

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**“EVALUACIÓN DEL PERFIL DE TEXTURA DE PAN ELABORADOS CON
SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE MAÍZ”**

T E S I S

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por la Bachiller:

ROXANA EURIDES CHÁVEZ CRUZ

Asesor:

Ing. M.Sc. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veintiséis días del mes de junio del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 94-2020-FCA-UNC, de fecha 27 de febrero del 2020**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EVALUACIÓN DEL PERFIL DE TEXTURA DE PAN ELABORADOS CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE MAÍZ"**, realizada por la Bachiller **ROXANA EURIDES CHÁVEZ CRUZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las doce horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las doce horas y cuarenta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.



Ing. M. Sc. Jesús Hipólito De La Cruz Rojas
PRESIDENTE



Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO



Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez
VOCAL



Ing. M. Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz
ASESOR

DEDICATORIA

Con mucho amor para mis hermanos y mi padre

Rosmer Alexander Díaz Cruz,

Deyvi Gustavo Días Cruz,

Mirian Marilena Chávez Cruz,

Dadnia Eloisa Chávez Cruz,

Liseth Chávez Cruz,

Jamín Idelso Chávez Cruz,

Idelso Chávez Marín.

Este documento está dedicado para quienes
la información contenida en él sea útil

Roxana Eurides Chávez Cruz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre, Idelso Chávez Marín, por compartir su experiencia y conocimientos adquiridos a lo largo de su carrera como panadero. Me brindó la información necesaria y me asesoró en la parte experimental de esta investigación. Mi padre es un apasionado de su oficio, que a sus 78 años todavía trabaja con amor por su familia y por su amor a la panificación. Aunque no tenga un título, es un verdadero experto en la materia. Gracias, papá, te quiero mucho y eres el mejor del mundo.

Agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca y a los profesores de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias por sus enseñanzas durante mi formación profesional. En particular, quiero agradecer al Ing. Max Sangay Terrones, Jimy Oblitas Cruz y a la Ing. Fanny Rimarachín Chávez por guiarme y apoyarme en mi carrera.

También agradezco a la empresa Industrias de Alimentos Milán E.I.R.L. por brindar sus instalaciones para la producción de las muestras de pan semita

Roxana Eurides Chávez Cruz

INDICE DE CONTENIDO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	ix
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de la Investigación.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.3. Variables de Investigación.....	3
1.4. Objetivo de la Investigación.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	4
2.2. Bases Teóricas.....	6
2.2.1. Maíz amarillo.....	6
2.2.2. Trigo.....	7
2.2.3. Pan.....	7
2.2.4. Pan Semita.....	8
2.2.5. Materia prima para la elaboración de pan.....	9
2.2.6. Aspectos del envejecimiento del Pan.....	11
2.2.7. Bolsa de papel kartf.....	12
2.2.8. Bolsa de polietileno de baja densidad (PEBD).....	12
2.2.9. Textura.....	13
2.2.9.1. Perfil de textura.....	13
2.2.9.2. Análisis de perfil de textura (TPA).....	14
2.2.10. Color.....	15
2.2.11. Métodos Estadísticos.....	17
2.3. Definición de Términos Básicos.....	18
CAPÍTULO III	19
MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Lugar de Ejecución de la Investigación.....	19
3.2. Diseño Experimental.....	19
3.3. Elaboración y Evaluación Física del Pan.....	21
3.3.1. Materia prima e insumos.....	21
3.3.2. Equipos y materiales.....	22
3.3.3. Elaboración de Muestras de Pan Semita.....	22
3.3.4. Envasado y almacén de las muestras.....	26

3.3.5. Métodos de análisis.....	26
3.3.6. Análisis estadístico para el perfil de color	28
CAPÍTULO IV.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Análisis del Perfil de Textura del Pan semita.....	29
4.1.1. Análisis de Dureza (Firmeza)	30
4.1.2. Análisis de Cohesividad.....	36
4.1.3. Análisis de Elasticidad o Esponjosidad	41
4.1.4. Análisis de Masticabilidad.....	45
4.2. Análisis del perfil color.....	49
4.2.1. Análisis del Espacio de Color L*a*b* para la Corteza.....	49
4.2.2. Análisis del Espacio de Color L*a*b* para la Miga.....	54
CAPÍTULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones.....	60
CAPÍTULO VI.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO/APENDICE.....	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz	7
Tabla 2. Propiedades físicas y sensoriales de la textura	14
Tabla 3. Diseño de la investigación para el perfil de textura	20
Tabla 4. diseño de la investigación para el perfil de color	21
Tabla 5. Formulación de pan semita con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro	23
Tabla 6. Método de Test para el Análisis de Textura.....	27
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para dureza	31
Tabla 8. Prueba de múltiples rangos para la dureza día 0 (95% Tukey HSD)	32
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de Cohesividad.....	37
Tabla 10. Prueba de múltiples rangos para cohesividad (95% Tukey HSD)	38
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para elasticidad	42
Tabla 12. Prueba de múltiples rangos para la elasticidad (95% Tukey HSD)	43
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para masticabilidad	45
Tabla 14. Prueba de múltiples rangos de masticabilidad	46
Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color L*-corteza	49
Tabla 16. Pruebas de Múltiple Rangos para L*-corteza.....	50
Tabla 17. Análisis de varianza (ANOVA) para a*- Corteza	51
Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) para b*-corteza.....	52
Tabla 19. Pruebas de Múltiple Rangos para b*- corteza	53
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color L* de la miga.....	54
Tabla 21. Pruebas de Múltiple Rangos para L* de la miga.....	55
Tabla 22. Análisis de varianza ANOVA para el espacio de color a* de la miga	56
Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color b* de la miga	57
Tabla 24. Prueba de Múltiple Rangos para b*miga	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maíz blanco y maíz amarillo duro	6
Figura 2. Diferentes tipos de pan.....	8
Figura 3. Curva modelo de TPA	15
Figura 4. Espacio de color L*, a*, b*	17
Figura 5. Tres tipos de harina usado en la elaboración de pan semita	23
Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de pan semita	25
Figura 7. Curva de análisis de perfil de textura (TPA) día 0.....	29
Figura 8. Curva de efectos principales para la dureza.....	33
Figura 9. Malla de superficie de respuesta estimada para la dureza.....	34
Figura 10. Contorno de superficie de respuesta estimada para la dureza día 2.....	35
Figura 11. Curva de efectos principales para la cohesividad	38
Figura 12. Malla de superficie de respuesta estimada para la cohesividad	40
Figura 13. Contorno de superficie de respuesta de cohesividad para el día 2.....	41
Figura 14. Curvas de efectos principales para la elasticidad	43
Figura 15. Malla de superficie de respuesta estimada para la elasticidad.	44
Figura 16. Contornos de superficie de respuesta para la elasticidad en el día 2	45
Figura 17. Curva de efectos principales para la masticabilidad	47
Figura 18. Malla de la superficie de respuesta estimada para la masticabilidad.	48
Figura 19. Contorno de superficie de repuesta estimado día 2 para la masticabilidad....	49
Figura 20. Espacio de color L* corteza	50
Figura 21. Espacio de color b* corteza.....	53
Figura 22. Espacio de color L*miga.....	55
Figura 23. Espacio de color b* de la miga	58

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar el perfil de textura y color del pan semita elaborado con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) en proporciones de 5%, 10%, 20% y 25% de harina de maíz amarillo duro. Se evaluó también el efecto del envasado en bolsa de papel Kraft de (50 g/m²) y bolsa de polietileno de baja densidad (1 micra) a temperatura ambiente y a -18°C durante un periodo de 4 días. Los resultados mostraron que el uso del 5% de harina de maíz amarillo duro no generó cambios significativos en el perfil de textura del pan semita. Sin embargo, el uso del 10% de harina de maíz amarillo duro resultó en un incremento significativo en la dureza del pan, sin afectar de manera significativa la cohesividad, elasticidad y masticabilidad. El uso del 20% y 25% de harina de maíz amarillo duro alteró el perfil de textura del pan semita, incrementando la dureza y masticabilidad, pero disminuyendo la cohesividad y elasticidad. El uso de más del 5% de harina de maíz amarillo duro generó cambios en el perfil de color, con un aumento en la claridad y la tonalidad amarilla tanto en la corteza como en la miga del pan semita. El pan semita envasado en papel Kraft no mantuvo su perfil de textura a lo largo del tiempo, mientras que el pan semita envasado en PEBD a temperatura ambiente y a -18°C conservó sus propiedades de textura durante los 4 días de estudio. Específicamente, el pan semita elaborado con un 10% de harina de maíz amarillo duro presentó una dureza de 1143 g, cohesividad de 0.59, elasticidad de 0.395 cm y masticabilidad de 0.03 J. Además, registró un perfil de color en la corteza de L*40.99, a*15.24 y b*24.91, y en la miga de L*58.28, a*4.01 y b*18.87. Por su parte, el pan semita elaborado con un 20% de harina de maíz amarillo duro mostró una dureza de 1295.5 g, cohesividad de 0.115, elasticidad de 0.39 cm y masticabilidad de 0.0325 J. Asimismo, presentó un perfil de color en la corteza de L*44.47, a*15.80 y b*27.42, y en la miga de L*56.10, a*3.79 y b*21.63; por tanto, el uso de diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro tiene un impacto significativo en la textura y el color del pan semita.

Palabras claves: pan semita, textura, color, dureza, elasticidad.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the texture and color profile of semita bread made with different levels of hard yellow corn flour (*Zea mays* L.) in proportions of 5%, 10%, 20% and 25% hard yellow cornmeal. The effect of packaging in a Kraft paper bag (50 g/m²) and a low-density polyethylene bag (1 micron) at room temperature and -18°C for a period of 4 days was also evaluated. The results showed that the use of 5% hard yellow cornmeal did not produce significant changes in the texture profile of Semitic bread. However, the use of 10% hard yellow cornmeal resulted in a significant increase in bread hardness, without significantly affecting cohesion, elasticity, and chewiness. The use of 20% and 25% hard yellow cornmeal altered the texture profile of semita bread, increasing hardness and chewiness, but decreasing cohesion and elasticity. The use of more than 5% hard yellow cornmeal results in changes in the color profile, with an increase in clarity and yellow tone in both the crust and crumb of semita bread. semita bread packed in Kraft paper did not maintain its texture profile over time, while semita bread packed in PEBD at room temperature and -18°C retained its textural properties during the 4 days of the study. Specifically, the semita bread made with 10% hard yellow corn flour presented a hardness of 1143 g, cohesiveness of 0.59, elasticity of 0.395 cm, and chewiness of 0.03 J. In addition, an increase in the color profile in the crust of L * 40.99, a*15.24 and b*24.91, and in the crumb of L*58.28, a*4.01 and b*18.87. For its part, the Semita bread made with 20% hard yellow cornmeal had a hardness of 1295.5 g, cohesiveness of 0.115, elasticity of 0.39 cm, and chewiness of 0.0325 J. Previously it had a color profile in the crust of L*44.47, a*15.80 and b*27.42, and in the crumb of L*56.10, a*3.79 and b*21.63; therefore, the use of different levels of hard yellow cornmeal has a significant impact on the texture and color of semita bread.

Keywords: Semita bread, texture, color, hardness, elasticity.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en el análisis del perfil de textura y color de pan semita elaborado con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro puesto que el 60% del gusto que percibimos al comer tiene que ver con la textura del alimento, cuanto más variedad hayamos reunido en la boca al mismo tiempo mejor saben ciertos alimentos. La boca es la primera instancia en procesar la información relacionada con la consistencia y, durante este proceso una extensa gama de sensaciones placenteras es transmitida a nuestro cuerpo y estas sensaciones son incluso más importantes que el sabor en sí mismo (TEXTUROLAB 2023). Los colores influyen en el apetito, la forma en la que percibimos un color u otro condiciona nuestra apreciación de los alimentos (AQ INSTRUMENTS 2023).

El pan es el producto alimenticio obtenido por la cocción mediante horneado de una masa elaborada con harina de trigo con o sin harinas sucedáneas, mezclada con agua, sal, adicionando o no aceites, grasas comestibles, mejoradores de masa, productos lácteos, otros ingredientes y aditivos alimentarios pasando o no por un proceso de fermentación (INACAL 2016).

El uso de harinas sucedáneas en la producción de pan genera cambios en el perfil de textura y color. La calidad de los productos de panificación va en función al tipo de producto dentro de su clasificación. No puede hacerse una definición global de calidad de un pan debido a que cada producto presenta ciertos atributos que lo identifican (Manzano et al. 2016), en consecuencia, el objetivo de esta investigación es analizar el perfil de textura y color de pan semita elaborado con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), además realizar un análisis del perfil de textura durante cuatro días al pan semita envasado en bolsa de papel Kraft de 50 g/m² y bolsa cristal de PEBD de 1 micra expuesto a temperatura ambiente y a -18°C durante 4 días.

1.1. Problema de la Investigación

El uso de harinas sucedáneas en la producción del pan tiene como efecto la alteración en las propiedades nutricionales y organolépticas del producto final en especial en el perfil de textura y color, así lo demuestran diversas investigaciones como Matos Chamorro y Muñoz Alegre (2010)

La textura se refiere a las cualidades físicas y sensoriales de un producto alimentario, como su dureza, suavidad, cohesión, entre otros aspectos, que son percibidos por nuestros sentidos. La textura es un aspecto clave en la elección y preferencia de los alimentos y se considera el principal atributo de su calidad (Bourne y Szczesniak 1998). Por otro lado, el perfil de textura incluye información sobre la dureza, elasticidad, adherencia, friabilidad, entre otros aspectos, y permite comparar y cuantificar la textura de diferentes productos alimentarios.

El color en los alimentos es un aspecto importante para el consumidor ya que influye en la percepción de su frescura, calidad y atractivo. Además, puede tener un impacto en la aceptación del producto y en la decisión de compra. Curiosamente, los consumidores asociaron una mayor intensidad de color con mejor sabor y en el 89% de los productos que probaron percibieron más sabor, a pesar de que no había una prueba de sabor. (Sensient Colors 2023)

El pan es un alimento básico pero perecedero, existe una gran variedad de tipos con diferentes formas y nombres. Por lo tanto, no se puede establecer una calidad global de pan, sino que se debe analizar cada tipo por separado para establecer estándares de calidad, por lo tanto, se lleva a cabo este estudio que se enfoca en análisis del perfil de textura y color de pan semita elaborado con sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*)

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto en el perfil de textura de pan semita elaborado con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*)?

1.3. Variables de Investigación

- Variables independientes: porcentaje de harina de maíz amarillo (*Zea mays L.*), porcentaje de harina de trigo (*Triticum L.*); condición de envasado y tiempo.
- Variable dependiente: perfil de textura (dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad), perfil de color de corteza y miga (espacio de color $L^*a^*b^*$).

1.4. Objetivo de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el perfil de textura de pan semita elaborados con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*)

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar el perfil de textura: dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad en el pan semita elaboradas con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*).
- Analizar el perfil de textura del pan semita con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) almacenadas en empaques de papel kraft y en PEBD expuestos a temperatura ambiente y congelación durante 4 días.
- Determinar el perfil de color del pan semita con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*)

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

En el estudio “Caracterización colorimétrica, textura y calidad sanitaria de panes adicionados con maíces criollos y *Cúrcuma longa*”. Los principales hallazgos fueron: El color de los maíces, harinas nixtamalizada y masas tuvieron diferencia significativa al comparar valores medios de parámetros de Luminosidad, a^* y b^* . Los maíces azules y rojizo y amarillos y amarillo-naranja presentaron los valores inferiores en L^* y superiores en b^* , respectivamente. La dureza del pan de maíz criollo y cúrcuma no presentó diferencias durante tres días consecutivos beneficiando su conservación. El pan de maíz amarillo y cúrcuma BM1- C mostró incrementos en la dureza en los días 2 y 3 (Hernandez-Aguilar et al. 2022) esta información será útil para compararlo con los resultados de perfil de color.

La investigación “Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de haba (vicia faba) variedad Major sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en pan de molde integral” encontró que la sustitución de harina de trigo integral por harina de haba al 30%, permitió obtener el mayor contenido de proteína (13.25%) y la mejor textura (2.40 N). La sustitución de harina de trigo integral por harina de haba al 20% permitió obtener la mejor textura (1.80N), mejor color en miga ($L=50.75$, $a^* = 3.55$, $b^* = 22.18$) y corteza ($L=46.18$, $a^* = 9.30$, $b^* = 30.75$); eligiendo a este como mejor tratamiento debido a que obtuvo un pan de molde con una miga compacta, húmeda y con una corteza muy fina (Escobedo Anticona 2019) esta información será útil para comparar el efecto en la dureza del pan al usar harinas sucedaneas.

El estudio “Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan” concluye que la dureza de los panes con suplencia de harina de trigo por harina de maíz presentó valores inferiores a los elaborados solo con harina de trigo, la elasticidad no se vio afectada por el nivel de sustitución, en la cohesividad las diferencias observadas fueron cuando la HT fue cambiada al 5 y 7.5% (0.84 ± 0.01) o 10% (0.86 ± 0.05). En relación con masticabilidad el pan presenta valores inferiores estadísticamente, con respecto a la resiliencia se logró observar diferencias significativas al utilizar HM en sus

diferentes niveles de sustitución (incremento de la resiliencia) (Vásquez Lara et al. 2017) esta información es útil para comparar la elasticidad y masticabilidad.

En la investigación “Efecto de La Sustitución de Harina de Trigo con Harina de Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) Sobre las Propiedades Reológicas de la Masa y Texturales del Pan”, elaboraron pan con harina de trigo (HT) sustituida con harina de quinoa (HQ) en porcentajes de 2.5, 5, 7.5 y 10. En el pan se analizó el perfil de textura. El perfil de textura mostró panes más blandos que el elaborado solo de HT cuando esta fue sustituida con HQ al 5 y 7.5%. (Vásquez et al. 2016) esta información es útil para verificar la diferencia del uso de harina de quinoa y la harina de maíz amarillo en el perfil de textura del pan.

El estudio de “Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz” evaluaron sustituciones de 15, 20, 30, 40, 50 y 60 % de harina de trigo por harina de arroz en el que encontraron diferencias con el pan control (100% harina de trigo) a mayor nivel de arroz se encontró una textura harinosa. (Reyes Aguilar et al. 2004) estos datos serán usados para analizar la cohesividad del pan.

