0.60 ^b	1.40 ± 0.95 ^b	1.15 ± 0.35 ^b
Marca C	6.90 ± 1.22 ^a	5.53 ± 1.02 ^{ab}	4.27 ± 1.50 ^{ab}	2.37 ± 1.50 ^b
RESISTENCIA				
Marca A	6.33 ± 3.31 ^a	0.95 ± 0.35 ^{ab}	1.40 ± 0.95 ^{ab}	0.17 ± 0.80 ^b
Marca B	6.50 ± 3.61 ^a	2.40 ± 0.62 ^a	1.60 ± 1.13 ^a	0.75 ± 0.64 ^a
Marca C	2.47 ± 1.29 ^b	3.53 ± 0.60 ^{ab}	4.90 ± 0.17 ^a	2.23 ± 0.21 ^b
HUMEDAD				
Marca A	7.17 ± 0.25 ^a	1.85 ± 0.21 ^b	1.40 ± 1.18 ^b	0.60 ± 0.56 ^b
Marca B	7.67 ± 0.85 ^a	2.07 ± 0.60 ^b	1.30 ± 0.89 ^b	0.35 ± 0.21 ^b
Marca C	7.83 ± 1.85 ^a	5.03 ± 0.71 ^{ab}	3.50 ± 0.61 ^b	3.10 ± 0.61 ^b
ELASTICIDAD				
Marca A	4.60 ± 3.80 ^a	6.20 ± 0.00 ^a	4.90 ± 2.31 ^a	9.70 ± 2.31 ^a
Marca B	2.43 ± 0.90 ^a	5.57 ± 1.41 ^a	4.50 ± 4.01 ^a	7.70 ± 2.12 ^a
Marca C	5.23 ± 4.39 ^a	6.17 ± 2.01 ^a	7.60 ± 2.33 ^a	6.00 ± 2.33 ^a
FLEXIBILIDAD				
Marca A	6.30 ± 1.56 ^a	1.20 ± 0.71 ^b	1.07 ± 0.51 ^b	1.27 ± 0.51 ^b
Marca B	6.87 ± 2.15 ^a	1.27 ± 0.64 ^b	1.20 ± 0.82 ^b	0.95 ± 0.21 ^b
Marca C	4.73 ± 3.97 ^a	5.70 ± 2.41 ^a	6.37 ± 0.49 ^a	2.97 ± 0.49 ^a
RIGIDEZ				
Marca A	4.20 ± 3.82 ^a	4.95 ± 4.17 ^a	4.93 ± 4.05 ^a	5.73 ± 4.05 ^a
Marca B	4.10 ± 4.78 ^a	7.70 ± 1.51 ^a	8.33 ± 1.14 ^a	8.20 ± 1.41 ^a
Marca C	3.50 ± 3.95 ^a	5.73 ± 2.05 ^a	8.77 ± 0.73 ^a	7.57 ± 0.74 ^a
HUMEDAD				
Marca A	6.53 ± 1.36 ^a	1.95 ± 0.64 ^b	0.80 ± 0.89 ^b	0.47 ± 0.40 ^b
Marca B	5.27 ± 3.25 ^a	1.77 ± 0.72 ^a	1.57 ± 0.76 ^a	0.75 ± 0.50 ^a
Marca C	5.97 ± 2.54 ^a	5.20 ± 1.28 ^a	4.60 ± 1.28 ^a	3.63 ± 1.46 ^a
ADHESIVIDAD				
Marca A	3.83 ± 3.48 ^a	2.55 ± 2.62 ^a	0.67 ± 0.42 ^a	0.43 ± 0.31 ^a
Marca B	1.93 ± 1.45 ^a	3.57 ± 3.06 ^a	2.83 ± 3.63 ^a	0.50 ± 0.14 ^a
Marca C	5.47 ± 3.14 ^a	4.07 ± 1.10 ^a	6.60 ± 3.68 ^a	7.13 ± 3.16 ^a
DULCE				
Marca A	4.20 ± 3.85 ^a	0.80 ± 0.85 ^a	0.80 ± 0.79 ^a	0.83 ± 0.87 ^a
Marca B	1.10 ± 1.05 ^a	1.27 ± 0.61 ^a	1.23 ± 0.06 ^a	1.25 ± 0.21 ^a
Marca C	5.60 ± 4.11 ^a	3.20 ± 2.86 ^a	6.10 ± 1.15 ^a	5.30 ± 1.15 ^a
ÁCIDO				
Marca A	0.20 ± 0.00 ^a	0.25 ± 0.07 ^a	0.53 ± 0.40 ^a	0.30 ± 0.30 ^a
Marca B	0.73 ± 0.85 ^a	0.60 ± 0.79 ^a	0.90 ± 0.76 ^a	0.80 ± 0.71 ^a
Marca C	0.30 ± 0.27 ^a	0.30 ± 0.27 ^a	0.57 ± 0.40 ^a	0.57 ± 0.40 ^a
SALADO				
Marca A	0.60 ± 0.53 ^a	0.80 ± 0.99 ^a	1.97 ± 1.54 ^a	1.43 ± 1.25 ^a
Marca B	0.37 ± 0.21 ^a	2.83 ± 0.76 ^a	2.60 ± 2.16 ^a	2.20 ± 0.14 ^a
Marca C	0.40 ± 0.30 ^a	0.30 ± 0.20 ^a	0.97 ± 0.57 ^a	1.17 ± 0.57 ^a

	UMAMI			
Marca A	0.63 ± 0.85^a	0.25 ± 0.07^a	0.50 ± 0.20^a	0.13 ± 0.15^a
Marca B	0.63 ± 0.32^a	0.70 ± 0.79^a	0.67 ± 0.29^a	0.40 ± 0.28^a
Marca C	0.37 ± 0.32^a	0.43 ± 0.40^a	0.70 ± 0.27^a	0.60 ± 0.27^a

Respecto a los atributos relacionados al color de la miga, aroma y sabor, no se presentaron cambios significativos en los días de almacenamiento, pero sí aquellos tributos relacionados a la textura del pan. Estos valores fueron decisivos para determinar los puntos críticos de los atributos que permitirán definir la vida útil del pan.