En el estudio “Potencial agroindustrial del epicarpio de mandarina como alternativa de colorante natural en pan” se evidenció un aumento en la capacidad antioxidante y el contenido de carotenoides, además de cambios significativos en los parámetros de color (L^* y C^*). En la sustitución de la harina de epicarpio de mandarina en las formulaciones del pan, se notó un aumento significativo en la concentración del contenido de carotenoides, siendo el pico de esta en la sustitución del 4 %; En los parámetros de color, se hallaron diferencias significativas en los parámetros L^* y C^* , presentando el mayor valor de L^* en la sustitución del 2 % y de C^* en la sustitución del 4 %, mientras que el parámetro h° no presentó diferencias significativas en ninguna de las formulaciones (Ordoñez-Santos et al. 2020) esta información es importante para analizar las diferencias en el efecto del perfil de color.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Maíz amarillo

El maíz amarillo duro es ampliamente utilizado en la producción de alimentos procesados a nivel mundial. Es el ingrediente principal en la fabricación de harinas de maíz y tortillas, y también se encuentra en otros alimentos ultraprocesados como aditivo secundario en forma de maicena, almidón modificado o fécula de maíz (Gouttefanjat 2021). A nivel nacional el maíz amarillo es ampliamente utilizado en la producción de extruidos y la industria galletera. El maíz blanco y el amarillo son diferentes en su apariencia debido a la ausencia de pigmentos de caroteno en el maíz blanco tal como se muestra en la figura 1 (FAO s. f.)

Figura 1. Maíz blanco y maíz amarillo duro



Fuente: Tomado de Agronoticias 2019.

2.2.1.1. Composición química del maíz.

En la tabla 1 se muestra las partes principales del grano de maíz tienen composiciones químicas significativamente diferentes. El pericarpio o cubierta seminal es rico en fibra cruda, compuesta principalmente de hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,1%). Por otro lado, el endospermo tiene un alto contenido de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido bajo de grasas crudas el contenido proteínico del grano está representado principalmente por zeínas y glutelinas insolubles en alcohol, las cuales constituyen más del 50 % de la proteína total y son deficientes en los aminoácidos esenciales Lisina y Triptófano. (Burge y Duensingw 1989). El maíz No contiene gluten, como el trigo o el centeno.

Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%).

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8;0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: Tomado de Watson y Ramstad 1987

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El betacaroteno es una fuente importante de vitamina A. (FAO s. f.)

2.2.2. Trigo

El trigo (género *Triticum*) es el cereal más extensamente cultivado en el mundo, suministra un poco más de proteína que el arroz y el maíz, aproximadamente 11%. El aminoácido limitante es la lisina. En muchos países industrializados la harina de trigo se fortifica con vitaminas B y algunas veces con hierro y otros nutrientes. Su contenido de nutrientes depende del grado de molienda. Las harinas de baja extracción han perdido gran parte de sus nutrientes. Su bajo contenido de grasa reduce las posibilidades de que se vuelva rancio, y su bajo contenido vitamínico hace que sea menos atractivo para los insectos y otras plagas (FAO s. f.)

El trigo es utilizado por la industria harinera, en la preparación de sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios, derivados de la harina, como pastas, galletas, pastelería, entre otras (MIDAGRI 2022).

2.2.3. Pan

El pan es un alimento altamente perecedero, se produce por la combinación y cocción de harina de trigo, sal y agua, y que se fermenta con ciertas especies, como *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas y Alegre 2002), se puede incorporar azúcar, grasa, emulsificantes, leche, mejorantes, entre otros. Para tener un buen pan, su corteza debe ser crujiente, su miga debe tener un color crema blanco, su aroma apetitoso, su sabor delicioso; las características del pan pueden variar dependiendo de las materias primas utilizadas (Calvel 1990).

El investigador Andrés Ugaz Cruz registró ciento veinte tipos de panes de doce regiones del Perú. Varios tipos de pan se repiten en distintas regiones y algunos tienen la misma denominación, pero presentan otras formas e ingredientes (Ríos Acuña 2009). En la figura 2 se observa algunos tipos de pan de diferentes tamaños y colores.

Figura 2. Diferentes tipos de pan



El término "pan" abarca una amplia gama de productos con diferentes formas, tamaños, texturas, cortezas, colores, grados de firmeza, sabores, aromas y calidades sensoriales por ello es imposible determinar si un pan es bueno o malo en términos generales, excepto para el juicio de un atributo en particular como inocuidad (Cauvain y Young 2002).

2.2.4. Pan Semita

Zapata Acha (2009), en su diccionario de gastronomía peruana describe a la semita como un pan elaborado a partir de afrecho, que antiguamente era consumido por la población de bajos ingresos. La definición incluye también la visión de Javier Pulgar Vidal, quien la define como un pan oscuro hecho con semitilla (harina de trigo que incluye cascarillas y germen) y afrecho (salvado). Aunque ya no se consume tanto en Perú, antiguamente era un pan económico, según el mismo autor. En Cajamarca - Perú, la semita es un pan de harina sin cernir, elaborado sobre todo en Semana Santa.

En diversos lugares, se prepara un tipo de pan que combina harina de trigo con otras harinas, dándole un valor agregado, este pan recibe el nombre de "pan mestizo". En Cajamarca, Perú, existen diferentes variedades de este tipo de pan. Por ejemplo, el pan con forma de cuarto de círculo es conocido como pan semita en la provincia, mientras que en Celendín se le llama pan mestizo y se elabora con harina de trigo y harina de trigo

integral, en Chota, las cemas son un tipo de pan semidulce y se escriben con la letra "c". Antiguamente, el pan semita era un alimento económico, pero su alto valor nutricional ha llevado a un aumento en su precio en comparación con el pan común (Chávez Marín 2019).

2.2.5. Materia prima para la elaboración de pan

Las materias primas básicas en la elaboración del pan es la harina de trigo, el agua, la levadura y la sal, si faltara solo uno de estos ingredientes no se podrá elaborar el pan; estos ingredientes son los responsables de las características de apariencia, textura y sabor del pan. Los ingredientes secundarios son el azúcar, la grasa, el suero de leche y aditivos; se puede producir un pan sin estos ingredientes (Anticona Galindo 2017).

2.2.5.1. Harina de Trigo.

La harina de trigo es la materia prima esencial formadora de la masa para la elaboración de productos panificables, contiene gluten que se forma por hidratación e hinchamiento de proteínas de la harina gliadina y glutenina, el hinchamiento del gluten posibilita la formación de la masa (De La Cruz Quispe 2009)

Composición media de las harinas panificables:

- Almidón: 68-72%
- Proteína: 9-14% (85% gluten)
- Humedad: 13-15%
- Cenizas: 0.5-0.65%
- Materias grasas: 1-2%
- Azúcares fermentables: 1-2%
- Materias celulósicas: 3%
- Enzimas hidrolíticos: amilasas, proteasas, etc.
- Vitaminas: B, PP y E

a) Almidón. El almidón es el componente principal en la harina y es un polisacárido de glucosa. No es soluble en agua fría, pero con el aumento de la temperatura, experimenta un ligero hinchamiento. En la harina también se encuentran enzimas alfa y beta amilasa que degradan hasta un 10% del almidón en azúcares simples como dextrina, maltosa y glucosa. Estos azúcares son utilizados como alimento por las levaduras durante la fermentación (Rodas Chungata 2013). El almidón está formado por dos moléculas: la

amilosa (polímero de cadena lineal) y la amilopectina (polímero de cadena ramificada) (Hoover 2001) .

b) Proteínas. Se tiene las proteínas del gluten y aquellas que no forman gluten (Edel León y Rosell 2007).

- **Solubles.** Que representan aproximadamente del 20-25%, no forman gluten como la albúmina, globulina y péptidos, son muy importantes para la nutrición.

- **Insolubles.** Se denominan proteínas de almacenamiento y constituyen alrededor del 75-80% del total. Al contacto con el agua forman una red que atrapa los granos de almidón. Absorben cerca del doble de su peso en agua. Durante el amasado se transforman en una masa parda y pegajosa, responsable principal de las propiedades físicas de la masa, dotándola entre otras cualidades, de la capacidad de retener los gases que se producen durante el proceso de fermentación. La glutenina proporciona la fuerza y tenacidad, mientras que la gliadina es responsable de la elasticidad. (Calvel 1990).

c) Azúcares. Los azúcares en la harina suelen estar en forma de sacarosa y maltosa. Otro azúcar presente es la dextrina que se encuentran en muy pequeña proporción (0,2%-0,3%) y es en cierta medida responsable del brillo en la corteza (Sánchez Ortega 2001).

2.2.5.2. Agua.

Hidrata la harina, lo que facilita la formación de gluten, y con la ayuda del trabajo mecánico del amasado, la masa adquiere sus características plásticas: cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad (Calvel 1990). Su presencia es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan (Mesas y Alegre 2002).

2.2.5.3. Sal.

La sal da sabor al producto, además resalta los sabores de otros ingredientes, fortalece el gluten, permitiendo a la masa retener mejor el agua y gases, contrae y estabiliza el gluten de la harina, contribuye a mantener la humedad de la pieza una vez que esta ha salido del horno (Quispe 2009).

2.2.5.4. Azúcar.

El azúcar y la grasa vegetal tienen la función de ablandador en productos horneados. Además de proporcionar dulzor, el azúcar retiene humedad, lo que permite

conservar el pan por más tiempo gracias a su propiedad higroscópica. La presencia de azúcar también contribuye a la rápida formación de la corteza del pan, gracias a la reacción de Maillard entre azúcares reductores y proteínas de la harina. Esto permite cocinar a temperaturas más bajas, reduciendo el tiempo de cocción y reteniendo más agua en el producto final (Mesas y Alegre 2002).

2.2.5.5. Grasa.

Mejora la calidad del producto final, aportando sabor, color, textura, y riqueza nutricional. Las grasas sólidas contribuyen al crecimiento de la masa, al atrapar burbujas de aire que se expanden en el calor del horno. Además, sus propiedades emulsionantes mantienen la humedad y previenen el endurecimiento prolongando la vida útil del pan (Edel León y Rosell 2007).

2.2.5.6. Levadura.

La levadura pertenece a la familia *Saccharomyces* siendo exclusivo para panificación *Saccharomyces cerevisiae* este organismo vivo produce enzimas que rompe los almidones de la harina y los transforma en azúcar y estos a su vez en alcohol y gas carbónico, que le da al pan su carácter esponjoso (Anticona Galindo 2017).

Calaveras (2004) señala que las levaduras en panificación tienen tres efectos, los cuales se indican a continuación:

- Transformación de la masa, pasando de ser un cuerpo poco activo a ser un cuerpo fermentativo, donde se desarrollan las reacciones químicas y físicoquímicas más activas. Produciendo un aumento de energía que equivale a 27 calorías por molécula de azúcar.
- Desarrolla parte del aroma mediante la producción de alcoholes, aromas típicos de panificación y éteres.
- Subida de la masa, debido a la producción de CO₂ (anhídrido carbónico) y alcohol etílico en forma de etanol (C₂H₅OH).

2.2.6. Aspectos del envejecimiento del Pan

El endurecimiento de la miga no es simplemente una redistribución de la humedad, sino un proceso compuesto por dos subprocesos: la transferencia de humedad de la miga a la corteza y la recristalización del almidón en las paredes de los alveolos. Este proceso global de envejecimiento conduce al endurecimiento de la miga y la

alteración de las características del pan (Cauvain y Young, 2008) otros aspectos del envejecimiento del pan son:

- a) **Cambio en la humedad** dada por evaporación y la redistribución del agua que contribuyen a la pérdida de peso, que puede llegar a ser del 10% en productos no envasados y generalmente menos del 1% en productos envasados. Aunque el contenido de humedad no cambia en el pan con envoltorio, el pan se siente seco debido a que el agua ha migrado de la miga a la corteza y del almidón al gluten (Lallemand 1996).
- b) **Suavizamiento de la Corteza** en pan empacado es causado por el incremento en la humedad pasando de una corteza fresca crujiente y placentera a una corteza suave poco placentera, este cambio genera pérdida de elasticidad (Steffolani 2011).
- c) **Pérdida de Sabor y Cambios.** El sabor del pan se deriva de los ingredientes y las condiciones y métodos de procesamiento en su elaboración (Luna Fernández y Bárcenas Pozos 2011), pero con el tiempo se pierde el aroma de alcohol de la levadura se reduce el aroma harinoso y los aromas remanentes almidonosos se hacen desagradables (Lallemand 1996).

2.2.7. Bolsa de papel kartf

El papel kraft es un tipo de papel resistente y duradero, fabricado a partir de pulpa de madera virgen o reciclada. Se caracteriza por su color marrón claro o beige. La bolsa de papel kraft se utiliza para transportar productos y ofrecer una alternativa más ecológica y duradera a las bolsas de plástico, además, es considerado un material respetuoso con el medio ambiente, ya que puede ser reciclado y es biodegradable (IMSanchís s. f.).

Las bolsas de papel kraft pueden variar en cuanto a su tamaño, resistencia y capacidad de carga, las bolsas de papel de uso más común suelen ser de 35 gramos por metro cuadrado, aunque las hay más resistentes con un gramaje de 50 g/m², el gramaje sube según las necesidades de carga y según la necesidad de durabilidad. Las bolsas usadas en panadería suelen ser de 35 a 50 g/m² (COMERCIAL AVILÉS s. f.).

2.2.8. Bolsa de polietileno de baja densidad (PEBD)

El polietileno de baja densidad es conocido también como un polímero termoplástico que proviene de los olefínicos. Es reconocido por sus siglas PEBD. Es un material lechoso que, según su espesor, puede llegar a ser transparente, tiene como asignado el código de identificación plástico 4 (Polietileno s. f.).

El polietileno de baja densidad es un de plástico utilizado en la fabricación de bolsas desechables debido a su flexibilidad y resistencia al desgarro. Estas bolsas son ligeras, económicas se han utilizado ampliamente en diversas industrias, incluyendo la venta minorista de productos de la canasta básica. La densidad de las bolsas de polietileno de Baja Densidad oscila entre 0.910 a 0.925 g/cm³ y es principalmente amorfo, pueden soportar temperaturas de hasta 80°C, son más flexibles que las de alta densidad, muy resistente a los ataques de sustancias químicas, impermeables al agua, poseen excelentes propiedades eléctricas presenta buena dureza y resistencia al impacto en bajas temperaturas (Embalajes Terra s. f.)

2.2.9. Textura

textura es la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos detectadas a través de los sentidos de la vista, el oído, el tacto y la cinestésica (Szczesniak 2002).

La textura es un atributo de calidad utilizado en la industria de los alimentos, tanto en frescos como procesados, para evaluar la aceptabilidad y la calidad; entre las características principales encontramos la dureza, que es importante especialmente en frutas y verduras, ya que estima la frescura de ellas (Konopacka y Plochanski 2004).

2.2.9.1. Perfil de textura

El Perfil de Textura abarca todas las características que describen la textura del producto desde el primer bocado hasta la deglución. Alina Szczesniak es considerada una de las pioneras en la definición de las propiedades de textura basadas en propiedades físicas como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas y sensoriales de la textura

Propiedad	Física	Sensoriales
Dureza	Fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada.	Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los molares para sólidos o entre la lengua y el paladar para semisólidos.
Cohesividad	Extensión de un material puede ser deformado antes de que se rompa.	Grado en que una sustancia es comprimida entre los dientes antes de romper.
Viscosidad	Velocidad de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza requerida para llevar un líquido de la cuchara a la lengua
Elasticidad	Velocidad a la que un material deformado vuelve a su condición inicial después de que la fuerza es retirada.	Grado en que un producto vuelve a su forma original una vez ha sido comprimido entre los dientes.
Masticabilidad	Energía requerida para masticar un alimento sólido hasta el estado adecuado para ser tragado: un producto con dureza, cohesividad y elasticidad.	Periodo de tiempo requerido para masticar la muestra, a una velocidad constante de fuerza aplicada, para reducirla a una consistencia adecuada para tragar.

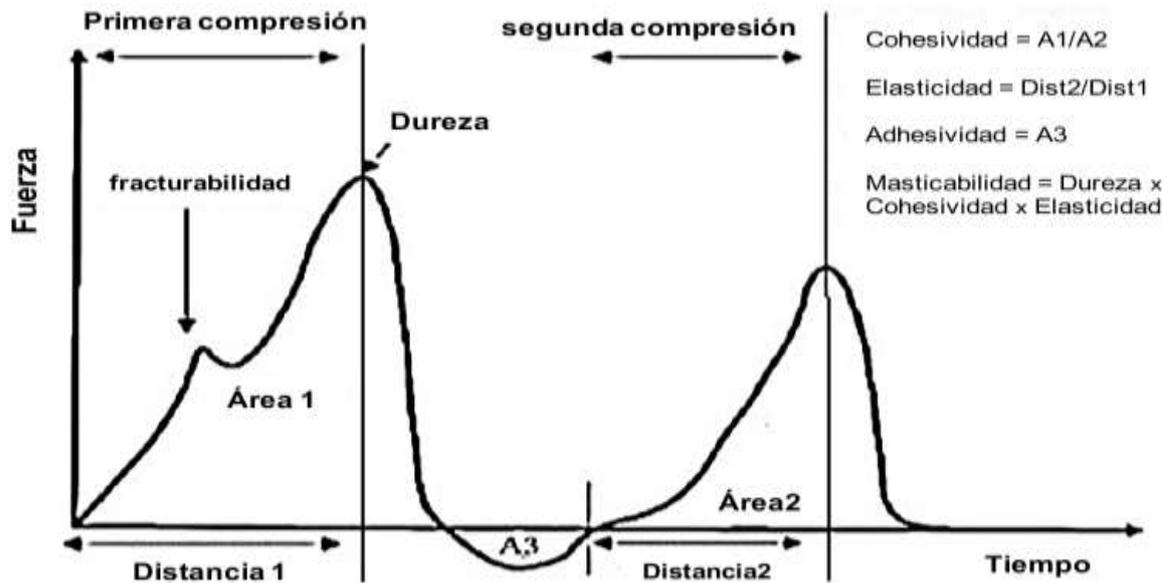
Fuente: Tomado de Szczesniak 1963.

2.2.9.2. Análisis de perfil de textura (TPA)

El análisis del perfil de textura (TPA) es una prueba popular de doble compresión para determinar las propiedades de textura de los alimentos. Durante una prueba de TPA, las muestras se comprimen dos veces utilizando un analizador de textura para proporcionar información sobre cómo se comportan las muestras cuando se mastican. La prueba TPA a menudo se denominaba "prueba de dos mordidas" porque el analizador de textura imita la acción de morder de la boca (Bourne y Szczesniak 1998).

El perfil de textura es medido con un equipo de compresión el mismo que genera un diagrama conocido como la curva de TPA en el que se calcula los diferentes parámetros del perfil de textura (Claude Roudot 2004), así como se muestra en la figura 6.

Figura 3. Curva modelo de TPA



Fuente: Tomado de Bourne y Szczesniak 1998.

2.2.10. Color

El color y la apariencia son el primer contacto que tiene el consumidor con un alimento, condicionando sus preferencias e influenciando su elección. El color está relacionado con las cualidades sensoriales, la composición química y, por lo tanto, uno de los factores que define la calidad de un producto alimentario (García González 2023).

En la industria alimentaria, el color es un parámetro en base al cual se realizan clasificaciones de productos, se evalúan materias primas, se hace control de procesos y se miden indirectamente otros parámetros, como tostación del café y clasificación de huevos de gallina. La tendencia actual es analizar digitalmente la imagen y transformar las coordenadas en modelos matemáticos en las correspondientes coordenadas de los espacios cromáticos CIE $L^* a^* b^*$ y CIELuv, para su posterior análisis (León et al. 2006).