En el caso del pan de la marca C, presentó diferencias significativas en pocos atributos como dureza y firmeza cuando fue expuesto a una temperatura de 50°C mientras que al ser almacenadas en temperaturas menores no hubo diferencias significativas; esto, puede deberse a que en su composición se encuentran semillas, glucósidos de estevia que no están presentes en las otras marcas de pan. Un estudio realizado por Esaulko et al. (2019), demostró que la vida útil del pan con la adición de estevia aumentó a 5-7 días. El pan con el uso de extracto acuoso de estevia correspondiente con la norma, tiene una gran estabilidad de volumen y forma, miga elástica bien cocida, sabor y aroma dulzones.

Asimismo, el uso de ingredientes como las semillas de chía, que no contienen almidón, y las harinas de quinua y amaranto, cuyo almidón es resistente, retrasa el envejecimiento del pan con un bajo porcentaje de sinéresis, lo que favorece su uso en productos panificados (Miranda-Ramos & Haros, 2023).

3.4. Aceptabilidad de los consumidores a diferentes temperaturas de almacenamiento

En la Tabla 10 se presenta la cantidad de días de vida útil respecto al porcentaje de rechazo por parte de los consumidores del 1 al 99%. Es decir, en el caso del pan Marca A a una temperatura ambiente, será rechazado a los 10 días por el 99% de los consumidores; al incrementar las temperaturas a 30, 40 y 50 °C el pan Marca A será rechazado a los 8, 6 y 5 días respectivamente. Para el pan Marca B a una temperatura ambiente, será rechazado a los 15 días por el 99% de los consumidores mientras que al estar almacenado a las temperaturas 30 y 40 °C será rechazado a los 9 días y a 50°C a los 6 días.

Para el pan Marca C al ser almacenado a temperatura ambiente y 30°C será rechazado a los 40 días por el 99% de consumidores, a 40 y 50°C será rechazado a los 32 y 16 días respectivamente.

Tabla 10.

Resumen Weibull mediante la aceptabilidad de consumidores

Percentil		1%	5%	10%	1er Quarti 1 25%	Median 50%	3er Quarti 1 75%	90%	95%	99%
Ambiente	Marca A	0.967	1.822	2.410	3.560	5.010	6.559	7.989	8.849	10.459
	Marca B	0.513	1.274	1.905	3.336	5.450	8.024	10.651	12.335	15.681
	Marca C	0.089	0.454	0.933	2.549	6.141	12.281	20.399	26.539	40.797
30°C	Marca A	0.798	1.497	1.976	2.912	4.088	5.343	6.498	7.193	8.492
	Marca B	0.631	1.312	1.812	2.844	4.220	5.759	7.232	8.138	9.870
	Marca C	0.089	0.454	0.933	2.549	6.141	12.281	20.399	26.539	40.797
40°C	Marca A	0.550	1.040	1.378	2.040	2.876	3.771	4.598	5.096	6.028
	Marca B	0.904	1.700	2.246	3.314	4.658	6.093	7.415	8.211	9.698
	Marca C	2.115	4.371	6.022	9.420	13.935	18.975	23.785	26.742	32.387
50°C	Marca A	0.914	1.444	1.767	2.343	2.999	3.643	4.201	4.523	5.103
	Marca B	1.050	1.692	2.089	2.803	3.626	4.442	5.153	5.566	6.312
	Marca C	2.337	3.959	4.998	6.916	9.192	11.503	13.554	14.759	16.961

De los resultados, se observó ²¹ que a medida que la temperatura de almacenamiento aumenta, la aceptabilidad y por ende, la vida en anaquel (días), irán disminuyendo para cada marca de pan. Esto ha sido expuesto por diversos autores (Castro-Muñoz et al., 2022; Parente & Ricciardi, 2025), que la aceptabilidad esta relacionada a la frescura de los panes. Por otro lado, el pan Marca C tiene mayor tiempo de durabilidad respecto a los demás, siendo el pan Marca A el de menor tiempo en que se le considere aceptable. Esta diferencia puede deberse a la composición de los ingredientes de los panes en estudio.

3.5. Determinación de valor crítico

Se seleccionaron los atributos sensoriales que presentaron cambios significativos en el tiempo de almacenamiento según los jueces entrenados, así como los componentes químicos y aceptabilidad por consumidores de cada marca de pan molde. La Tabla 11 resume los atributos seleccionados y la ecuación de regresión lineal que permite definir el valor crítico de tal atributo.

Tabla 11.