2.2.10.1. Atributos del color

El color es una cuestión de percepción e interpretación subjetiva. Varias personas observando un mismo objeto, obtendrán referencias y experiencias diferentes y expresarán el color en forma distinta y subjetiva (Konica Minolta 2023), Los atributos del color incluyen:

- Tonalidad: es el término utilizado en el mundo del color para la clasificación de los distintos colores (ej. rojo, amarillo, verde, etc.),
- Claridad o luminosidad: se refiere a la claridad u oscuridad de los colores según su luminosidad,
- Saturación: indica si los colores son vivos o apagados, según su cercanía al centro.
- Matiz: La combinación de tono y saturación, que determina el color percibido por el ojo humano.

2.2.10.2. Colorimetría

Los resultados de la colorimetría en alimentos se utilizan para tomar decisiones importantes sobre la producción y el procesamiento de los alimentos, como la selección de los ingredientes, la regulación de la temperatura y el tiempo de cocción, y la adición de colorantes y otros aditivos. Además, también se utiliza para evaluar la frescura y la calidad de los alimentos, así como para monitorear los cambios en la apariencia y el color durante el almacenamiento y el transporte (Artigas et al. 2002).

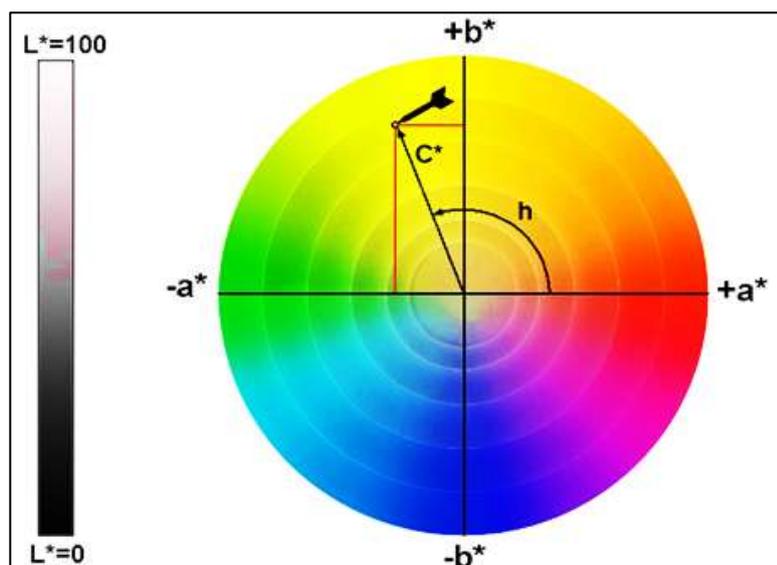
2.2.10.3. Perfil de color.

Un perfil de color describe un espacio de color de una manera estructurada para que los aparatos y programas especializados en el tratamiento de color sepan cómo interpretar esos datos colorimétricamente. Un perfil de color contiene y describe un espacio de color, traduciendo los colorantes del original a unos términos de color generales (Sánchez Muñoz 2022).

2.2.10.4. Modelo de color LAB.

LAB es un sistema de color que representa la totalidad del espectro visible. Los tres colores de luz son medidos en el contexto de una iluminación específica y todos los demás son considerados como una combinación de color, iluminación y superficie reflectante. Este sistema considera el espacio en forma uniforme y despliega tres ejes espaciales: L (luz, blanco- negro), a (rojo- verde), b (amarillo- azul) (Rodríguez Gómez s. f.). La figura 4 muestra la claridad, espacio de color rojo a verde y espacio de color azul a amarillo.

Figura 4. Espacio de color L^* , a^* , b^*



Fuente: tomado de Quantotec 2019.

2.2.11. Métodos Estadísticos

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

Los métodos principales para el análisis de texturas utilizados son el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis factorial (AF). En el caso en el que la experimentación se haya hecho con el fin de explicar las diferencias que existe entre grupos conocidos se utiliza el análisis factorial (Claude Roudot 2004). Para efectos de esta investigación el perfil de textura se usa análisis factorial multinivel mientras que para el perfil de color se evalúa con factor categórico individual.

2.3. Definición de Términos Básicos

Cohesividad: extensión a la que un material puede ser deformado antes de que se rompa (Szczesniak 2002).

Dureza: conocida también como firmeza, es la fuerza máxima requerida para comprimir un producto en la primera mordida (Szczesniak 2002).

Elasticidad: llamada también esponjosidad, es la capacidad de un material para volver a su forma original después de haber sido deformado por una fuerza externa (Sahin y Gülün Sumnu 2006).

Masticabilidad: Fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado total que permita su ingesta (Szczesniak 2002).

Pan semita: Conocido también como pan mestizo; pan con la forma de un cuarto de círculo (cuadrante) elaborado con la mezcla de harina de trigo y harinas sucedáneas.

Perfil de textura: Método descriptivo que contempla todas las características que describen al producto en relación con la textura desde la primera mordida hasta la deglución (Claude Roudot 2004).

Texturómetro: Instrumento de laboratorio que se utiliza para analizar la textura de los alimentos, midiendo gran variedad de parámetros físicos (RAINING s. f.).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Lugar de Ejecución de la Investigación

Las muestras de pan semita fueron producidas por la panadería Milán de Industrias de Alimentos Milán E.I.R.L. en Barrio Aranjuez, Cajamarca. Los análisis físicos se realizaron en el laboratorio de bioingeniería y fermentaciones industriales de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2. Diseño Experimental

Para el análisis de perfil de textura del pan semita con diferentes niveles de harina de maíz amarillo se diseñó una factorial multinivel en el que se tiene como variables independientes al porcentaje de harina de maíz amarillo (testigo 0%, 5%, 10%, 20% y 25%), condición de envasado (testigo- sin envase, bolsa de papel karft, bolsa cristal PEBD a temperatura ambiente y bolsa cristal a -18°C) y el tiempo (día 0, día 1, día 2, día 3 y día 4); mientras que, las variables dependientes son el perfil de textura (dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad) como lo muestra la tabla 3 con un diseño factorial multinivel que consistió de 400 corridas en 4 bloques el que aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

Para el análisis de color de las piezas de pan semita con diferentes niveles de harina de maíz amarillo se diseñó un factor categórico individual teniendo como variables independientes al porcentaje de harina de maíz amarillo (testigo 0%, 5%, 10%, 20% y 25%) y variables dependientes al espacio de color $L^*a^*b^*$ de la corteza y la miga tal como se evidencia en la tabla 4 en el que el orden de los experimentos ha sido completamente aleatorizado que aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

Tabla 3. Diseño de la investigación para el perfil de textura

Clase de diseño: Factorial multinivel					
Factores experimentales			3		
Bloques			4		
Respuestas:			5		
Corridas:			400		
Grados de libertad para el error:			387		
Aleatorizar			Sí		
Descripción de factores					
Factores	Bajo	Alto	Niveles		
% Harina de maíz amarillo	0.0	4.0	5		
Condición de envase	0.0	3.0	4		
Tiempo en días	0.0	4.0	5		
% Harina de maíz		Condición de envase		Tiempo	
0	0%	0	Sin envase	0	Día 0
1	5%	1	Papel Kraft	1	Día 1
2	10%	2	PEBD	2	Día 2
3	20%	3	PEBD a - 18°C	3	Día 3
4	25%			4	Día 4
VARIABLES DE RESPUESTA					
Dureza (g)	Cohesividad	Elasticidad (cm)		Masticabilidad (J)	

Tabla 4. diseño de la investigación para el perfil de color

Clase de diseño: Factor categórico individual	
Factores experimentales	1
Bloques	1
Respuestas:	6
Corridas:	20
Grados de libertad para el error:	15
Aleatorizar	Sí

Descripción de factores	
Factores	Niveles
% Harina de maíz amarillo duro	5

VARIABLES DE RESPUESTA	
L*-Corteza	L*-Miga
a*-Corteza	a*-Miga
b*-Corteza	b*-Miga

3.3. Elaboración y Evaluación Física del Pan

3.3.1. Materia prima e insumos

Para la elaboración de las piezas de pan semita se hizo uso de:

- Harina de trigo de la marca NICOLINI extra selecta lote N°111 00878.
- Harina integral proveniente de la provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca.
- Harina de maíz amarillo: obtenido a través de la molienda de los granos de maíz amarillo provenientes del Valle Jequetepeque – La libertad
- Manteca para panificación de la marca Margarita – Premium, lote M-037-3.
- Azúcar rubia de la marca POMALCA lote 02020919
- Sal de mesa de la marca SAL MARINA lote LN12204191.
- Levadura fresca de la marca FLEISCHMANN lote 19 268 201

Agua potable.

3.3.2. Equipos y materiales

Para la elaboración de pan semita:

- Horno artesanal (horno de ladrillo en el que se usa como combustible leña),
- Batidora marca Grondoy ®,
- Balanza Clever ACS-B kg/5g,
- Balanza gramera Professional Digital Table Topscale 2000g/0.1g,
- Mesas,
- Espátula,
- palote,
- cortador,
- latas
- jarra medidora.

Para envasado y almacenado de las piezas de pan:

- Envase 1: Bandejas,
- Envase 2: bolsa de papel Kraft de 50g/m².
- Envase 3: bolsa cristal de PEBD de 1 micra (delgado)
- Refrigeradora.

Para el análisis físico de las piezas de pan semita:

- CT3 Texture Analyzer de la marca Brookfield Ametek, empleando el software TexturePro.
- Colorímetro Z300.

3.3.3. Elaboración de Muestras de Pan Semita

Con fines de la investigación se formularon 5 muestras de pan semita tal como se planteó en el diseño experimental, teniendo como muestra patrón o testigo a la fórmula 0; quedando la fórmula 1 con sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo al 5%, la fórmula 2 con sustitución de 10%, la fórmula 3 con 20% de sustitución y finalmente la fórmula 4 con 25% de sustitución. En la tabla 5 podemos observar que se emplearon 3 tipos de harina, harina de trigo, harina de maíz amarillo y harina integral, esta última constante, así como todos los demás insumos empleados. La tabla 5 presenta una fórmula panadera, es un cálculo matemático para determinar la cantidad de ingredientes necesarios para producir una determinada cantidad de pan. En la fórmula, la

cantidad de harina se considera 100% y los demás ingredientes se miden con relación a esta.

Tabla 5. Formulación de pan semita con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro

Materia prima	formula panadera	Muestra 0 testigo (Kg)	Muestra 1 (Kg)	Muestra 2 (Kg)	Muestra 3 (Kg)	Muestra 4 (Kg)
Harina de trigo	100%	4.800	4.500	4.200	3.600	3.300
Harina integral		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Harina de maíz		0.000	0.300	0.600	1.200	1.500
Agua	55%	3.300	3.300	3.300	3.300	3.300
Manteca	12.5%	0.750	0.750	0.75	0.750	0.75
Azúcar	4%	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
Sal	1.8%	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108
Levadura	1.5 %	0.090	0.090	0.090	0.090	0.090

Fuente: Adaptada de Chávez Marín 2019.

Previo a la elaboración del pan semita se pesó y mezcló los 3 tipos de harina (trigo, maíz amarillo e integral) como fue planteado en el diseño base; en la Figura 5 se evidencia el pesado y la apariencia de los tres tipos de harina.

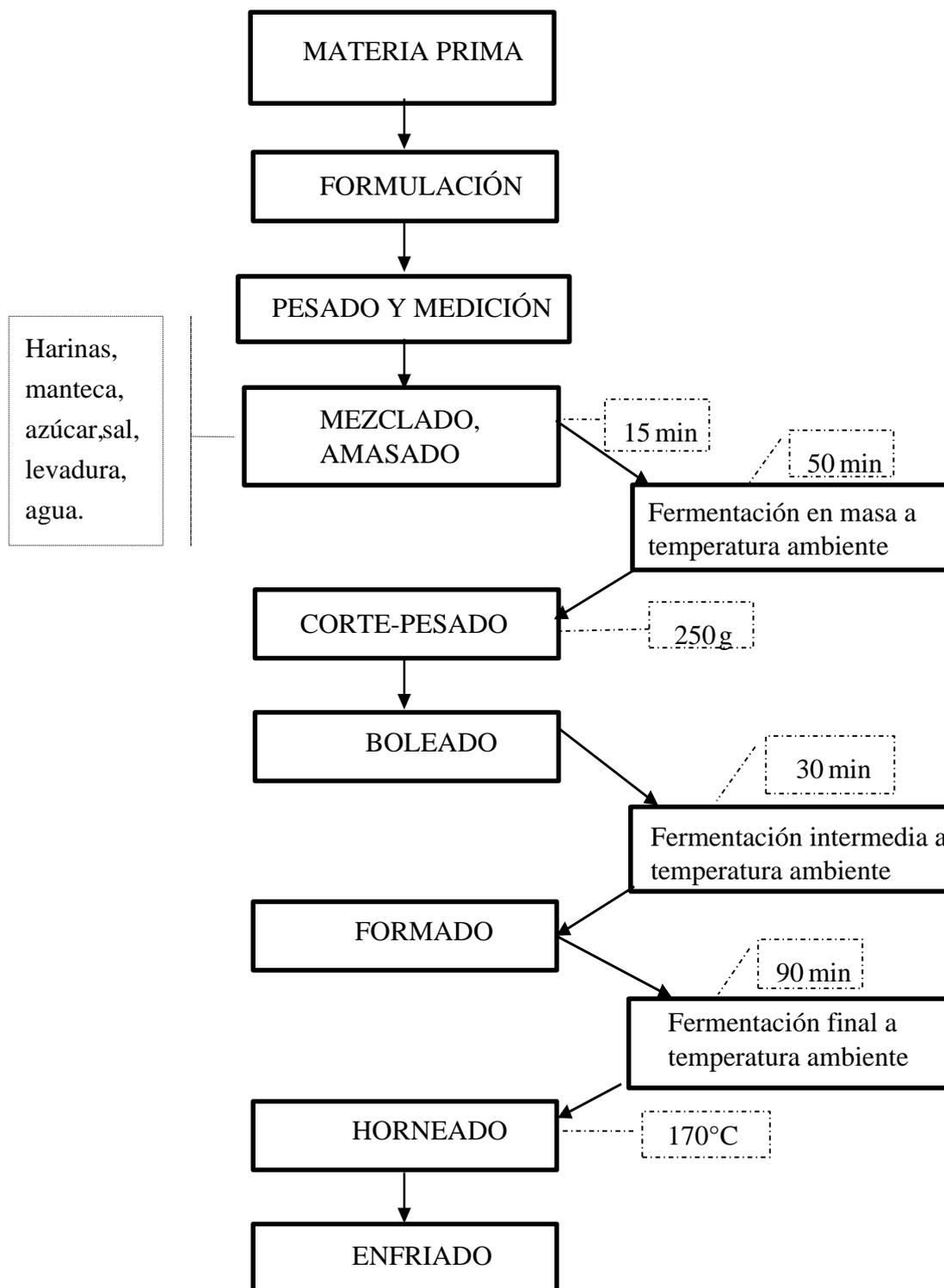
Figura 5. Tres tipos de harina usado en la elaboración de pan semita



El proceso de elaboración del pan semita fue realizado mediante el método directo, por el cual una vez pesados los ingredientes se combinan en la batidora hasta que los ingredientes queden homogéneos, percibiéndose elasticidad adecuada de la masa. La figura 6 muestra el diagrama de flujo para la elaboración de pan semita con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz amarillo en ella se muestra las operaciones unitarias de formulación (Tabla 4).

- Pesado y medición,
- Amasado, la materia prima e insumos fueron colocados en la batidora industrial y amasado a 160 r.p.m. durante 12 minutos,
- Fermentación en masa, las condiciones de fermentación se dieron a temperatura ambiente durante 50 minutos. (la fermentación en masa inicia al finalizar el amasado),
- Corte y pesado, la masa fue dividida en trozos de 250 gramos,
- Boleado, a cada trozo de masa de 250 gramos se le dio forma de una esfera a lo que llamamos boleado de la masa, con esta operación se busca crear una membrana que evite que se escapen los gases que se generan en la fermentación,
- Fermentación intermedia, las piezas de pan se dejaron fermentar a temperatura ambiente por 30 minutos,
- Formado, el formado de pan semita se logra laminando la masa y cortándola en 4 partes como se muestra en el anexo 1.
- Fermentación final, las piezas se fermentan a temperatura ambiente por 90 minutos.
- Horneado, Las piezas de pan fueron hornadas a 170°C por 15 minutos. El horneado es un punto crítico en todo proceso de panificación puesto que en él se reduce la carga microbiana del producto. De esta operación depende el color del pan, por la reacción no enzimática (reacción de Maillard).
- Enfriado, los panes se enfriaron y fueron trasladados al laboratorio de bioingeniería y fermentaciones industriales de la UNC.
- Envasado, algunas piezas de pan fueron envasadas en bolsa de papel kratf y otras en bolsa de PEBD.

Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de pan semita con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz.



Fuente: Adaptado de Sánchez Ortega 2001.

3.3.4. Envasado y almacén de las muestras

Las muestras trasladadas al laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales fueron rotuladas y almacenadas de acuerdo con el diseño base de la investigación para su posterior análisis. Esto se dio de la siguiente manera:

- Sin envase: almacenadas en bandejas sin tapa a temperatura ambiente (Anexo 3).
- Papel kraft: las muestras fueron envasadas en papel kraft modelo K-4 con medidas de 12,7 cm de ancho; 24,6 cm de alto y 7,6 cm de fuelle con gramaje del papel 50 gramos por m², rotuladas y selladas (anexo 4).
- PEBD: las muestras fueron envasadas en bolsa cristal de PEBD modelo B-30, medida 20 cm de ancho y 30 cm de alto (8 pulgadas de ancho y 12 pulgadas de alto), plástico de 1 micra, color transparente traslúcido; Rotulada y almacenada a temperatura ambiente (Anexo 5).
- PEBD a -18 °C: cada muestra de pan semita fue envasada en bolsa cristal de PEBD modelo B-30, medida 20 cm de ancho y 30 cm de alto (8 pulgadas de ancho y 12 pulgadas de alto), plástico de 1 micra, color transparente traslúcido; rotulada y almacenada en la refrigeradora del laboratorio de la UNC (Anexo 6).

3.3.5. Métodos de análisis

3.3.5.1. Análisis del perfil de textura.

La Asociación Americana de Químicos Cerealistas (AACC) es una organización que establece estándares y métodos de prueba para evaluar la calidad y características de los productos de cereales, incluyendo la textura. El "método AACC 36" es utilizado para evaluar la textura de productos de panadería y cereales. Estos métodos de prueba utilizan técnicas instrumentales o sensoriales para medir propiedades como la dureza, elasticidad, suavidad y masticabilidad, entre otros. Estos análisis proporcionan datos objetivos y cuantitativos sobre la textura de los alimentos y su relación con la calidad y aceptabilidad del producto final (AACC NET s. f.).

Para el análisis de perfil de textura del pan semita se empleó el texturómetro CT3Texture Analyzer empleando el software TexturePro CT. Se utilizó la celda de carga de 25 kg con la sonda TA4/1000 y el elemento TA-AACC36 la velocidad de tes de 1 mm/s, 2 ciclos y la compresión de 5 mm. Los parámetros obtenidos son dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad, así como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Método de Test para el Análisis de Textura

<u>Descripción Muestra</u>		<u>Dimensiones</u>	
Nombre Producto:	Semita	Forma:	Bloque
Nombre de lote:	M0D2AMB2	Longitud:	8 cm
Ejemplo:	1	Anchura:	8 cm
		Altura:	2 cm
<u>Método Test</u>			
Tipo de Test:	APT	Tiempo de recuperación:	0 s
Objetivo:	5.00	Mismo activador:	Exacto
Esperar t:	0 s	Velocidad Pretest:	2 mm/s
Carga Activación:	7 g	Fr. Muestreo:	10 points/sec
Velocidad de Test:	1.00 mm/s	Sonda:	TA4/1000
Velocidad Vuelta:	1.0 mm/s	Elemento:	TA-AACC36
Contador ciclos:	2.0	Celda Carga:	25000g

3.3.5.2. Análisis de perfil de color.

El día 0 se realizó un análisis al pan semita con diferentes niveles de harina de maíz amarillo utilizando un el Colorímetro Z300. Se midió el color de la corteza en el centro del pan y para medir el color de la miga se cortó el pan en dos partes y se registraron los datos del espacio de color $L^* a^* b^*$ (anexo 8).

3.3.6. Análisis estadístico para el perfil de textura

Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) comparando las 3 variables independientes (porcentaje de harina, condición de envasado y tiempo) con cada una de las variables dependientes (perfil de textura) en un diseño factorial multinivel; cada tratamiento con 4 repeticiones. Se empleó el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion. Con un nivel de confianza del 95%.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental, si el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media un nivel de porcentaje de harina de maíz amarillo y otro nivel, con un nivel del 95.0% de confianza.

3.3.6. Análisis estadístico para el perfil de color

Para el estudio del perfil de color se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) comparando la variable independiente (porcentaje de harina de maíz amarillo) con cada una de las variables dependientes (espacio de color L*a*b* de la corteza y la miga), cada tratamiento con 4 repeticiones. Se ha empleado el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion.

La tabla ANOVA descompone la varianza en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. si el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media entre un nivel de porcentaje de harina de maíz amarillo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

CAPÍTULO IV

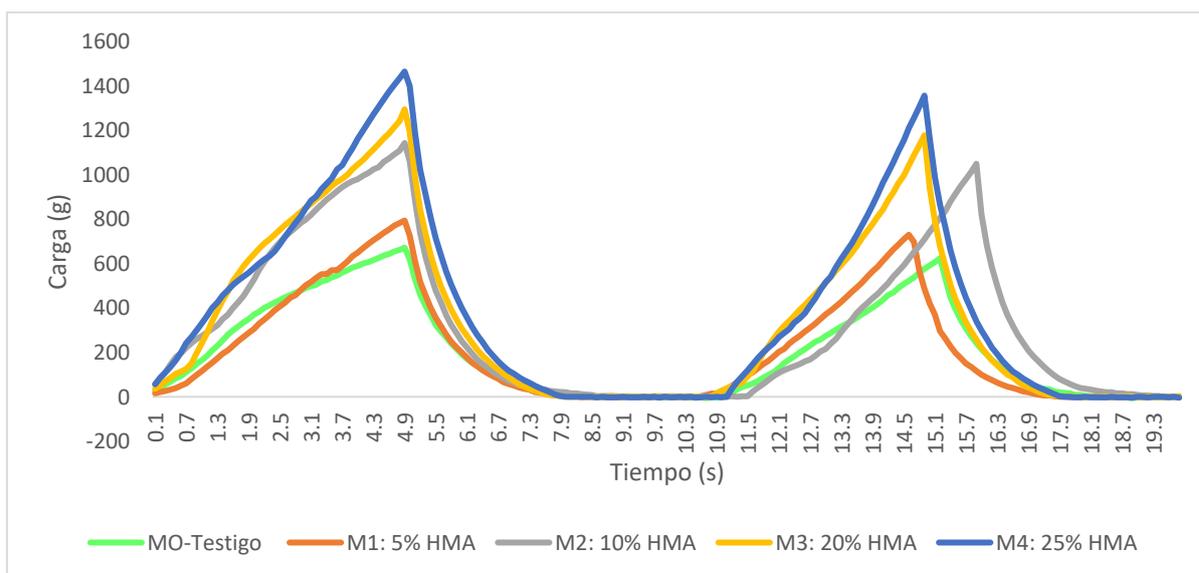
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados hallados en esta investigación son comparados con la muestra testigo (pan típico de Cajamarca que se elabora con la combinación harina de trigo refinada y harina de trigo integral, tiene la forma de un cuarto de círculo) su perfil de textura y color también han formado parte de esta investigación dando como resultado que el pan semita tiene un perfil de textura de dureza 677.5, cohesividad 0.665, elasticidad 0.4075 cm y masticabilidad 0.02J, un perfil de color de corteza de L*38.8425, a*15.395, b*22.1825 y un perfil de color de miga L*47.605 a* 4.795, b*18.02.

4.1. Análisis del Perfil de Textura del Pan semita

El análisis de perfil de textura (TPA) genera un gráfico de carga vs tiempo con el que se calcula y analiza los parámetros de dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad del pan semita con sus diferentes niveles de sustitución. En la figura 7 se observa las curvas de TPA de las 4 muestras de pan semita y la muestra testigo en el día 0 (2 horas después de su producción).

Figura 7. Curva de análisis de perfil de textura (TPA) día 0



Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro.

*Los resultados promedios de la dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad obtenido en el Texturómetro se muestran en el anexo 27,28,29, 30 y 31; los gráficos de la carga de compresión vs tiempo se muestran en el anexo 11 hasta el anexo 26.

4.1.1. Análisis de Dureza (Firmeza)

La dureza o firmeza del pan se refiere a la fuerza necesaria para comprimir el pan en la primera mordida. Es una medida de resistencia que indica cuán duro o firme es el pan en términos de la fuerza requerida para romper o deformar su estructura (Szczesniak 2002). La unidad de medida para efectos de este estudio es el gramo (g), esta unidad cuantifica la fuerza aplicada para comprimir el pan y se ha medido mediante el texturómetro.

La dureza del pan puede variar según diversos factores, como la receta, el método de elaboración, el contenido de agua, los ingredientes utilizados y las condiciones de almacenamiento. Una mayor dureza indica que se requiere una mayor fuerza para comprimir el pan, mientras que una menor dureza indica que el pan es más suave y se comprime fácilmente.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la dureza del pan semita en la Tabla 7 indica que hay una significativa alteración en la dureza del pan debido al uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo duro en su producción. El valor-P obtenido es inferior a 0.05, lo cual indica que existe una diferencia estadísticamente significativa en la dureza del pan entre las muestras con distintos niveles de harina de maíz amarillo duro.

Además, el análisis también revela que tanto la condición de envasado como el tiempo tienen un impacto significativo en la dureza del pan semita. Esto implica que el tipo de envase utilizado y el período de tiempo de almacenamiento afectan de manera significativa la dureza del pan. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tanto los ingredientes utilizados en la producción del pan como las condiciones de envasado y almacenamiento para obtener el nivel deseado de dureza.

Cabe mencionar que se ha utilizado un nivel de confianza del 95% en este análisis, lo que significa que se tiene un alto grado de certeza en los resultados obtenidos.

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para dureza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo (Dias)	1.33343	1	1.33343E9	763.73	0.0000
B: Condición de envasado	2.01637	1	2.01637E9	1154.89	0.0000
C: %HMA	2.01098	1	2.01098E8	115.18	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1.5196	1	1.5196	870.36	0.0000
AC	5.99618	1	5.99618	34.34	0.0000
BC	1.20769	1	1.20769	69.17	0.0000
Error total	6.80918	390	1.74594		
Total (corr.)	6.12553	399			

R-cuadrada = 88.8839 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 88.6274%

%HMA= porcentaje de harina de maíz amarillo duro.

La prueba de múltiples rangos para la dureza (95% Tukey HSD) en la tabla 8 muestra la dureza del pan semita en el día cero (2 horas después de su producción), en ella se evidencia que el uso del 5% de harina de maíz amarillo duro no afecta la dureza del pan pero, al sustituir el 10% se observa un aumento significativo de la dureza con un valor adicional de 465.5 g, utilizar el 20% de harina de maíz amarillo duro resulta en un incremento de 618 g de dureza, al usar 25% de harina de maíz amarillo duro se observa un aumento de 787.5 g de dureza; datos similares reportaron Hernández-Aguilar et al. (2022) quienes sustituyeron 10% de harina de trigo por harina de maíz de diferentes tipos, mostraron que los elaborados con maíz amarillo y maíz amarillo naranja han incrementado su dureza (su muestra testigo presenta 7.64N mientras que la muestra con maíz amarillo presenta 12.8N de dureza).

La dureza del pan está estrechamente relacionada con el contenido de gluten al contacto con el agua forman una red que atrapa los granos de almidón, absorbe cerca del doble de su peso en agua, retienen el gas durante la fermentación” (Edel León y Rosell 2007), la harina de maíz amarillo duro no contiene gluten por lo que su uso en la producción de pan tiene como efecto reducir la capacidad de retención de gases y con ello el tamaño de los alveolos del pan dando como resultado incremento significativo en la dureza del pan. Otros estudios también han demostrado que el uso de harinas sucedáneas sin gluten afecta la dureza del pan, como lo demuestra Vásquez et al. (2016) que encontró

que a medida que la sustitución de harina de trigo por harina de sorgo aumenta, la dureza del pan incrementa considerablemente.

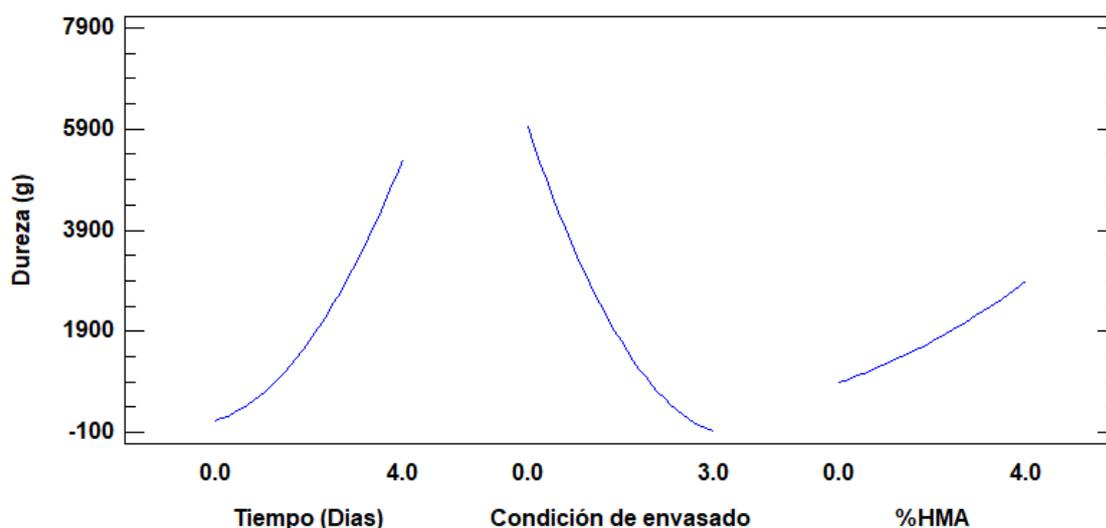
Tabla 8. Prueba de múltiples rangos para la dureza día 0 (95% Tukey HSD)

Nivel de %HMA	Casos	Media de dureza(g)	Grupos Homogéneos
M0 (0%HMA)	4	677.5	A
M1 (5%HMA)	4	794.5	A
M2 (10%HMA)	4	1143.0	B
M3 (20%HMA)	4	1295.5	B
M4 (25%HMA)	4	1465.0	C

Nota: El %HMA observado en la tabla indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo.

La curva de efectos principales para la dureza (figura 8) muestra el efecto de las 3 variables independientes sobre la dureza del pan semita en ella se ratifica que el uso de harina de maíz amarillo duro contribuye al incremento de la dureza del pan sin embargo es la condición de envasado y el tiempo que tiene mayor influencia sobre la dureza, ya que el pan semita almacenado sin envase presenta una mayor dureza que el pan almacenado en bolsa PEBD, esto sugiere que el envase protege el pan de los efectos del aire y la humedad, evitando que se vuelva demasiado seco o duro. En resumen, la figura 8 muestra que el porcentaje de sustitución, el envasado y el tiempo son factores que afectan la dureza del pan, y que es importante considerar todas estas variables para optimizar y garantizar la conservación del perfil de textura y la calidad del pan.

Figura 8. Curva de efectos principales para la dureza



Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro.

La malla de superficie de respuesta estimada para la dureza (figura 9) brinda una visualización detallada de cómo las tres variables independientes interactúan y el efecto que tienen sobre la dureza del pan; se observa que la dureza del pan almacenado sin envase y los envasados en papel Kraft se incrementado en comparación con aquellos almacenados en bolsa PEBD esto, se debe a que la ausencia de envase permite la liberación de vapor y la oxidación del pan, lo que acelera el proceso de envejecimiento y endurecimiento.

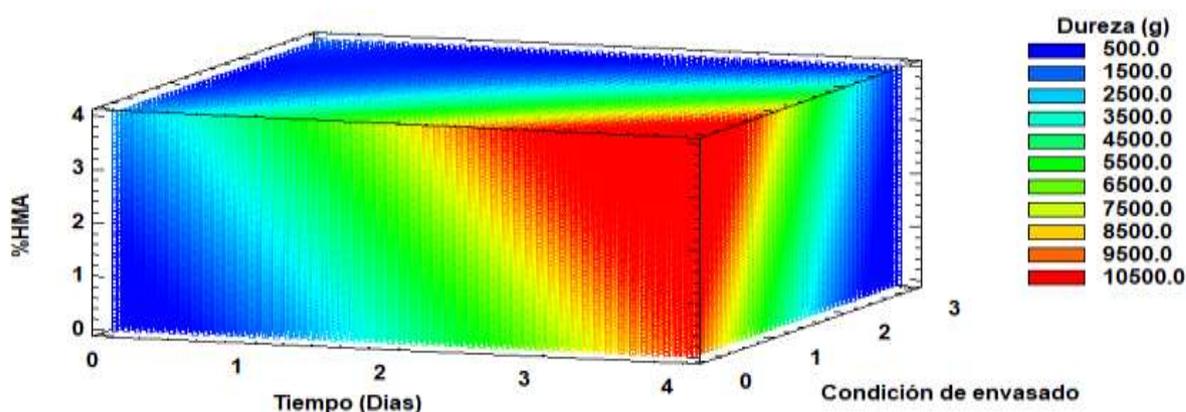
Lallemand (1996), afirma “que durante el horneado, los gránulos de almidón se hinchan y las cadenas lineales se difunden fuera del granulo, las cadenas ramificadas del almidón permanecen dentro del granulo durante el horneado y se van juntando lentamente durante el almacenamiento y hacen que la miga se vaya haciendo más firme con el tiempo, este fenómeno es conocido como retrogradación del almidón” por ello se observa que el envejecimiento del pan sigue su curso normal con el paso de los días, tanto cuando se almacenan sin envase como cuando se almacenan en papel Kraft, esto sugiere que el envasado del pan semita en papel no impide completamente la retrogradación del almidón y el envejecimiento del pan.

Según los resultados de la figura 9, podemos decir que el porcentaje de harina de maíz amarillo duro tiene un efecto limitado en el endurecimiento del pan durante el

almacenamiento, mientras que la condición de envasado y el tiempo tienen una mayor influencia en el incremento de dureza del pan.

Al envasar el pan semita en PEBD tanto a temperatura ambiente como a -18°C se mantiene la humedad y evitar la retrogradación del almidón, lo que a su vez evita el incremento de dureza del pan, esto sugiere que el envasado en PEBD es una forma efectiva de preservar la dureza del pan, y puede ser una herramienta útil para mantener la calidad y frescura del pan durante un período de tiempo prolongado.

Figura 9. Malla de superficie de respuesta estimada para la dureza



% Harina de maíz amarillo (HMA)		Condición de envasado		Tiempo	
0	0%	0	Sin envase	0	Día 0
1	5%	1	Papel Kraft	1	Día 1
2	10%	2	PEBD	2	Día 2
3	20%	3	PEBD a -18°C	3	Día 3
4	25%			4	Día 4

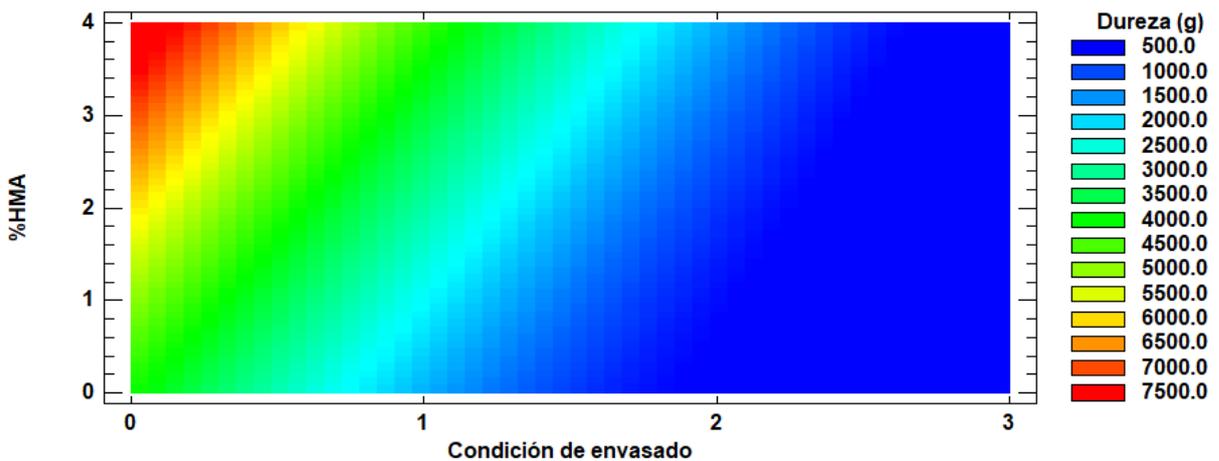
En el contorno de superficie de respuesta estimada del día 2 para la dureza de las piezas de pan semita (Figura 10), se puede observar que todas las muestras de pan, independientemente del nivel de harina de maíz amarillo duro, han conservado su dureza tanto a temperatura ambiente como a -18°C cuando se almacenan en envases de polietileno de baja densidad (PEBD). Además, se aprecia que la dureza de todas las muestras se mantiene dentro de un rango óptimo y aceptable para el consumidor, que oscila entre 500 g y 2100 g.