Coefficientes de cinética de reacción para el pan Marca A

Atributo	Pan	Ecuación	Valor Crítico	R ²
%Humedad	Marca A	$y = 6.3084x - 147.51$	33.69	0.99
	Marca B	$y = 3.5401x - 42.322$	32.15	0.94
	Marca C	$y = 1.6296x - 45.564$	27.27	0.99
Dureza	Marca A	$y = 7.1127x + 43.214$	3.06	0.94
	Marca B	$y = 6.1296x + 48.282$	2.73	0.98
	Marca C	$y = 2.3061x + 86.676$	1.44	1.00
Firmeza	Marca A	$y = 6.3951x + 41.454$	3.68	0.97
	Marca B	$y = 4.4896x + 62.18$	0.64	0.99
	Marca C	$y = 2.1513x + 84.575$	2.52	0.98
Humedad al tacto	Marca A	$y = 8.4588x + 21.689$	5.12	0.97
	Marca B	$y = 4.9723x + 58.057$	1.40	0.99
	Marca C	$y = 3.2258x + 75.718$	4.43	0.96
Humedad en la boca	Marca A	$y = 8.8765x + 23.08$	4.72	0.99
	Marca B	$y = 5.3526x + 56.82$	1.53	0.94
	Marca C	$y = 2.6358x + 80.337$	3.67	1.00

Todas las ecuaciones demostraron muy buen ajuste a los datos ($R^2 \geq 0.94$) en todos los casos, lo que respalda la confiabilidad de las ecuaciones. La Marca A tiende a presentar los valores críticos más altos en casi todos los atributos, lo que podría asociarse con un pan más blando, húmedo y de textura menos resistente. Las Marca B y Marca C, en contraste, suele tener valores críticos más bajos, lo cual sugiere mayor resistencia a los cambios en las propiedades sensoriales o físicas evaluadas; ya que, mantiene la aceptación del consumidor por más bajo que sea el nivel del atributo.

3.6. Determinación de vida útil mediante cinética de reacción con Arrhenius

En el modelo de Arrhenius (ecuación 3) se aplicó las constantes de velocidad de reacción k obtenidas de las pendientes de las regresiones lineales realizadas para cada temperatura de estudio como se detalla en la Tabla 14 así como el orden de reacción. De la regresión lineal de las constantes k de las tres temperaturas se calculó la energía de activación E_a y el k_0 que permiten determinar la constante k para una temperatura específica (en este caso 22 °C). Para calcular el tiempo de vida útil con el modelo de Arrhenius, se consideró el valor crítico obtenido de las ecuaciones de regresión lineal en la Tabla 11. Las Tablas 12 al 14 resumen el valor de las constantes de cinética, así como los días de vida útil dependientes de cada atributo.

Tabla 12.

Coefficientes de cinética de reacción para el pan Marca A

Orden	Atributo	Ea	k (T)	Punto crítico	Días de Vida Útil
FISICOQUÍMICO					
1	% Humedad	40.281	0.007	33.69	20.47
SENSORIAL					
1	Dureza	32.377	0.058	3.06	16.59
1	Firmeza	33.568	0.051	3.68	17.26
1	Humedad al tacto	41.493	0.040	5.12	14.23
1	Humedad en la boca	45.059	0.039	4.72	14.56
0	Aceptabilidad	41.055	1.504	65.0	21.06
Vida útil calculada					14 días

Los panes Marca A y B presentaron una cinética de primer orden para todos los atributos estudiados exceptuando el porcentaje de aceptabilidad con una cinética de orden cero. Es decir, el coeficiente de determinación (R^2) más alto en aquellos atributos se observó en el caso del orden de reacción uno y cero respectivamente.

¹⁵ En el caso del pan marca A, se determinó que el atributo con mayor propensión a deterioro es la humedad al tacto y en la boca seguido por la dureza y firmeza, y para el pan marca B la dureza seguido por la humedad en la boca y firmeza, es decir los atributos sensoriales a la textura. Miranda-Ramos y Haros (2023) resaltan la firmeza y aceptabilidad como un factor crítico en productos de panificación por su fuerte correlación ² con la percepción de los consumidores sobre la frescura del pan. Castro-Muñoz et al. (2022) también determinaron que la aceptabilidad general del pan almacenado en condiciones ambientales fue menor debido al aumento de la dureza del pan. El tiempo de vida útil determinado para la marca A y B fue de 14 y 20 días respectivamente, menor tiempo que el pan marca C.

Tabla 12.

Coefficientes de cinética de reacción para el pan Marca B

Orden	Atributo	Ea	k	Punto crítico	Días de Vida Útil
FISICOQUÍMICO					
1	% Humedad	40.281	0.007	32.15	36.44
SENSORIAL					
1	Dureza	30.762	0.054	2.73	20.49
1	Firmeza	25.220	0.051	0.64	49.81
1	Humedad al tacto	49.714	0.033	1.40	52.79
1	Humedad en la boca	29.286	0.057	1.53	29.12
0	% Aceptabilidad	42.954	0.777	65.0	40.74
Vida útil calculada					20 días

El pan de marca C presentó el coeficiente de determinación (R^2) más alto en firmeza y aceptabilidad con un orden cero mientras que el resto de atributos se consideró de primer orden. La humedad en la boca fue el atributo que presentó un deterioro más rápido, mientras que la aceptabilidad fue la de mayor estabilidad en el tiempo, con un tiempo de vida útil de 46 días, superior a los panes marca A y B.

Tabla 13.

Coeficientes de cinética de reación para el pan Marca C

Orden	Atributo	Ea	k	Punto crítico	Días de Vida Útil
FISICOQUÍMICO					
1	% Humedad	63.198	0.003	27.27	115.10
SENSORIAL					
1	Dureza	43.717	0.023	1.44	68.60
0	Firmeza	36.887	0.060	2.52	73.00
1	Humedad al tacto	39.534	0.016	4.43	35.50
1	Humedad en la boca	14.926	0.021	3.67	32.80
0	% Aceptabilidad	724.238	7.93×10^{-11}	90.0	1260.9×10^8
Vida útil calculada					32 días

Esta diferencia puede deberse a la composición de los ingredientes en este pan como son los cereales: chía, avena, ajonjolí y semillas de girasol; así como, los glicósidos de esteviol de estevia como edulcorante. Puesto que, Esaulko et al. (2019) determinaron que la vida útil del pan con la adición de estevia aumentó a 5 - 7 días. El pan con el uso de extracto acuoso de estevia según norma, tiene una gran estabilidad de volumen y forma, miga elástica bien cocida, sabor y aroma dulzones. Respecto a la aceptabilidad por consumidores, estos cambios podrían no ser percibidos por los consumidores, posiblemente debido a la alta proporción de fibra en la formulación multisevilla, que evita el exceso de deshidratación durante el almacenamiento.