Estos resultados indican que el uso de envases de PEBD y el almacenamiento a temperatura ambiente o a -18°C han sido efectivos para preservar la dureza deseada en el pan semita, sin importar la cantidad de harina de maíz amarillo duro utilizada. Mantener una dureza dentro de este rango aceptable es importante para garantizar la calidad y la experiencia del consumidor al consumir el pan.

La Figura 10 ilustra un cambio significativo en la dureza de las piezas de pan envasadas en papel kraft por ejemplo, el pan semita M1, que contiene un 5% de harina de maíz amarillo duro, presentaba una dureza de 675 g en el día 0, pero aumentó a 2500 g en el día 2. De manera similar, el pan semita M2, con un 10% de harina de maíz amarillo duro, tenía una dureza de 1114 g en el día 0 y alcanzó los 2400 g en el día 2. Por otro lado, la muestra M3 tenía una dureza de 1295.5 g en el día 0, pero en el día 2 alcanzó los 3600 g. Finalmente, la muestra M4 tenía una dureza de 1465 g en el día 0, y en el día 2 llegó hasta los 5000 g. Estos resultados muestran el aumento significativo de la dureza en todas las muestras de pan envasadas en papel kraft, a medida que pasa el tiempo de almacenamiento indicando así que el papel kraft no es un envase adecuado para conservar pan semita por más de 1 día.

La Figura 10 también muestra que la ausencia de envases tiene un impacto negativo en la dureza del pan, lo que resulta en un aumento significativo de la misma. Los datos reportados en el día 2 indican que la dureza del pan sin envase varía desde 4000 g hasta 75000 g. Estos valores demuestran que la falta de un envase adecuado para proteger el pan conduce a un incremento considerable en la dureza, lo cual puede afectar negativamente la calidad y la textura del producto. Es importante resaltar la importancia de utilizar un envase adecuado para mantener la frescura y la consistencia del pan durante su almacenamiento.

Figura 10. Contorno de superficie de respuesta estimada para la dureza día 2



Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo.

4.1.2. Análisis de Cohesividad

La cohesividad del pan se refiere al grado en que el pan puede comprimirse entre los dientes antes de desintegrarse o romperse bajo una fuerza aplicada. Es una medida de la capacidad del pan para mantener su estructura interna y coherencia cuando se somete a una presión o masticación (Szczesniak 2002). Un pan con alta cohesividad será capaz de resistir más la fuerza y mantener su forma, mientras que un pan con baja cohesividad se desintegrará más fácilmente. Esta propiedad es importante para la textura y la experiencia de comer pan, ya que una cohesividad adecuada permite una masticación satisfactoria y una sensación agradable en la boca (Martínez Jiménez et al. 2015).

El análisis de varianza (ANOVA) para la cohesividad del pan semita en la Tabla 9 muestra que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo duro en su producción tiene un impacto significativo en la cohesividad del pan. El valor-P obtenido es inferior a 0.05, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa en la cohesividad del pan entre las muestras con distintos niveles de harina de maíz amarillo duro. El análisis también revela que tanto el envasado como el tiempo tienen un efecto significativo en la cohesividad del pan semita. Esto implica que el tipo de envase utilizado y el período de tiempo de almacenamiento también afectan de manera significativa la cohesividad del pan.

Estos resultados indican que el nivel de harina de maíz amarillo duro utilizada en la producción del pan como las condiciones de envasado y almacenamiento desempeñan un papel importante en la cohesividad del pan semita. Al considerar estos factores, se puede controlar y ajustar la cohesividad del pan para satisfacer los estándares deseados en términos de textura y calidad del pan semita.

Es importante destacar que se ha utilizado un nivel de confianza del 95% en este análisis, lo que brinda un alto grado de certeza en los resultados obtenidos.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de Cohesividad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: % H. Maíz	0.28918	1	0.28918	32.30	0.0000
B: condición de envasado	7.14012	1	7.14012	797.56	0.0000
C: Tiempo	2.51216	1	2.51216	280.61	0.0000
AB	0.0446892	1	0.0446892	4.99	0.0260
AC	0.068644	1	0.068644	7.67	0.0059
BC	2.84889	1	2.84889	318.22	0.0000
Error total	3.49148	390	0.00895251		
Total (corr.)	16.527	399			

R-cuadrada = 78.395 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 77.725 por ciento

La prueba de múltiples rangos para la cohesividad (95% Tukey HSD) en la tabla 10 muestra la cohesividad del pan semita en el día cero (2 horas después de su producción), en ella se evidencia que el uso de hasta 10% de harina de maíz amarillo duro no afecta la cohesividad del pan semita pero, el uso de 20% de harina de maíz amarillo duro genera una pérdida significativa de la cohesividad de 0.115, el uso del 25% de harina de maíz amarillo duro resulta en disminución de 0.12 de cohesividad, estos resultados sugieren que el uso de harina de maíz amarillo duro en la producción del pan semita tiene un impacto negativo en la capacidad del pan para mantener su estructura interna y su cohesión, esto se debe a que la harina de maíz amarillo duro no contiene gluten y su uso genera una combinación de harinas con menor porcentaje de gluten, teniendo como consecuencia piezas de pan que se desmorona con mayor facilidad (semejante a la consistencia de un bizcochuelo o queque).

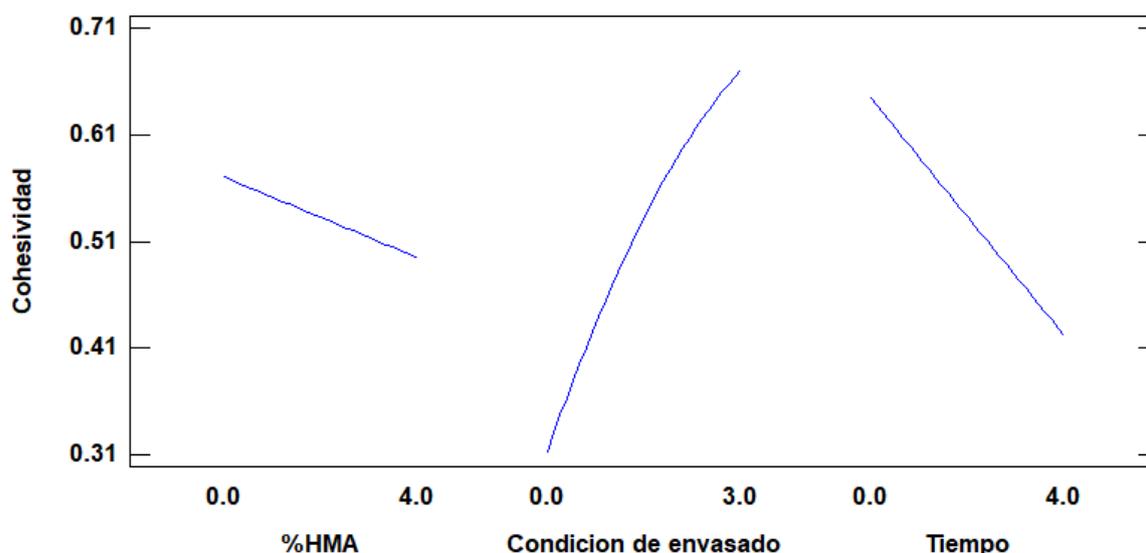
Tabla 10. Prueba de múltiples rangos para cohesividad (95% Tukey HSD)

Nivel de %HMA	Casos	Media de cohesividad	Grupos Homogéneos	
M0 (0%HMA)	4	0.665	A	
M1 (5%HMA)	4	0.6275	A	B
M2 (10%HMA)	4	0.59	A	B
M3 (20%HMA)	4	0.55		B
M4 (25%HMA)	4	0.545		B

% HMA: porcentaje de harina de maíz amarillo

La curva de efectos principales para la cohesividad (figura 11) muestra el efecto de las 3 variables independientes sobre la del pan semita en ella se ratifica que el uso de harina de maíz amarillo duro contribuye a la pérdida de cohesividad del pan sin embargo es la condición de envasado y el tiempo que tiene mayor influencia.

Figura 11. Curva de efectos principales para la cohesividad



Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro

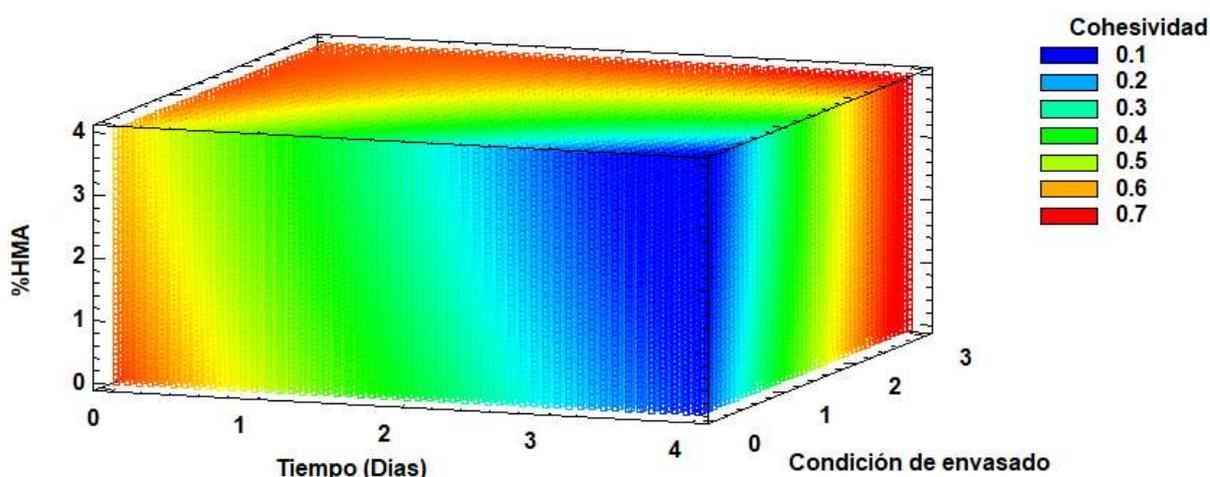
La malla de superficie de respuesta estimada para la cohesividad (figura 12) brinda una visualización detallada de cómo las tres variables independientes interactúan y el efecto que tienen sobre la cohesividad del pan semita en ella se muestra claramente que el pan almacenado sin envase y los almacenados en papel karf experimentan una pérdida progresiva de cohesividad a lo largo del tiempo. Los resultados indican que, en el día 0, el pan semita presenta una cohesividad que se encuentra en un rango de 0.65 a 0.5. a medida que pasa el tiempo, la cohesividad del pan continúa disminuyendo.

En el día 2, se observa una disminución adicional en la cohesividad, que se sitúa entre 0.24 y 0.22. Posteriormente, en los días 3 y 4, se registra la cohesividad más baja, oscilando entre 0.15 y 0.1. Es importante destacar que la pérdida de cohesividad del pan almacenado afecta negativamente su calidad. Por lo tanto, es recomendable utilizar un envase adecuado para preservar la cohesividad.

El pan semita envasado y almacenado en bolsa PEBD ya sea a temperatura ambiente o a -18°C muestran incremento en su cohesividad esto se debe a que en el día 0 de análisis la corteza del pan semita es crujiente sin embargo al pasar de los días la corteza se vuelve suave por la redistribución de agua en el pan causada por la retrogradación del almidón ya que en este proceso el agua ha migrado del almidón provocando así la suavidad de la miga y en consecuencia incremento de cohesividad.

Las muestras de pan envasadas en bolsas PEBD y almacenadas a temperatura y a -18°C muestran cohesividad en el día 1 de 0.67 a 0.70, en el día 2 de 0.6 a 0.7, en el día 3 de 0.51 a 0.63 mientras que en el día 4 de 0.63 a 0.6. Estos resultados indican que tanto el envasado en bolsas PEBD como el almacenamiento a temperatura ambiente y a -18°C pueden ayudar a mantener la cohesividad del pan semita en un rango aceptable durante los primeros días de almacenamiento.

Figura 12. Malla de superficie de respuesta estimada para la cohesividad

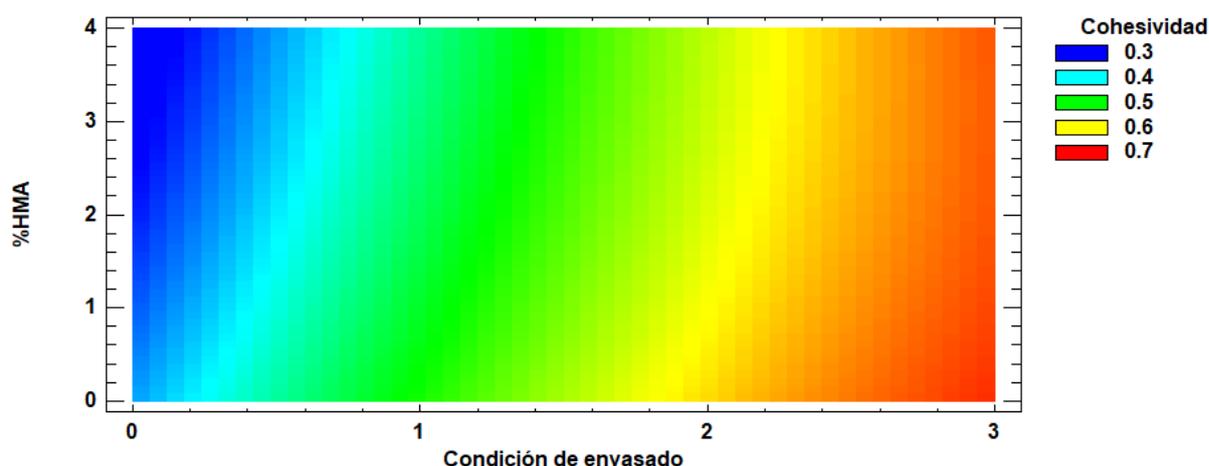


% Harina de maíz amarillo (HMA)		Condición de envase		Tiempo	
0	0%	0	Sin envase	0	Día 0
1	5%	1	Kraft	1	Día 1
2	10%	2	PEBD	2	Día 2
3	20%	3	PEBD a - 18°C	3	Día 3
4	25%			4	Día 4

En el contorno de superficie de respuesta estimada del día 2 para la cohesividad de las piezas de pan semita (Figura 13), se puede observar que todas las muestras de pan, independientemente del nivel de harina de maíz amarillo duro, han conservado su cohesividad tanto a temperatura ambiente como a -18°C cuando se almacenan en envases de polietileno de baja densidad (PEBD). Estos resultados indican que el uso de envases de PEBD y el almacenamiento a temperatura ambiente o a -18°C han sido efectivos para preservar la cohesividad deseada en el pan semita, sin importar la cantidad de harina de maíz amarillo duro utilizada.

La figura 13 evidencia que en un día determinado el pan envasado en bolsa de papel muestra una cohesividad significativamente diferente al pan envasado en bolsa PEBD. Esto se debe a que la bolsa de papel Kraft no es un material adecuado para almacenar el pan ya que no mantiene una humedad adecuada para evitar la retrogradación del almidón y la redistribución del agua en el pan, lo que provoca una disminución en la cohesividad.

Figura 13. Contorno de superficie de respuesta de cohesividad para el día 2



La cohesividad mide la capacidad de una masa (en este caso, pan) de mantenerse unida después de ser masticada. La utilización parcial de harina de maíz amarillo en la elaboración del pan reduce su cohesividad, al igual que la incorporación de harina de arroz, según lo investigado por Reyes Aguilar et al. (2004). En su estudio, se encontró que un mayor porcentaje de harina de arroz resultó en una textura harinosa y una disminución en la cohesividad. Reemplazar el 25% de la harina de trigo por harina de maíz también produjo una masa ligeramente harinosa, lo que resultó en un pan de baja cohesividad, fácil de desmenuzarse.

4.1.3. Análisis de Elasticidad o Esponjosidad

La elasticidad del pan se refiere a la capacidad de volver a su forma original después de haber sido deformada, para efectos de este estudio la elasticidad se mide en cm, las muestras de pan semita con diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro han sido sometidas a una compresión de 0.5 cm tal como se planteó método de test para el perfil de textura.

El análisis de varianza (ANOVA) para la elasticidad en la tabla 11 muestra con un 95% de confianza que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo en la producción de pan semita altera significativamente la elasticidad del pan, ya que su valor-P es inferior a 0.05. Además, el envasado y el tiempo también producen cambios significativos en la elasticidad.

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para elasticidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: % H. Maíz	0.053138	1	0.053138	37.82	0.0000
B: condición de envasado	0.604824	1	0.604824	430.43	0.0000
C: Tiempo	0.502503	1	0.502503	357.61	0.0000
AB	0.0128881	1	0.0128881	9.17	0.0026
AC	0.005625	1	0.005625	4.00	0.0461
BC	0.424978	1	0.424978	302.44	0.0000
Error total	0.548017	390	0.00140517		
Total (corr.)	2.16939	399			

R-cuadrada = 74.7387%

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 74.1557%

La prueba de múltiples rangos para la elasticidad (95% Tukey HSD) en la tabla 12 muestra la elasticidad del pan semita en el día cero (2 horas después de su producción), en ella se evidencia que el uso del 5%, 10 y 20% de harina de maíz amarillo duro no tiene un efecto significativo en la elasticidad del pan. Esto significa que la adición de estos porcentajes de harina de maíz no causa una diferencia estadísticamente significativa en la capacidad del pan para recuperar su forma original después de la deformación que genera la primera mordida.

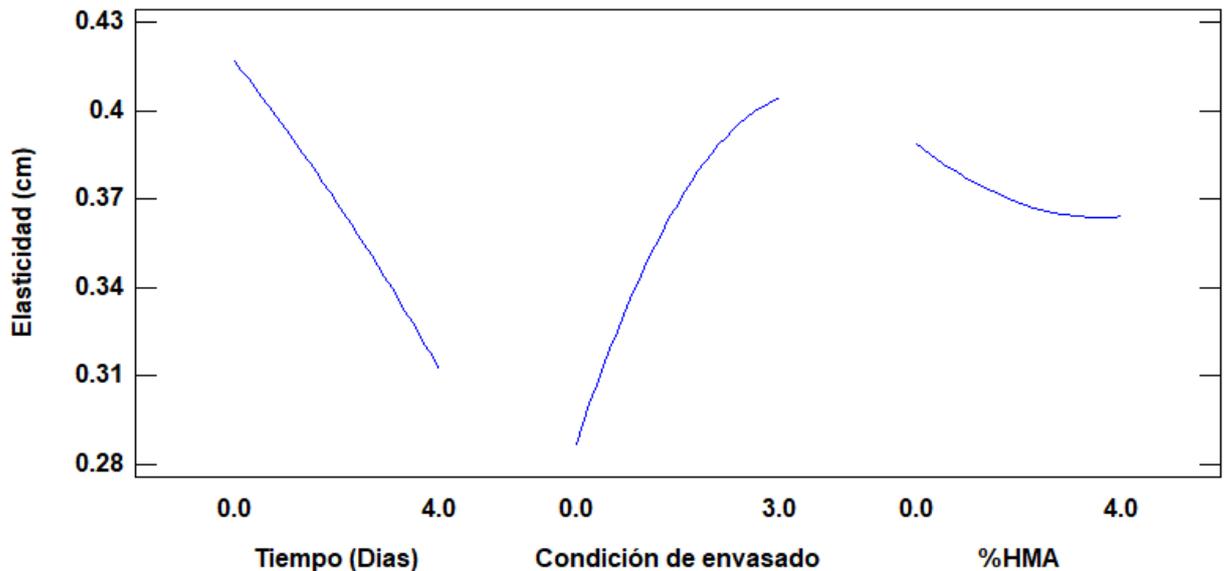
Sin embargo, se observa que el uso del 25% de harina de maíz amarillo duro sí tiene un impacto significativo en la elasticidad del pan semita ya que tiene elasticidad de 0.385cm. Esta cifra representa una disminución de 0.25 cm en comparación con la muestra testigo que tiene elasticidad de 0.407cm. Vásquez Lara et al. (2017) estudió la sustitución de hasta 10 % de harina de trigo por harina de maíz, y concluyó que los cambios en la elasticidad no fueron significativos, datos similares hemos encontrado en esta tesis y con esto afirmamos que el uso de hasta el 20% de harina de maíz amarillo duro en la producción de pan semita no genera cambios estadísticamente significativos en la elasticidad.

Tabla 12. Prueba de múltiples rangos para la elasticidad (95% Tukey HSD)

Nivel de %HMA	Casos	Media de elasticidad (cm)	Grupos Homogéneos	
M0 (0%HMA)	4	0.4075	A	
M1 (5%HMA)	4	0.405	A	B
M2 (10%HMA)	4	0.3975	A	B
M3 (20%HMA)	4	0.39	A	B
M4 (25%HMA)	4	0.385		B

La curva de efectos principales para la elasticidad (figura 14) muestra que cuando se incrementa el porcentaje de harina de maíz la elasticidad reduce; el envasado y el tiempo también influye en el cambio de elasticidad.

Figura 14. Curva de efectos principales para la elasticidad



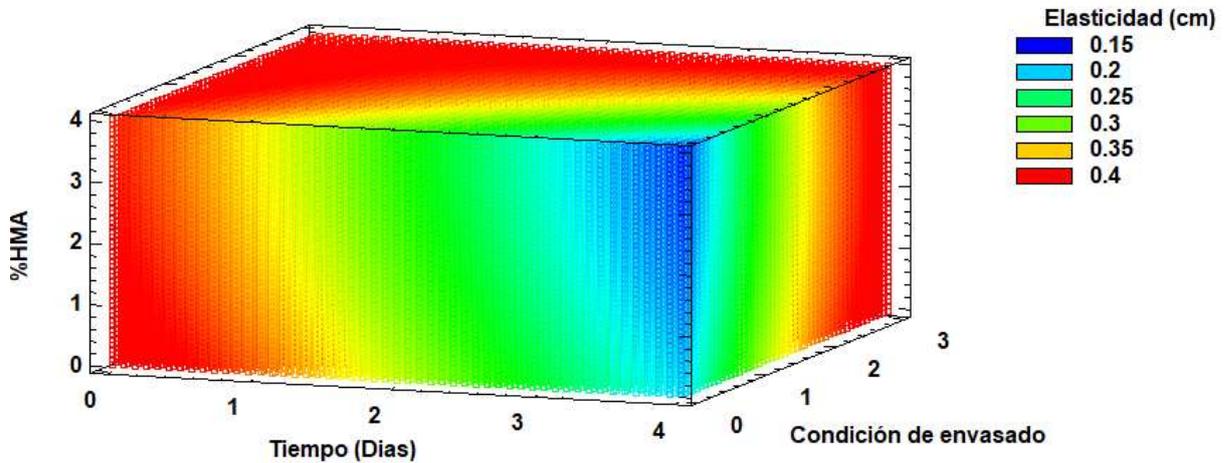
Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro

La figura 15 muestra la interacción de las tres variables independientes (%HMA, condición de envase y tiempo). Se puede ver que el envase de papel no previene la pérdida de elasticidad del pan semita ya que al día 4 llegan con elasticidad de 0.25 cm, pero reduce la magnitud de la pérdida en comparación con los panes almacenados sin envase puesto que tienen 0.15cm de elasticidad en el día 4.

El pan semita en sus diferentes niveles de harina de maíz amarillo duro envasado y almacenado en PEBD ya sea a temperatura ambiente o a -18°C conserva su elasticidad al pasar de los días con algunas variantes mínimas que no son estadísticamente

significativas. Las muestras se encuentran en un rango de elasticidad de 0.38cm a 0.41 cm de elasticidad.

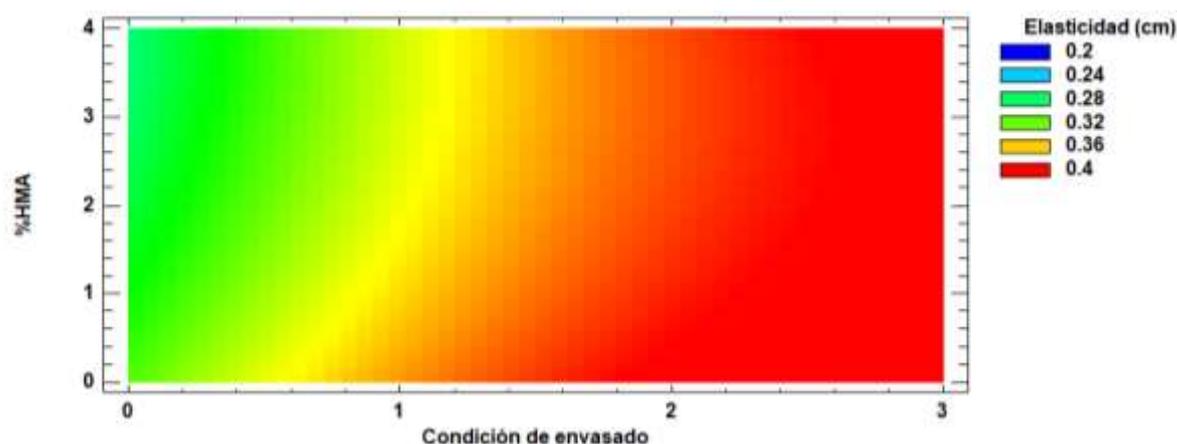
Figura 15. Malla de superficie de respuesta estimada para la elasticidad.



% Harina de maíz amarillo (HMA)		Condición de envase		Tiempo	
0	0%	0	Sin envase	0	Día 0
1	5%	1	Kraft	1	Día 1
2	10%	2	PEBD	2	Día 2
3	20%	3	PEBD a - 18°C	3	Día 3
4	25%			4	Día 4

En el contorno de superficie de respuesta estimada del día 2 para la elasticidad de las piezas de pan semita (Figura 16), se puede observar que todas las muestras de pan almacenadas en polietileno de baja densidad (PEBD), independientemente del nivel de harina de maíz amarillo duro, han conservado su dureza tanto si son almacenados a temperatura ambiente como a -18°C. Además, se aprecia que la elasticidad de todas las muestras tienen 0.4 cm de elasticidad.

Figura 16. Contornos de superficie de respuesta para la elasticidad en el día 2



4.1.4. Análisis de Masticabilidad

La masticabilidad se refiere a la energía que necesitamos para masticar el pan hasta un estado adecuado de deglución (Szczeniak 2002).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la masticabilidad (tabla 13), muestra con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita genera cambios significativos en la masticabilidad del pan, la condición de envasado y el tiempo también tienen efecto significativo sobre masticabilidad del pan, puesto que el valor P en las 3 condiciones son menor que 0.05.

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para masticabilidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: %HMA	0.0037845	1	0.0037845	43.38	0.0000
B: condición de envasado	0.029568	1	0.029568	338.96	0.0000
C: Tiempo	0.0006845	1	0.0006845	7.85	0.0053
AB	0.0003844	1	0.0003844	4.41	0.0364
AC	0.000841	1	0.000841	9.64	0.0020
BC	0.00625	1	0.00625	71.65	0.0000
Error total	0.0340206	390	0.0000872324		
Total (corr.)	0.0762798	399			

R-cuadrada = 55.4002%

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 54.371%

La tabla 14, evidencia que el uso de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita nos trae como efecto el incremento de masticabilidad, a mayor porcentaje de harina de maíz amarillo mayor será la masticabilidad.

La sustitución de hasta un 10% de harina de trigo por harina de maíz amarillo no afecta significativamente la masticabilidad del pan semita. mientras que la sustitución de 20% y 15% muestran 0.3025J y 0.375J respectivamente evidenciando un incremento significativo en la energía requerida para poder tragar un bocado de pan semita.

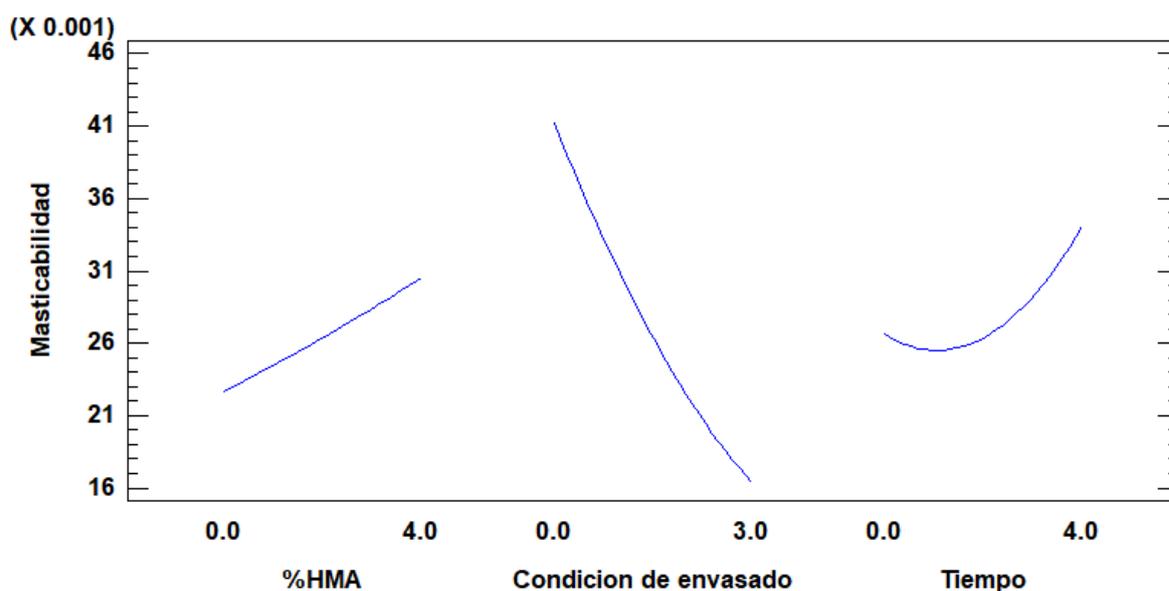
Tenemos entonces que al sustituir hasta el 10% de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro en la producción de pan semita la masticabilidad de las piezas pan no va a variar, pero el uso del 20% y 25% sí incrementan significativamente la masticabilidad. Datos similares reportó Moreno Rojo (2017) pues encontró que al sustituir harina de trigo por harina de cascara de mango al 13.5% muestra una masticabilidad de 30.71mJ, al sustituir harina de trigo por harina de maíz al 15% el pan molde mostró una masticabilidad de 36.19 mJ, mientras que su muestra patrón mostraba 16.3 mJ de masticabilidad; evidenciando así que el uso de harina de harinas que no contienen gluten tienen como efecto el incrementar la energía necesaria para tragar un bocado de pan

Tabla 14. Prueba de múltiples rangos de masticabilidad

Nivel de %HMA	Casos	Media de elasticidad cm	Grupos Homogéneos
M0 (0%HMA)	4	0.02	A
M1 (5%HMA)	4	0.02	A
M2 (10%HMA)	4	0.03	A
M3 (20%HMA)	4	0.0325	B
M4 (25%HMA)	4	0.0375	B

La curva de efectos principales para la masticabilidad (figura 23) muestra una gráfica par cada variable independiente (%HMA, condición de envasado y tiempo), se observa claramente que al incrementar el porcentaje de harina de maíz amarillo duro también se incrementa la masticabilidad del pan, la condición de envasado es el que tiene una mayor influencia sobre la masticabilidad del pan, el tiempo también influye en el incremento de masticabilidad, pero en menor medida.

Figura 17. Curva de efectos principales para la masticabilidad



Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro

En la figura 18 (malla de superficie de respuesta estimada para la masticabilidad) se puede visualizar las tres variables independientes (porcentaje de harina de maíz, condición de envasado y tiempo) y el efecto que tienen sobre la masticabilidad del pan. La variación de la masticabilidad del pan semita elaborado con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz en el transcurso de los días depende más de la condición de envasado.

Las piezas de pan semita tienden a incrementar la masticabilidad cuando son almacenadas sin envase presentando valores de 0.030J a 0.038J en el día 1, en el día 2 de 0.035 a 0.055J, día 3 en 0.038J a 0.060J, en el día 4 de 0.058J a 0.060J; se evidencia también que la bolsa de papel protege mínimamente ya que muestra una masticabilidad en el día 2 de 0.033J a 0.038J, día 2 0.033 a 0.038, día 3 de 0.038 a 0.043, día 4 de 0.045 a 0.053.

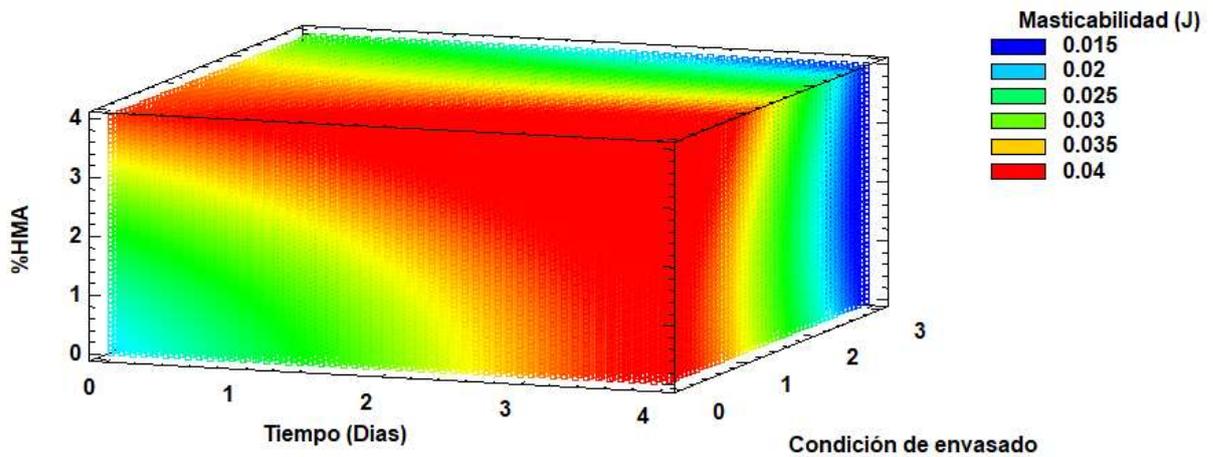
El pan semita elaborado con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz amarillo que es envasado en bolsa PEBD ya sea almacenado a temperatura ambiente como a -18°C conservan la masticabilidad hasta el día 4.

Al igual que en la dureza, el pan semita envasadas en PEBD y almacenadas tanto a temperatura ambiente como a -18°C ocurre un fenómeno, en el día 0 tenemos pan con

corteza crocante y miga blanda, pero en el día 1 a causa de la retrogradación del almidón el agua de la miga ha migrado a la corteza.

La malla de superficie de respuesta estimada para la masticabilidad es una evidencia del envejecimiento del pan; los cambios ocurren en la estructura del almidón; (Lallemand México, 2019) afirma que durante el horneado los gránulos de almidón se hinchan y las cadenas lineales se difunden fuera del granulo, las cadenas ramificadas del almidón permanecen dentro del granulo durante el horneado y se van juntando lentamente durante el almacenamiento y hacen que la miga se vaya haciendo más firme con el tiempo, este fenómeno es conocido como “retrogradación del almidón”; la firmeza está muy relacionada con la masticabilidad de las piezas de pan, porque la masticabilidad es la energía necesaria para masticar un alimento solido hasta un estado total que permita su ingesta, a mayor dureza de las piezas de pan mayor será también su masticabilidad.

Figura 18. Malla de la superficie de respuesta estimada para la masticabilidad.

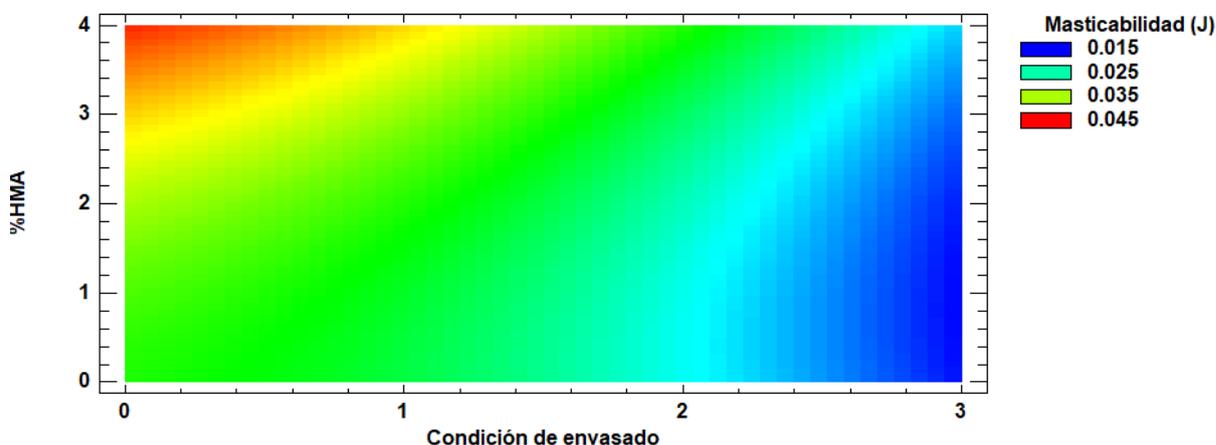


% Harina de maíz amarillo (HMA)		Condición de envase		Tiempo	
0	0%	0	Sin envase	0	Día 0
1	5%	1	Kraft	1	Día 1
2	10%	2	PEBD	2	Día 2
3	20%	3	PEBD a -18°C	3	Día 3
4	25%			4	Día 4

En la figura 19 contorno de superficie de respuesta en el día 2 se observa que para consumir el pan semita que ha sido envasado y almacenado en PEBD a -18°C se empleará de 0.01J a 0.02J de energía, mientras que para consumir el pan que ha sido envasado y almacenado en PEBD a temperatura ambiente se requerirá de 0.02J de energía.

Para con sumir el pan expuesto al ambiente sin envase (no se recomienda hacerlo) se tendrá que emplear de 0.04J a 0.05J de energía.

Figura 19. Contorno de superficie de repuesta estimado día 2 para la masticabilidad



El incremento de dureza del pan semita está estrechamente relacionado con los otros parámetros de textura, a mayor dureza mayor masticabilidad, pero menor cohesividad y elasticidad.