3.7. Determinación de vida útil mediante el factor Q10

Se determinó la vida útil de los panes teniendo en cuenta el cambio de % humedad, dureza, firmeza, humedad al tacto, humedad en la boca y % aceptabilidad en condiciones aceleradas. La Tabla 14 presenta el cálculo realizado con las ecuaciones 1 y 3.

Tabla 14.
Constantes de cinética de reacción y vida útil para cada temperatura y atributo analizado en panes

ATRIBUTO	PAN	T °C	Ao	Ac	k (Tc)	Vida Útil	Factor Q10	Q10		Arrhenius	
								K (22°)	Vida Útil	K (22°)	Vida Útil
%Humedad	Marca A	30	39,00	33,69	0,011	13,34	1,697	0,007	20,37	0,007	20,47
		40			0,019	7,86					
	Marca B	30	40,20	32,15	0,010	22,91	1,540	0,007	32,37	0,007	36,44
		40			0,015	14,88					
	Marca C	30	36,51	27,27	0,005	56,53	2,029	0,003	99,57	0,003	115,10
		40			0,010	27,87					
Dureza	Marca A	30	7,97	3,06	0,085	11,29	1,349	0,067	14,35	0,058	16,59
		40			0,114	8,37					
	Marca B	30	8,27	2,73	0,081	13,65	1,174	0,071	15,52	0,054	20,49
		40			0,095	11,63					
	Marca C	30	6,90	1,44	0,174	6,38	1,075	0,040	135,25	0,023	49,30
		40			0,043	127,64					

Firmeza	Marca A	30	8.87	3.68	0.081	10.82	1.109	0.075	11.75	0.051	17.26
		40			0.090	9.76	2.072				
		50			0.187	4.71					
	Marca B	30	8.00	0.64	0.074	34.21	1.000	0.074	34.21	0.051	49.81
		40			0.074	34.21	1.000				
		50			0.138	18.28	1.871				
	Marca C	30	6.90	2.52	0.124	35.31	0.581	0.192	22.86	0.060	73.00
		40			0.072	60.80	4.358				
		50			0.314	13.95					
Humedad al tacto	Marca A	30	9.00	5.12	0.066	8.54	1.391	0.051	11.12	0.040	14.23
		40			0.092	6.14	2.002				
		50			0.184	3.07					
	Marca B	30	8.03	1.40	0.063	27.91	1.373	0.049	35.98	0.030	52.79
		40			0.086	20.32	2.488				
		50			0.214	8.17					
	Marca C	30	7.70	4.43	0.026	21.31	1.274	0.021	25.86	0.016	35.50
		40			0.033	16.74	2.087				
		50			0.069	8.02					
Humedad en la boca	Marca A	30	8.30	4.72	0.067	8.38	1.651	0.045	12.51	0.039	14.56
		40			0.111	5.07	1.842				
		50			0.205	2.76					
	Marca B	30	8.07	1.53	0.075	22.13	1.643	0.051	32.92	0.057	29.12
		40			0.123	13.47	1.247				
		50			0.154	10.80					
	Marca C	30	7.37	3.67	0.024	28.52	1.292	0.020	35.00	0.021	32.80
		40			0.032	22.08	1.116				
		50			0.035	19.79					
%Aceptabilidad	Marca A	30	96.67	65.00	2.316	13.67	1.736	1.490	21.25	1.504	21.06
		40			4.020	7.88	1.580				
		50			6.350	4.99					
	Marca B	30	96.67	65.00	1.334	23.74	1.358	1.044	30.33	0.777	40.74
		40			1.812	17.47					
		50			3.854	8.22	2.127				

El valor de la constante k aumenta ⁴⁴ a medida que la temperatura de almacenamiento es mayor mientras que los días de vida útil disminuyen. A partir de ello, se determina la relación / equivalencia ⁴¹ de los días de vida útil almacenados a diferentes temperaturas.

En el caso del pan marca A, la humedad en la boca fue el atributo crítico; y se obtuvo una vida útil de 8, 5 y 2 días para las temperaturas 30, 40 y 50 °C respectivamente. De igual forma en el caso del pan marca B, la dureza fue el atributo crítico y se obtuvo 13, 11 y 6 días para las temperaturas 30, 40 y 50 °C respectivamente. Para el pan marca C, la vida útil respecto a la humedad al tacto fue de 21, 16 y 8 días para las temperaturas 30, 40 y 50 °C respectivamente. Estos resultados, resaltan las diferencias significativas entre los panes de estudio; ya que, no ¹ se evidencian semejanzas en el tiempo de vida útil (Suca-Apaza et al., 2022).

Con la constante k de cada temperatura se obtuvo el factor Q10 según la ecuación 4. ³⁴ Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 15, ¹³ los que indican la cantidad de veces que la velocidad de la reacción de deterioro se acelera por cada 10 °C de aumento en la temperatura o viceversa (García et al., 2012).

Los investigadores han determinado que el modelo es útil para describir la velocidad de una reacción, incluso a altas temperaturas. ⁵ Si se conoce el factor de aceleración de la temperatura, se puede extrapolar a temperaturas más bajas para prever la velocidad de la reacción (Paternina-Sierra et al., 2018).