4.2. Análisis del perfil color

4.2.1. Análisis del Espacio de Color L*a*b* para la Corteza

4.2.1.1. Análisis del espacio de color L* para la corteza.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color L*-corteza (tabla 15) indica con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo duro afecta significativamente la claridad de la corteza del pan semita.

Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color L*-corteza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	146.18	4	36.5451	118.15	0.0000
Intra grupos	4.63977	15	0.309318		
Total (Corr.)	150.82	19			

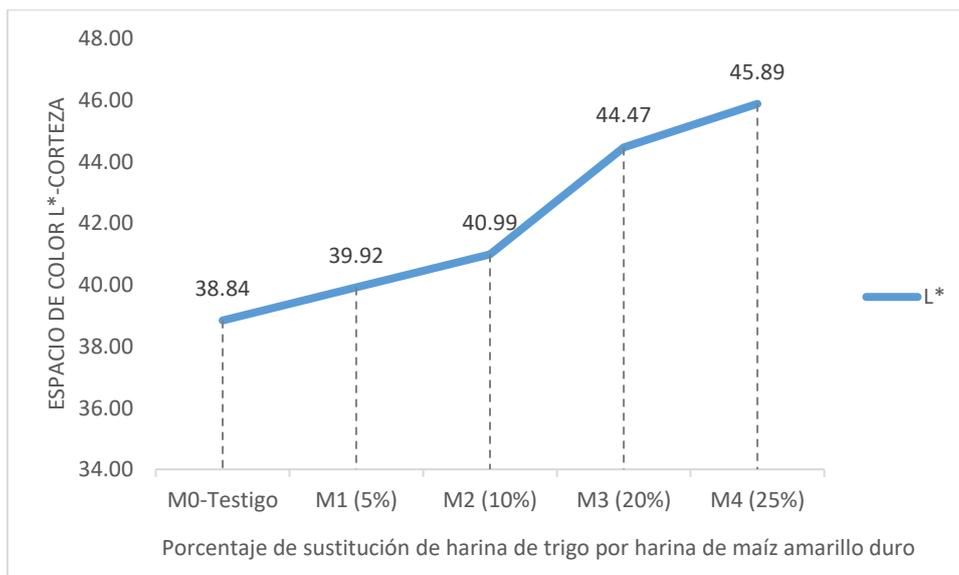
La prueba de rangos múltiples para L*- corteza en la tabla 16 se observa que el uso de 5% HMA en la elaboración de pan semita no genera cambios significativos en la claridad del pan semita mientras que el pan semita elaborado con 10%, 20% y 25% HMA presenta incremento significativo en la luminosidad, el uso de 10% HMA genera el incremento de espacio de color L* en 2.25, el uso de 20% HMA incrementa el espacio de color L* en 5,63 y el uso de 25% HMA genera el incremento de 7.05. Estos resultados sugieren que el uso de una cantidad moderada de harina de maíz amarillo duro en la elaboración de pan semita puede mejorar la claridad o luminosidad del pan, pero un uso excesivo puede afectar negativamente su calidad.

Tabla 16. Pruebas de Múltiple Rangos para L*-corteza

Nivel de %HMA	Casos	Media de espacio de color L*	Grupos Homogéneos	
M0 (0%HMA)	4	38.8425	A	
M1 (5%HMA)	4	39.9175	A	B
M2 (10%HMA)	4	40.9925	B	
M3 (20%HMA)	4	44.4725	C	
M4 (25%HMA)	4	45.8875	D	

La figura 20 muestra el incrementando de la claridad en la corteza del pan semita a medida que se va incrementando el porcentaje de harina de maíz amarillo duro. La harina de maíz amarillo duro puede ser un ingrediente adecuado para mejorar la claridad de la corteza del pan.

Figura 20. Espacio de color L* corteza



4.2.1.2. Análisis del espacio de color a* para la corteza.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color a*-corteza (tabla 17) indica con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo duro no altera significativamente la tonalidad roja del pan semita.

Tabla 17. Análisis de varianza (ANOVA) para a*- Corteza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.26637	4	0.566592	2.34	0.1025
Intra grupos	3.63595	15	0.242397		
Total (Corr.)	5.90232	19			

El espacio de color a* indica las tonalidades de rojo a verde (+a indica rojo, -a indica verde) (Minolta, 2021) el pan elaborado con diferentes niveles de sustitución de harina de trigo por harina de maíz duro muestras los siguientes valores:

- M0(0%HMA) a*15.395,
- M1(5%HMA) a* 15.32,
- M2(10%HMA) a*15.245,
- M3(20%HMA) a*15.7975 y
- M4(25%HMA) a*16.1325.

4.2.1.3. Análisis del espacio de color b* para la corteza.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color b*-corteza (tabla 18) indica con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo duro genera cambios significativos en la tonalidad amarilla de la corteza del pan semita.

Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) para b*-corteza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	112.613	4	28.1533	92.87	0.0000
Intra grupos	4.54713	15	0.303142		
Total (Corr.)	117.16	19			

La prueba de múltiples rangos para el espacio de color b*-corteza (tabla 19) aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras con un nivel del 95.0% de confianza. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

En la tabla 19 se observa que todas las muestras elaboradas con diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo tienen una tonalidad amarilla significativamente diferentes a la muestra testigo (M0-testigo); el espacio de color b* en la M1(5%HMA) incrementa en 1.36, el espacio de color b* de la M2(10%HMA) incrementa en 2.72 mientras que la M3(20%HMA) y la M4(25%HMA) incrementa su espacio de color b* en 5.23 y 6.39 respectivamente.

El estudio reveló que al utilizar un 20% y un 25% de harina de maíz amarillo duro en la producción de pan semita, se obtuvo una tonalidad amarilla muy similar. No se encontraron diferencias significativas entre ambas proporciones. Estos resultados indican que, para lograr una buena tonalidad amarilla en la corteza del pan semita, es suficiente utilizar un 20% de harina de maíz amarillo duro.

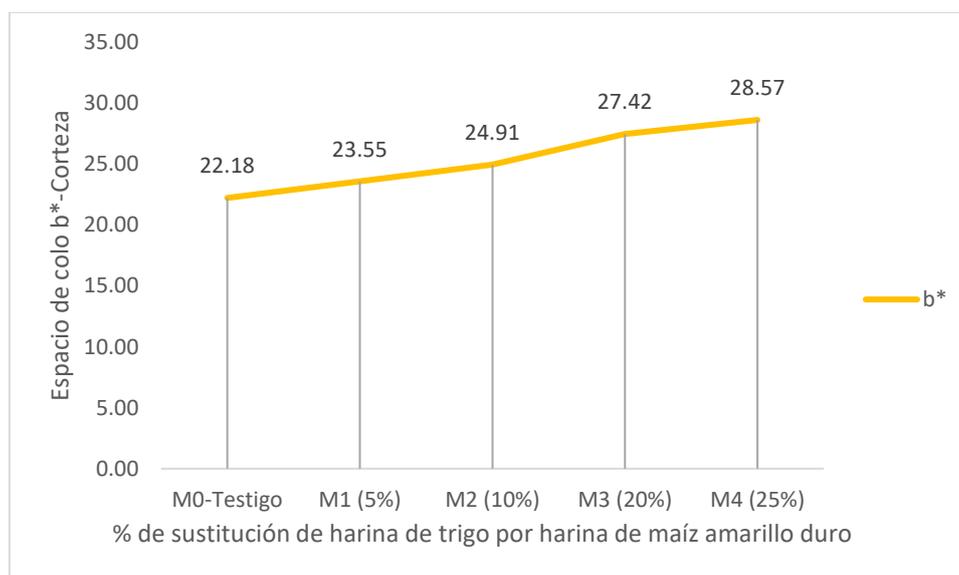
Tabla 19. Pruebas de Múltiple Rangos para b*- corteza

Nivel de %HMA	Casos	Media de espacio de color b*	Grupos Homogéneos
M0 (0% HMA)	4	22.1825	A
M1 (5% HMA)	4	23.545	B
M2 (10% HMA)	4	24.9075	C
M3 (20% HMA)	4	27.42	D
M4 (25% HMA)	4	28.5725	D

El espacio de color b* indica las coordenadas de amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul) (Minolta, 2021). En la figura 21 los resultados indican que a medida que aumenta el porcentaje de harina de maíz amarillo duro en la elaboración del pan semita, también aumenta el espacio de color b* que indica la tonalidad amarilla.

La (M0- testigo) 0% de harina de maíz amarillo duro tiene un espacio de color b* de 22.1825, mientras que la M1 5% de harina de maíz amarillo tiene un espacio de color b* de 23.545. La muestra M2 10% de harina de maíz amarillo tiene un espacio de color b* de 24.9075, y la M3 20% de harina de maíz amarillo duro tiene un espacio de color b* de 27.42. Finalmente, la M4 25% de harina de maíz amarillo tiene un espacio de color b* de 28.5725. Estos resultados confirman que la sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo duro afecta significativamente la tonalidad amarilla de la corteza pan semita.

Figura 21. Espacio de color b* corteza



4.2.2. Análisis del Espacio de Color L*a*b* para la Miga

4.2.2.1. Análisis de espacio de color L*miga.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color L*-miga (tabla 20) muestra que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 por lo tanto aseguramos con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita genera cambios significativos en la luminosidad o claridad (espacio de color L*) de la miga del pan.

Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color L* de la miga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	287.44	4	71.8599	139.18	0.0000
Intra grupos	7.7444	15	0.516293		
Total (Corr.)	292.184	19			

La prueba de múltiples rangos para el espacio de color L*miga (tabla 21) aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras con un nivel del 95.0% de confianza.

En la tabla 21 se observa que el uso de 5%HMA en la elaboración de pan semita genera un incremento estadísticamente significativo de 5.0825 en el espacio de color L* de la miga del pan, el uso de 10%HMA genera el incremento de 10.6725 en el espacio de color L*, el uso de 20%HMA genera el incremento de 8.4925 y el uso de 25%HMA genera el incremento de 9.0175. A partir de los resultados presentados en la tabla 21, se puede concluir que el uso de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita tiene un efecto significativo en el color de la miga del pan. A medida que aumenta la cantidad de harina de maíz amarillo duro, también se observa un aumento en la claridad de la miga del pan semita.

Sin embargo, es importante destacar que el mayor aumento en el espacio de color L* se produce con el uso del 10% de harina de maíz amarillo, con un incremento de 10.6725, mientras que el uso de 20% y 25% de harina de maíz amarillo produce un incremento menor. Estos resultados sugieren que la adición de harina de maíz amarillo en la elaboración del pan semita tiene un impacto en el color de la miga del pan semita.

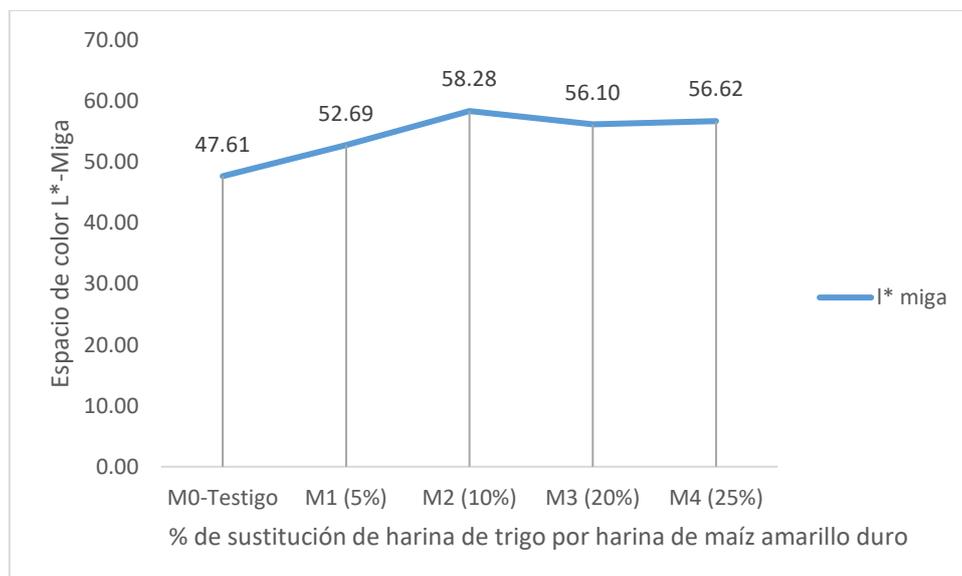
Tabla 21. Pruebas de Múltiple Rangos para L* de la miga

Nivel de %HMA	Casos	Media de espacio de color L*	Grupos Homogéneos
M0 (0%HMA)	4	47.605	A
M1 (5%HMA)	4	52.6875	B
M2 (10%HMA)	4	58.2775	C
M3 (20%HMA)	4	56.0975	D
M4 (25%HMA)	4	56.6225	D

Nota: El %HMA indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de maíz amarillo.

En la figura 22 se evidencia que a mayor uso de harina de maíz amarillo mayor es la luminosidad del pan semita. Sustituir harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita hace que el pan sea más luminoso que cuando se usa harina de haba como fue determinado por Escobedo Anticona (2019), Quien afirma que el espacio de color L* en el pan con sustitución parcial de harina de trigo por harina haba al 20% es 46.18 mientras que el espacio de color L* de la M4(20%HMA) es de 56.58. este espacio es mayor porque esta harina es una harina amarilla mientras que la harina de haba es más oscura lo que contribuye a un menor espacio de color L*. Estos hallazgos son coherentes con la idea de que el color del pan está influenciado por el tipo y la cantidad de harinas utilizadas en su elaboración.

Figura 22. Espacio de color L*miga



4.2.2.2. Análisis de espacio de color a*miga

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color a*miga (tabla 22) muestra que el valor-P de la prueba-F es mayor que 0.05 por lo tanto aseguramos con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo duro en la elaboración de pan semita no genera cambios significativos en la tonalidad del color rojo (espacio de color *a) de la miga del pan semita.

Tabla 22. Análisis de varianza ANOVA para el espacio de color a* de la miga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.74654	4	1.18664	2.19	0.1199
Intra grupos	8.13732	15	0.542488		
Total (Corr.)	12.8839	19			

El espacio de color a* indica las tonalidades de rojo a verde (+a indica rojo, -a indica verde) (Minolta, 2021). El pan elaborado con diferentes niveles de sustitución de harina de trigo por harina de maíz muestras los siguientes valores:

- M1(0%HMA) a*4.795,
- M2(5%HMA) a* 4.72375,
- M3(10%HMA) a*4.0075,
- M4(20%HMA) a*3.785 y
- M5(25%HMA) a*5.0475.

4.2.2.3. Análisis de espacio de color b*de la miga

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color b*-miga (tabla 23) muestra que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05 por lo tanto aseguramos con un nivel de confianza del 95% que el uso de diferentes porcentajes de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita genera cambios significativos en la tonalidad amarilla (espacio de color b*) de la miga del pan semita.

Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) para el espacio de color b* de la miga

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	114.04	4	28.5099	34.70	0.0000
Intra grupos	12.3238	15	0.821583		
Total (Corr.)	126.363	19			

El espacio de color b* indica las coordenadas de amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul) (Minolta, 2021), el pan elaborado con diferentes niveles de sustitución de harina de trigo por harina de maíz muestras diferentes valores de espacio de color b*.

La prueba de múltiples rangos para el espacio de color b*-corteza (tabla 24) aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras con un nivel del 95.0% de confianza. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

En la tabla 24 se observa que el uso de hasta 10% de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan semita no generan cambios estadísticamente significativos en la tonalidad amarilla de la miga del pan semita, mientras que, el uso de 20% y 25% de harina de maíz amarillo si tiene como efecto el incremento significativo de la tonalidad amarilla en la miga del pan semita. El uso de 20% de harina de maíz amarillo genera un aumento significativo de 3.4325 en el espacio de color b*, mientras que el uso de 25% de harina de maíz amarillo genera un aumento significativo de 6.1375 en el espacio de color b*.

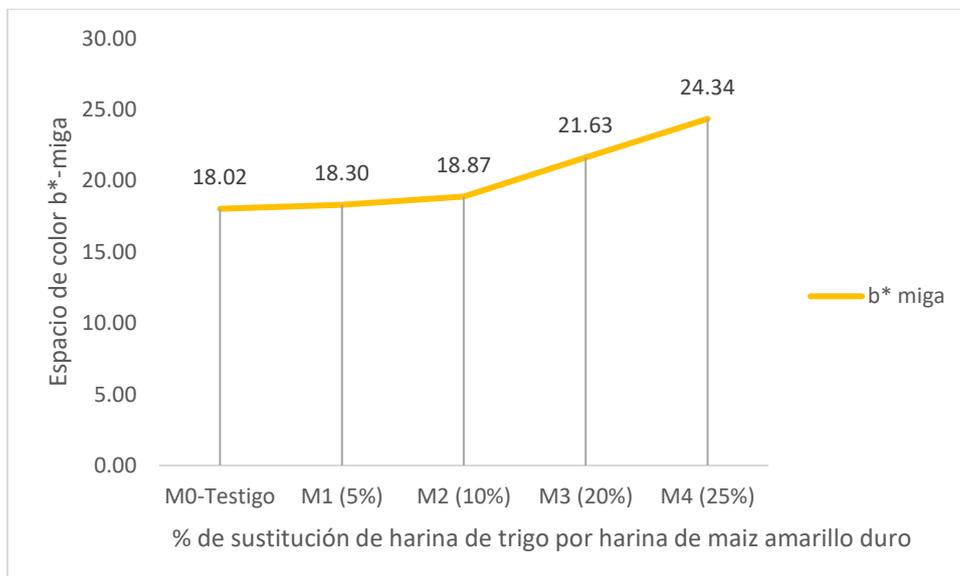
Tabla 24. Prueba de Múltiple Rangos para b*miga

Nivel de %HMA	Casos	Media de espacio de color b*	Grupos Homogéneos
M0 (0%HMA)	4	18.02	A
M1 (5%HMA)	4	18.3025	A
M2 (10%HMA)	4	18.8725	A
M3 (20%HMA)	4	21.6325	B
M4 (25%HMA)	4	24.3375	C

Silveira Coelho y Salas Mellado (2013), En su estudio pan formulado con harina de chía encontró que el pan con sustitución del 20% muestran un espacio de color b^* de 14.98. mientras que el espacio de color b^* en el pan semita con 20% harina de maíz amarillo duro tiene 21.63, esto indica que el pan elaborado con harina de maíz amarillo duro tiende a incrementa la tonalidad amarilla mientras que la harina de chía no. lo cual es lógico ya que la harina de maíz amarillo duro es una harina con un color amarillo mientras que la harina de chía es de color marrón claro. Además, estos resultados muestran que el uso de harina de maíz amarillo puede tener un mayor impacto en el color de la miga del pan en comparación con la harina de chía. Es importante tener en cuenta que estos resultados pueden variar dependiendo de la calidad de las harinas y los métodos de elaboración.