3.8. Validación del modelo en tiempo acelerado vs tiempo real

¹⁵ Se determinó la vida útil de los panes teniendo en cuenta el cambio de % humedad, dureza, firmeza, humedad al tacto, humedad en la boca y % aceptabilidad mediante el ² modelo de Arrhenius y el factor Q10 y se comparó con los valores obtenidos en el análisis de vida útil a tiempo real mediante el RMSE (< 5 días) y un % error relativo (< 15%) para una temperatura de almacenamiento de 22°C.

Tabla 15.

Comparación de vida útil acelerado (Arrhenius y Q10) y ambiente para la Marca A

Atributo	Valor	Tiempo real	Arrhenius	Q10
Dureza	7.97	0.00	0.00	0.0
	6.10	6.00	4.60	4.0
	4.35	11.00	10.43	9.0
	1.55	23.00	28.23	24.4
	1.00	30.00	35.78	31.0
		RMSE (días)	3.55	1.48
		%Error relativo	11.8 %	4.9 %
Firmeza	8.87	0.00	0.00	0.00
	5.97	6.00	7.77	5.28
	5.43	11.00	9.62	6.54
	3.10	23.00	20.61	XS14.01
	1.85	30.00	30.73	20.90
		RMSE (días)	1.50	6.07
		%Error relativo	5.0%	20.2%
Humedad al tacto	9.00	0.00	0.00	0.00
	6.63	6.00	7.64	5.99
	4.80	11.00	15.72	12.33
	3.45	23.00	23.97	18.80
	2.77	30.00	29.49	23.13
		RMSE (días)	2.29	3.65
		%Error relativo	7.6%	12.2%
Humedad en la boca	8.30	0.00	0.00	0.00
	4.20	6.00	17.47	15.14
	2.75	11.00	28.32	24.55
	1.73	23.00	40.16	34.81
	1.60	30.00	42.21	36.58
		RMSE (días)	13.23	9.48
		%Error relativo	44.1%	31.6%
% Humedad	38.995	0.00	0.00	0.00
	37.240	6.00	6.45	6.41
	35.075	11.00	14.83	14.76
	32.165	23.00	26.95	26.82
	31.390	30.00	30.37	30.22
		RMSE (días)	2.48	2.41
		%Error relativo	8.3%	8.0%

El modelo Q10 predice con más precisión la evolución de la dureza y el % humedad en el tiempo para todas las marcas de pan (< 10%). Mientras que mediante el modelo de la

ecuación de Arrhenius, el tiempo fue más parecido ($< 10\%$) en los atributos de Firmeza y Humedad al Tacto en la Marca A y B y sólo en la Marca B y C, la Humedad en la boca.

Tabla 16.

Comparación de vida útil acelerado (Arrhenius y Q10) y ambiente para la Marca B

Atributo	Valor	Tiempo real	Arrhenius	Q10
Dureza	8.27	0.00	0.00	0.00
	6.33	6.00	4.94	3.75
	5.13	11.00	8.84	6.72
	1.22	30.00	35.36	26.89
		RMSE (días)	2.94	2.87
		%Error relativo	9.8%	9.6%
Firmeza	8.00	0.00	0.00	0.00
	6.37	6.00	4.48	3.09
	5.40	11.00	7.71	5.31
	2.15	23.00	25.76	17.76
	1.52	30.00	32.50	22.40
		RMSE (días)	2.33	5.02
		%Error relativo	7.8%	16.7%
Humedad al tacto	8.03	0.00	0.00	0.00
	5.67	11.00	10.57	7.12
	3.67	23.00	23.76	16.00
	2.40	30.00	36.61	24.65
		RMSE (días)	3.33	4.81
		%Error relativo	11.1%	16.0%
Humedad en la boca	8.07	0.00	0.00	0.00
	4.73	11.00	9.35	10.46
	2.00	23.00	24.47	27.35
	1.35	30.00	31.36	35.05
		RMSE (días)	1.30	3.34
		%Error relativo	4.3%	11.1%
% Humedad	40.195	0.00	0.00	0.00
	38.065	6.00	7.78	7.89
	36.395	11.00	14.19	14.39
	34.315	23.00	22.59	22.92
	33.445	30.00	26.26	26.64
		RMSE (días)	2.34	2.30
		%Error relativo	7.8%	7.7%

El modelo de Arrhenius tiene mejor desempeño general para atributos más relacionados con propiedades físicas internas (como Firmeza). El modelo Q10 parece ajustarse mejor

a respuestas sensoriales externas o más volátiles, como la humedad en boca o dureza superficial. Para decisiones de predicción o modelado, sería recomendable usar el modelo con menor RMSE y % Error relativo para cada atributo individual.

Tabla 17.

Comparación de vida útil acelerado (Arrhenius y Q10) y ambiente para la Marca C

Atributo	Valor	Tiempo real	Arrhenius	Q10
Humedad en la boca	7.95	0.00	0.00	0.00
	6.85	6.00	7.09	7.45
	5.50	11.00	17.54	18.42
	4.87	23.00	23.37	24.53
	4.40	30.00	28.17	29.58
		RMSE (días)	3.08	3.46
		%Error relativo	10.3%	11.5%
%Humedad	36.51	0.00	0.00	0.00
	35.79	6.00	7.84	6.80
	35.54	11.00	10.60	9.19
	34.55	23.00	21.67	18.78
	33.28	30.00	36.47	31.61
		RMSE (días)	3.07	2.20
		%Error relativo	10.2%	7.3%

Con el RMSE se valida que el uso de pruebas acelerados y tiempo real son similares al obtener errores estimados menores a 5 días.

4. Conclusión

La vida útil de los panes en estudio fue determinada mediante la caracterización química y sensorial con consumidores y jueces entrenados. El tiempo de vida útil para el pan almacenado a temperatura ambiente (~22°C) de la Marca A fue de 18 días, el pan Marca B, 27 días y el pan Marca C, 39 días en tiempo real; mientras que el tiempo calculado con parámetros obtenidos en las condiciones aceleradas fue de 17, 29 y 32 respectivamente debido a la diferente composición de ingredientes de cada marca de pan. En este sentido, un estudio de vida útil acelerada y en tiempo real, puede considerarse una herramienta eficaz al momento de analizar y estudiar las características para la aceptabilidad del pan de molde a lo largo de su vida útil.

5. Referencias bibliográficas

- AOAC. (2016). *Association of Official Analytical Chemistry* (20th ed.).
- Aung, M. M., & Chang, Y. S. (2014). Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control*, 40, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.016>
- Belz, M. C. E., Axel, C., Arendt, E. K., Lynch, K. M., Brosnan, B., Sheehan, E. M., Coffey, A., & Zannini, E. (2019). Improvement of taste and shelf life of yeasted low-salt bread containing functional sourdoughs using *Lactobacillus amylovorus* DSM 19280 and *Weissella cibaria* MG1. *International Journal of Food Microbiology*, 302, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.015>
- Best, R. L., & Appleton, K. M. (2013). The Consumption of Protein-Rich Foods in Older Adults: An Exploratory Focus Group Study. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 45(6), 751–755. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2013.03.008>
- Bhise, S., & Kaur, A. (2014). Baking quality, sensory properties and shelf life of bread with polyols. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2054–2061. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1256-3>
- Bianchi, A., Venturi, F., Palermo, C., Taglieri, I., Angelini, L. G., Tavarini, S., & Sanmartin, C. (2024). Primary and secondary shelf-life of bread as a function of formulation and MAP conditions: Focus on physical-chemical and sensory markers. *Food Packaging and Shelf Life*, 41, 101241. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101241>
- Bustamante, B. (2022). Aplicación de dos metodologías (de punto de corte y de riesgos acumulados de Weibull) para la determinación de la vida útil del pan de molde blanco. *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, 2(2), 25–38. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20222.826>
- Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., Hernández-Torres, C. E., Gontarek-Castro, E., & Ahmad, M. Z. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, 130991. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130991>
- Ding, S., Peng, B., Li, Y., & Yang, J. (2019). Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol. *Food Chemistry*, 283, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.045>
- Esaulko, N. A., Romanenko, E. S., Selivanova, M. V., Mironova, E. A., Aisanov, T. S.,

- Miltusov, V. E., & German, M. S. (2019). Quality improvement and shelf life extension of functional bakery products with the use of stevia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315(2), 022019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022019>
- Galić, K., Gabrić, D., & Ćurić, D. (2019). Packaging and the Shelf Life of Bread. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22655-3>
- García Baldizón, C., & Molina Córdoba, M. E. (2011). ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UNA MAYONESA MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS. *Revista Ingeniería*, 18(1–2). <https://doi.org/10.15517/ring.v18i1-2.653>
- García Baldizón, C., Molina Córdoba, M. E., & Chacón Valle, G. (2012). EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE UNA PASTA DE TOMATE MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS POR TEMPERATURA. *Revista Ingeniería*, 21(2). <https://doi.org/10.15517/ring.v21i2.2683>
- Gerón, A. (2019). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems* (R. Roumeliotis & N. Tache (eds.); Second Edi). O'Reilly Media, Inc. http://14.139.161.31/OddSem-0822-1122/Hands-On_Machine_Learning_with_Scikit-Learn-Keras-and-TensorFlow-2nd-Edition-Aurelien-Geron.pdf
- Hough, G., Langohr, K., Gomez, G., & Curia, A. (2003). Survival Analysis Applied to Sensory Shelf Life of Foods. *Journal of Food Science*, 68(1), 359–362. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14165.x>
- INACAL. (2021). *NTP 206.004:2021. PANADERÍA, PASTELERÍA Y GALLETERÍA. Pan de molde. Requisitos. 2ª Edición*. <https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Lafuente, C., Nazareth, T. de M., Dopazo, V., Meca, G., & Luz, C. (2024). Enhancing bread quality and extending shelf life using dried sourdough. *LWT*, 203, 116379. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116379>
- Lesaffre, US. Wheat Associates, & Chung, R. (2017). *Pan de Molde. Palabra a palabra. Un glosario de términos sensoriales para describir el pan de molde*. (pp. 14–34). LESAFFRE IBÉRICA, S.A. <https://whitepapers-lesaffre.com/wp-content/uploads/2019/04/Pan-de-Molde-ES.pdf>
- Liu, C., Liu, L., Li, L., Hao, C., Zheng, X., Bian, K., Zhang, J., & Wang, X. (2015). Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 310–318.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.030>

- Marinopoulou, A., Papadakis, D., Petridis, D., & Papageorgiou, M. (2020). Monitoring Staling of Packaged Sliced Pan Breads: Physicochemical Properties, Sensory Evaluation, and Consumer Preference. *Journal of Culinary Science & Technology*, 18(5), 396–412. <https://doi.org/10.1080/15428052.2019.1640158>
- Miranda-Ramos, K. C., & Haros, C. M. (2023). Influence of pre-baking and frozen storage on the technological and nutritional quality of a multi-seed bread. *LWT*, 187, 115340. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115340>
- Monteau, J.-Y., Purlis, E., Besbes, E., Jury, V., & Le-Bail, A. (2017). Water transfer in bread during staling: Physical phenomena and modelling. *Journal of Food Engineering*, 211, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.016>
- Nicoli, M. C. (Ed.). (2012). *Shelf Life Assessment of Food*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11871>
- Nouri, M., Nasehi, B., Abdanan Mehdizadeh, S., & Goudarzi, M. (2017). A novel application of vibration technique for non-destructive evaluation of bread staling. *Journal of Food Engineering*, 197, 44–47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.003>
- Ocheme, B., & Chukwuma, C. (2014). *Prediction of Shelf Life of Dakuwa (Nigerian cereal/groundnut snack) Using pH as Index of Acceptability*. 24. www.iiste.org
- Parente, E., & Ricciardi, A. (2025). Shelf life definition and predictive approaches—modeling strategies for an effective control of food spoilage. In *The Microbiological Quality of Food* (pp. 321–363). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91160-3.00015-5>
- Paternina-Sierra, K., Acevedo-Correa, D., & Montero-Castillo, P. M. (2018). Evaluación de la Vida Útil de una Pasta de Ajonjolí Azucarada mediante Pruebas Aceleradas. *Información Tecnológica*, 29(4), 3–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400003>
- Paul Singh, R. (1997). *Handbook of Food Engineering Practice*.
- Ribeiro, M. I., Fernandes, A., Cabo, P., & Matos, A. (2017). Qualidade nutricional e tecnológica dos alimentos na ótica do consumidor. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(SP), S255–S265. <https://doi.org/10.19084/RCA16233>
- Sanz Penella, J. M., Collar, C., & Haros, M. (2008). Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science*, 48(3), 715–721. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.03.006>
- Simanca, M. M., Andrade, R. D., & Arteaga, M. R. (2013). Efecto del Salvado de Trigo

en las Propiedades Fisicoquímicas y Sensoriales del Yogurt de Leche de Búfala. *Información Tecnológica*, 24(1), 79–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100010>

Suca-Apaza, C. A., Suca-Apaza, F., & Rojas, D. C. (2022). Clasificación de pan Francés según sus propiedades fisicoquímicas mediante la aplicación de los análisis de conglomerados y discriminante. *Información Tecnológica*, 33(1), 259–270. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000100259>

Taglieri, I., Macaluso, M., Bianchi, A., Sanmartin, C., Quartacci, M. F., Zinnai, A., & Venturi, F. (2021). Overcoming bread quality decay concerns: main issues for bread shelf life as a function of biological leavening agents and different extra ingredients used in formulation. A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 1732–1743. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10816>

Tarar, O. M., Rahman, S. U., Din, G. M. U., & Murtaza, M. A. (2010). Studies on the shelf life of bread using acidulants and their salts. *Turkish Journal of Biology*. <https://doi.org/10.3906/biy-0803-20>

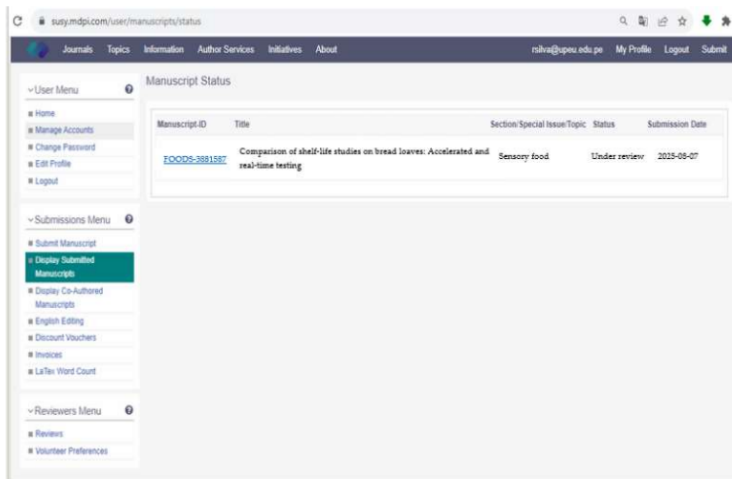
Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., Latif, S., & Müller, J. (2016). Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry*, 196, 712–719. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.103>

Venezuela, A. I., Carrillo, G., Enrique, L., Duque, M., Paola, D., Zuluaga, M., Enrique, D., Acevedo, :, Montero, :, Margarita, P., De, E., Vida, L. A., De Jamón, Ú., Cerdo, D. E., & Pruebas, M. (2016). ESTUDIO DE LA VIDA ÚTIL DE JAMÓN DE CERDO MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS. *Interciencia*, 41(7), 488–491. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33946267008>

Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery, L. E., & Elías, L. G. (1992). *Métodos sensoriales básicos: Para el análisis de alimentos*. 184. https://www.academia.edu/5193414/Métodos_sensoriales_básicos_para_la_evaluación_de_alimentos

6. Anexos

Anexo 01. Evidencia de sumisión del artículo a una revista de prestigio: Foods



Anexo 02. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente



"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

RESOLUCIÓN N° 0001-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 14 de febrero de 2023

VISTO:

El expediente de **Teresa del Pilar Quispe Chumbes**, identificado(a) con Código Universitario N° 201810751, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Teresa del Pilar Quispe Chumbes**, ha solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Comparación de estudios de vida útil en panes de molde: Pruebas aceleradas y tiempo real" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 14 de febrero de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Comparación de estudios de vida útil en panes de molde: Pruebas aceleradas y tiempo real**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar como asesor a **Dr. Reynaldo Justino Silva Paz** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Dr. Santiago Ramírez López** y **Mg.Sc. Daniel Sumire Quenta**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

CC:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo

Anexo 03. Carta de aprobación de comité de ética



Lima, 27 diciembre de 2022

EL COMITÉ DE ÉTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

CONSTA

Que el proyecto de investigación de **Quispe Chumbes Teresa del Pilar**, identificada con DNI No. **72460689**; y su asesor, el **Dr. Reynaldo Silva Paz**, identificado con DNI No. **43520942**, con título **"Comparación de estudios de vida útil en panes de molde: Pruebas aceleradas y tiempo real"** fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética de Investigación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, considerando su calidad científica, consideración del bienestar de sus participantes, y conformidad con los estándares de la ética establecidas en el Código de Ética para la Investigación de la Universidad Peruana Unión.

Para mantener la aprobación del Comité de Ética, se tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) Cada participante debe dar consentimiento informado. En el caso de menores de edad, por lo menos uno de sus padres o guardianes debe registrar su consentimiento informado y el menor de edad debe registrar su consentimiento informado.

Los resultados de este proyecto puedan ser publicados con referencia a aprobación Número 2022-CEFA-016.

Ing. Ibeth Anny Coavoy Sánchez

Comité de Ética de Facultad de Ingeniería
y Arquitectura

Ing. Mónica Torres Jiménez

Comité de Ética de Facultad de Ingeniería
y Arquitectura

Villa Unión – Ñaña, altura Km. 19 de la Carretera Central, Lurigancho – Chosica, Lima 15, Perú
Teléfono: (01) 618-6300 Fax: 618-6364 E-mail: CORREO@upeu.edu.pe

Anexo 01. Ficha de Evaluación Sensorial de Intensidad utilizada para la degustación de panes de jueces entrenados

Nombre y Apellido:

Fecha:..... Código:.....

TEXURA

TOCANDO EL PAN ENTERO

DUREZA

Duro

Blando

TOCANDO LA MIGA

FIRMEZA

Firme

Suave

RESISTENCIA

Rigido

Deformable

HUMEDAD

Seco

Húmedo

ELASTICIDAD

Muy elástico

Poco elástico

FLEXIBILIDAD

No plegable

Plegable

RIGIDEZ

La rebanada se dobla

La rebanada se mantiene rígida

APARIENCIA DE LA MIGA

COLOR DE LA MIGA

Beige/Crema

Amarillo

INTENSIDAD DEL COLOR DE LA MIGA

Claro

Oscuro

AROMAS

ALCOHOL

Débil

Intenso

LECHE/MANTEQUILLA

Débil

Intenso

FERMENTADO

Débil

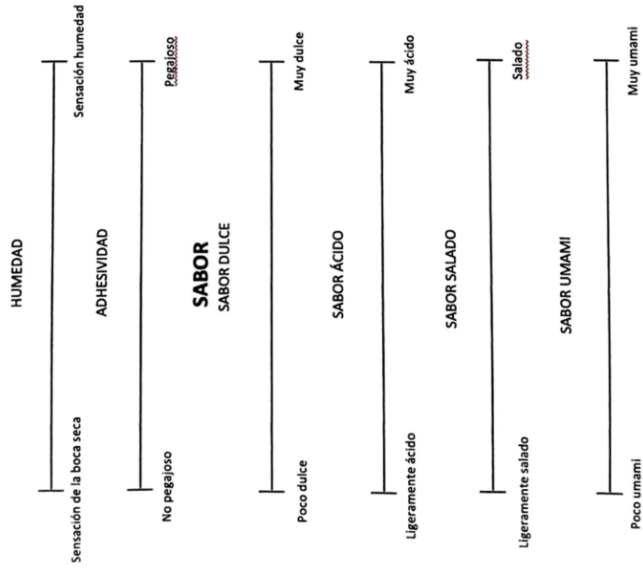
Intenso

TRIGO

Débil

Intenso

LA MIGA EN LA BOCA



MUCHAS GRACIAS POR SU
ATENCIÓN Y PARTICIPACIÓN

Anexo 02. Ficha de Aceptabilidad de panes

Nombre: _____ **Fecha:** _____

Indicación:

- Marque según lo que considere

Código: _____

¿Considera este producto aceptable?

_____ Sí. _____ No

Código: _____

¿Considera este producto aceptable?

_____ Sí. _____ No

Código: _____

¿Considera este producto aceptable?

_____ Sí. _____ No

¡Gracias por su participación!

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	12 %	%	3 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scielo.cl Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	revistas.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.upeu.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1 %
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
6	revistas.milpaalta.tecnm.mx Fuente de Internet	<1 %
7	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to upeu Trabajo del estudiante	<1 %

13	www.thefreelibrary.com Fuente de Internet	<1 %
14	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	<1 %
18	scielo.conicyt.cl Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to CORPORACIÓN UNIVERSITARIA IBEROAMERICANA Trabajo del estudiante	<1 %
21	purl.org Fuente de Internet	<1 %
22	www.hema.com Fuente de Internet	<1 %
23	repositoriodigital.uns.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1 %
25	analisa.io Fuente de Internet	<1 %
26	www.m-hikari.com Fuente de Internet	<1 %

27	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
28	www.jumbo.cl Fuente de Internet	<1 %
29	docs.google.com Fuente de Internet	<1 %
30	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
31	revistas.udea.edu.co Fuente de Internet	<1 %
32	bibliotecadigital.udea.edu.co Fuente de Internet	<1 %
33	journals.khnu.km.ua Fuente de Internet	<1 %
34	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
35	catarina.udlap.mx Fuente de Internet	<1 %
36	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
37	pdffox.com Fuente de Internet	<1 %
38	rdu.unc.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
39	redpav-fpolar.info.ve Fuente de Internet	<1 %
40	repo.sibdi.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

42	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
44	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
45	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
46	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
47	www.permanente.net Fuente de Internet	<1 %
48	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
49	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 5 words

Excluir bibliografía

Activo