En la figura 23 se observa se observa que el uso de harina de maíz amarillo duro tiene un impacto directo en la tonalidad amarilla de la miga del pan y, por lo tanto, en su espacio de color b^* . Por lo tanto, se puede concluir que el uso de harina de maíz amarillo en la elaboración de pan tiene un impacto importante en la tonalidad y el espacio de color b^* de la miga del pan.

Figura 23. Espacio de color b^* de la miga



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El uso del 10% de harina de maíz amarillo duro en la producción de pan semita no genera cambios en el perfil de textura, pero el uso del 20% y 25% altera su perfil de textura. El uso de más del 5% de harina de maíz amarillo duro en la producción de pan semita genera un aumento en la claridad y la tonalidad amarilla tanto en la corteza como en la miga del pan.

El pan semita con 5 % de harina de maíz amarillo presenta un perfil de textura con dureza 795.5g, cohesividad 0.665, elasticidad 0.41cm y masticabilidad 0.02J. Perfil de color de corteza (L* 39.92 a* 15.32 b* 23.55) y perfil de color de miga (L* 52.68 a* 4.72 b* 18.3).

El pan semita elaborado con 10% de harina de maíz amarillo duro presenta un perfil de textura con dureza 1143.g, cohesividad 0.59, elasticidad 0.395 y masticabilidad 0.03J. Perfil de color de corteza (L*40.99, a*15.24, b*24.91), perfil de color de miga (L*58.28 a*4.01 b* 18.87).

El pan semita elaborado con 20% de harina de maíz amarillo duro presenta un perfil de textura de dureza 1295.5 g, cohesividad 0.115, elasticidad 0.39cm y masticabilidad 0.0325J. perfil de color de corteza (L*44.47 a*15.80 b*27.42), perfil de color de miga (L*56.10 a*3.79 b* 21.63).

El pan semita elaborado con 25% de harina de maíz amarillo duro presenta un perfil de textura con dureza 1 465g, cohesividad 0.545, elasticidad 0.385cm y masticabilidad 0.0375J. Perfil de color de corteza (L*44.89, a*16.13, b*28.57), perfil de color de miga (L*57.87, a*5.05, b* 24.33).

La variación del perfil de textura del pan semita a través del tiempo no depende del nivel de harina de maíz amarillo duro si no de la condición de envasado.

El pan semita envasado en papel Kraft no mantiene su perfil de textura a través del tiempo, mientras que el pan semita envasado en polietileno de baja densidad (PEBD) a temperatura ambiente y a -18°C mantiene sus propiedades de textura durante los 4 días.

5.2. Recomendaciones

Para análisis de perfil de textura de pan en el equipo CT3Texture Analyzer se recomienda usar el software TexturePro con el mismo método de test (tabla 6) para comparar resultados con mayor asertividad.

Se debe realizar investigación del perfil de textura y color en pan envasado en bolsas biodegradables.

Se debe realizar investigaciones complementarias como un análisis microbiológico a fin de determinar la vida útil del pan semita y correlacionarlo con la aceptabilidad.

Elaborar pan semita sustituyendo harina de trigo por harina de maíz amarillo y fortificarlo con gluten para equilibrar el porcentaje de este.

Analizar el perfil de textura y color del pan usando diferentes tipos de amasado en la producción.

Realizar análisis de aceptabilidad del pan semita con sustitución parcial de harina de trigo por harina de maíz.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC NET. 2023. (en línea, sitio web). Consultado 24 jun. 2023. Disponible en <https://www.velp.com/es-sa/aacc-net.aspx#:~:text=La%20American%20Association%20of%20Cereal,uso%20de%20cereales%20en%20alimentos.>

Agronoticias. 2019. ¿Qué es mejor: el maíz blanco o el amarillo? (en línea, sitio web). Consultado 2 feb. 2023. Disponible en <https://agronoticias.com.mx/2017/11/17/que-es-mejor-el-maiz-blanco-o-el-amarillo/>.

Anticona Galindo, AL. (2017). COMPARACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y REOLÓGICA DE HARINAS:TRIGO (*Triticum aestivum*), CENTENO (*Secale cereale*) Y TRITICALE (x *Triticosecale*) EN ELABORACIÓN DE PAN. s.l., s.e.

AQ INSTRUMENTS. 2023. La importancia del color en alimentos (en línea, sitio web). Consultado 12 ene. 2023. Disponible en <https://www.aquatecnica.com/la-importancia-del-color-en-alimentos-los-colores-influyen-en-el-apetito/>.

Artigas, JM; Jaume Pujol; Pascual Capilla. 2002. Tecnología del color - Google Libros (en línea). Universitat de València (ed.). España, s.e. Consultado 3 feb. 2023. Disponible en <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6Gb0Y5yRXD8C&oi=fnd&pg=PA7&dq=perfil+de+color&ots=i2LCdM1uVQ&sig=IJ11wBdb6bGNGA8QhrYSBirNf9c#v=onepage&q=perfil%20de%20color&f=false>.

Bourne, M; Szczesniak, AS. 1998. ISSUES PERTAINING TO THE TEXTURE PROFILE ANALYSIS. *Journal of Texture Studies* 29(4):vii-viii. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1745-4603.1998.TB00808.X/ABSTRACT>.

Bourne, M; Szczesniak, AS. 1998. ISSUES PERTAINING TO THE TEXTURE PROFILE ANALYSIS. *Journal of Texture Studies* 29(4):vii-viii. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1745-4603.1998.TB00808.X/ABSTRACT>.

Burge, RM; Duensingw, WJ. 1989. «Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran». *Cereal Foods World* :535-538.

Calaveras, J. 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. Madrid, vicente (ed.). s.l., Mundi-Prensa, vol.2º edición.

Calvel, R. 1990. El sabor del pan. MOMTAGUD EDITORES SA. Barcelona, Montagud.

Cauvain, SP; Young, LS. 2002. Fabricación de pan. s.l., Acribia Editorial.

Chávez Marín, I. 2019. Pan semita. Cajamarca-Perú, Asociación de Industriales en Panificación de Cajamarca «ASIPA».

Claude Roudot, A. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza española, s.e.

COMERCIAL AVILÉS. 2023. ¿Sabes qué gramaje de las bolsas de papel elegir? | Comercial Avilés (en línea, sitio web). Consultado 10 jul. 2023. Disponible en <https://www.comercialaviles.com/blog/gramaje-de-bolsas-de-papel/>.

Edel León, A; Rosell, C. 2007. De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Hugo, B (ed.). Córdoba Argentina, s.e.

Embalajes Terra. 2023. Bolsas de polietileno: tipos y aplicaciones (en línea, sitio web). Consultado 10 jul. 2023. Disponible en <https://www.embalajesterra.com/blog/bolsas-de-polietileno-propiedades-usos/>.

Escobedo Anticon, MI. 2019. Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de haba (*Vicia faba*) variedad Major sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en pan de molde integral. Universidad Privada Antenor Orrego.

FAO, (Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Capítulo 26: Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos (en línea, sitio web). Consultado 29 ene. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm>.

García González. 2023. Color y Calidad de los Alimentos (en línea). Sevilla España, Laboratorio de Color y Calidad de Alimentos. Área de Nutrición y Bromatología. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla. Consultado 1 feb. 2023. Disponible en <http://www.color.us.es/esp/>.

Gouttefanjat, F. 2021. La industria agro-alimentaria en México: ¿Hacia una nueva relación metabólica hombre-maíz? (en línea). Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional 31(58). DOI: <https://doi.org/10.24836/ES.V31I58.1167>.

Hernandez-Aguilar, C; Valderrama-Bravo, M del C; Dominguez-Pacheco, A; Romero-Galindo, R; Igno-Rosario, O; Contreras-Gallegos, E; Tsonchev, RI; Cruz-Orea, A. 2022. Caracterización colorimétrica, textura y calidad sanitaria de panes adicionados con maíces criollos y Curcuma longa. Superficies y Vacío 35. DOI: https://doi.org/10.47566/2022_syv35_1-220407.

Hoover, R. 2001. Composición, estructura molecular y propiedades fisicoquímicas de almidones de tubérculos y raíces: una revisión polímeros de carbohidratos. Polímeros de Carbohidratos 44:253-267.

IMSanchís. 2023. Papel Kraft: qué es y cuales son sus características - Blog de IM Sanchís (en línea, sitio web). Consultado 10 jul. 2023. Disponible en <https://imsanchis.com/papel-kraft-que-es-y-cuales-son-sus-principales-caracteristicas/>.

INACAL. 2016. NTP 106.004:2016 Panadería, Pastelería y Galletería. pan francés. :5-10.

Konica Minolta. 2023. Conceptos Básicos De Colorimetría - Konica Minolta Sensing (en línea, sitio web). Consultado 1 feb. 2023. Disponible en <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/conceptos-basicos-de-colorimetria/>.

Konopacka, D; Plochanski, WJ. 2004. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability. Postharvest Biology and Technology 32(2):205-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2003.11.012>.

De La Cruz Quispe, WH. (2009). Complementación proteica de harina de trigo (*triticum aestivum* l.) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y suero en pan de moldey tiempo de vida útil. s.l., s.e.

Lallemand, mexico SA de CV. 1996. Causas y Efectos del Envejecimiento del Pan. BAKINGUPDATE Química del Almidón.

León, K; Mery, D; Franco Pedreschi, J. 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images (en línea). s.l., s.e., vol.10. p. 1084-1091 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>Obtener.

Luna Fernández, M; Bárcenas Pozos, ME. (2011). Envejecimiento del pan: causas y soluciones. Puebla Mexico, s.e.

Manzano, E; Salvador, O; Rodríguez, A; Rosa Hayde; Güemes Vera, N. (2016). Evaluación de los atributos de textura: suavidad y esponjosidad de un pan tipo pambazo con distintas formulaciones. 1. Mexico, s.e.

Martínez Jiménez, F; Rodríguez Sandoval, E; Hernández Gómez, MS. 2015. Impacto de la adición de carboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 18(2):445-454.

Matos Chamorro, A; Muñoz Alegre, KI. 2010. Revista de Investigación en Elaboración de Pan con Sustitución Parcial de Harina Pre Cocida de Ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tarwi (*Lupinus mutabilis*). 2010-Rev. investig. cienc. tecnol. aliment 1.

Mesas, J; Alegre, MT. 2002. El Pan y su Proceso de Elaboración (en línea). Ciencia y Tecnología Alimentaria 3:307-313. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72430508>.

Mesas, JM; Alegre, MT. 2002. Ciencia y Tecnología Alimentaria (en línea). Sociedad Mexicana de Nutrición y tecnología de Alimentos 3:307-313. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72430508>.

MIDAGRI, (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - Gobierno del Perú). 2022. Perú tiene mercados alternativos para abastecerse de trigo y maíz - (en línea, sitio web). Consultado 29 ene. 2023. Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/595701-peru-tiene-mercados-alternativos-para-abastecerse-de-trigo-y-maiz>.

Moreno Rojo, C. (2017). Universidad nacional del Santa escuela de postgrado “influencia de la adición de harina de cáscara de mango (*mangifera indica* l.), variedad kent y ácido ascórbico sobre las características tecnológicas del pan de molde. s.l., s.e.

Ordoñez-Santos, LE; Esparza-Estrada, J; Vanegas-Mahecha, P; Ordoñez-Santos, LE; Esparza-Estrada, J; Vanegas-Mahecha, P. 2020. Potencial agroindustrial del

epicarpio de mandarina como alternativa de colorante natural en pan (en línea). *Tecnología* 23(48):19-31. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1465>.

Polietileno. 2023. (en línea, sitio web). Consultado 10 jul. 2023. Disponible en <http://www2.udec.cl/quimles/archivos/material-teorico/industria/polietileno.htm>.

Quantotec, SL. 2019. Color y Luz. Colorimetría (en línea, sitio web). Consultado 1 feb. 2023. Disponible en <https://www.quantotec.com/sp/Colorimetria.htm>.

RAING, RA de I. 2023. Diccionario español de ingeniería (en línea, sitio web). Consultado 2 feb. 2023. Disponible en <https://diccionario.raing.es/es/lema/textur%C3%B3metro>.

Reyes Aguilar, MJ; de Palomo, P; Bressani, R. 2004. Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz (en línea). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54(3):314-321. Consultado 26 ene. 2023. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Ríos Acuña, S. 2009. La panadería tradicional del Perú y sus expresiones plásticas (en línea). *Artesanías de América*, No 69, pp. 125-148. Consultado 29 ene. 2023. Disponible en https://www.academia.edu/3560062/La_panader%C3%ADa_tradicional_del_Per%C3%BA_y_sus_expresiones_pl%C3%A1sticas.

Rodas Chungata, LR. (2013). Determinación de fibra en pan integral procedente de panaderías artesanales. Cuenca, Ecuador, s.e.

Rodríguez Gómez, J. 2023. Modelos reproductivos del color: RGB, CMYK y LAB (en línea, sitio web). Consultado 1 feb. 2023. Disponible en <https://www.logo-arte.com/blog-6.htm>.

Sahin, S; Gülün Sumnu, S. (2006). *Physical Properties of Foods*. s.l., s.e.

Sánchez Muñoz, G. 2022. Los perfiles de color | Imagen digital (en línea, sitio web). Consultado 8 feb. 2023. Disponible en http://www.gusgsm.com/los_perfiles_de_color.

Sánchez Ortega, AJ. 2001. «Proyecto de planta de elaboración de crepes dulces en el término municipal de albolote (granada)». Universidad de Córdoba, Departamento de Bromatología y Tecnología de los alimentos TOMO I.

Sensient Colors, L. 2023. ¿Los colores naturales afectan el perfil de sabor de un producto? - Sensient Food Colors: Sensient Food Colors (en línea, sitio web). Consultado 25 ene. 2023. Disponible en <https://sensientfoodcolors.com/es-la/id/los-colores-naturales-afectan-el-perfil-de-sabor-de-un-producto/>.

Silveira Coelho, M; Salas Mellado, M. (2013). Pan formulado con adición de harina de chía (*Salvia hispanica* L.). Rio Grande Brasil, s.e.

Steffolani, ME. (2011). Efecto de las enzimas pentosanasa, glucosa oxidasa y transglutaminasa en productos de panificación. s.l., s.e.

Szczesniak, AS. 1963. Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science* 28(4):385-389. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>.

TEXTUROLAB, SDC. 2023. Psicología del sabor y textura de los alimentos - YouTube (en línea, sitio web). Consultado 12 ene. 2023. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=jX1GVMSZUvs>.

Vásquez, F; Verdú, S; Islas, AR; Barat, JM; Grau, R. 2016. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan (en línea). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Mexico* 17(2):307-317. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041018>.

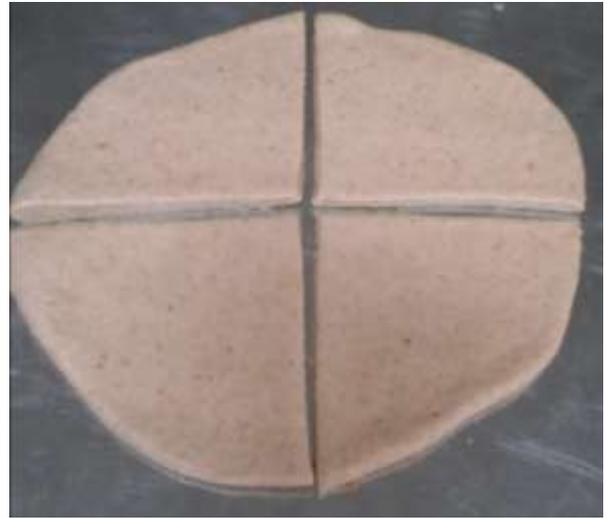
Vásquez Lara, F; Verdú Amat, S; Islas Rubio, alma; Barat Baviera, JS; Grau Meló, R; Casillas Peñuelas, R. 2017. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan (en línea). *Investigación y ciencia* 25(Universidad Autónoma Aguas Calientes, Mexico):19-26. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67452917003>.

Watson, SA; Ramstad, PE. 1987. Maíz: Química y Tecnología. *Asociación Estadounidense de Químicos de Cereales* 07(13):53-82. DOI: <https://doi.org/10.4236/HEALTH.2015.713197>.

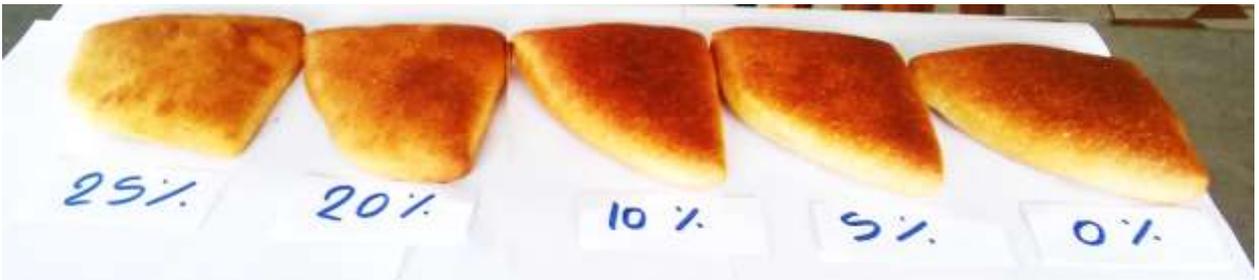
Zapata Acha, Sergio. 2009. *Diccionario de gastronomía peruana tradicional*. s.l., Universidad de San Martín de Porres, Fondo Editorial, Facultad de Ciencias de la Comunicación, Turismo y Psicología.

ANEXO/APENDICE

ANEXO 1. Formado en masa de las piezas de pan semita



ANEXO 2. Muestras obtenidas después del horneado



ANEXO 3. Pan almacenado sin envase



ANEXO 4. Pan almacenado en papel kraf



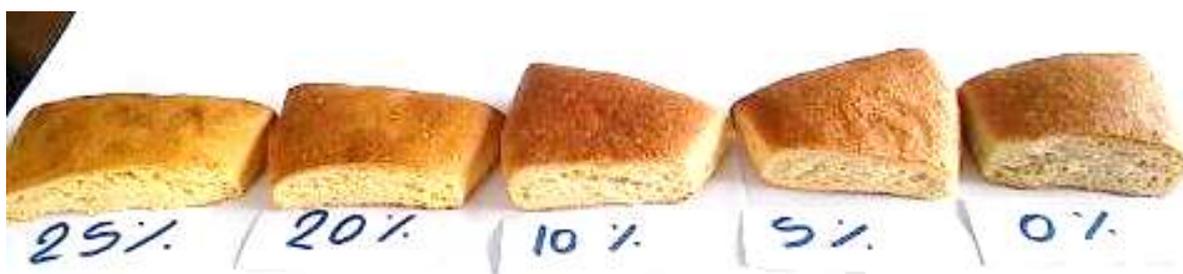
ANEXO 5: Pan envasado en bolsa PEBD



ANEXO 6: Pan envasadas en bolsa de PEBD y almacenada a -18°C



ANEXO 7: Color de la miga de las muestras del pan semita



ANEXO 8: Equipos usados para el análisis físico de las piezas de pan semita

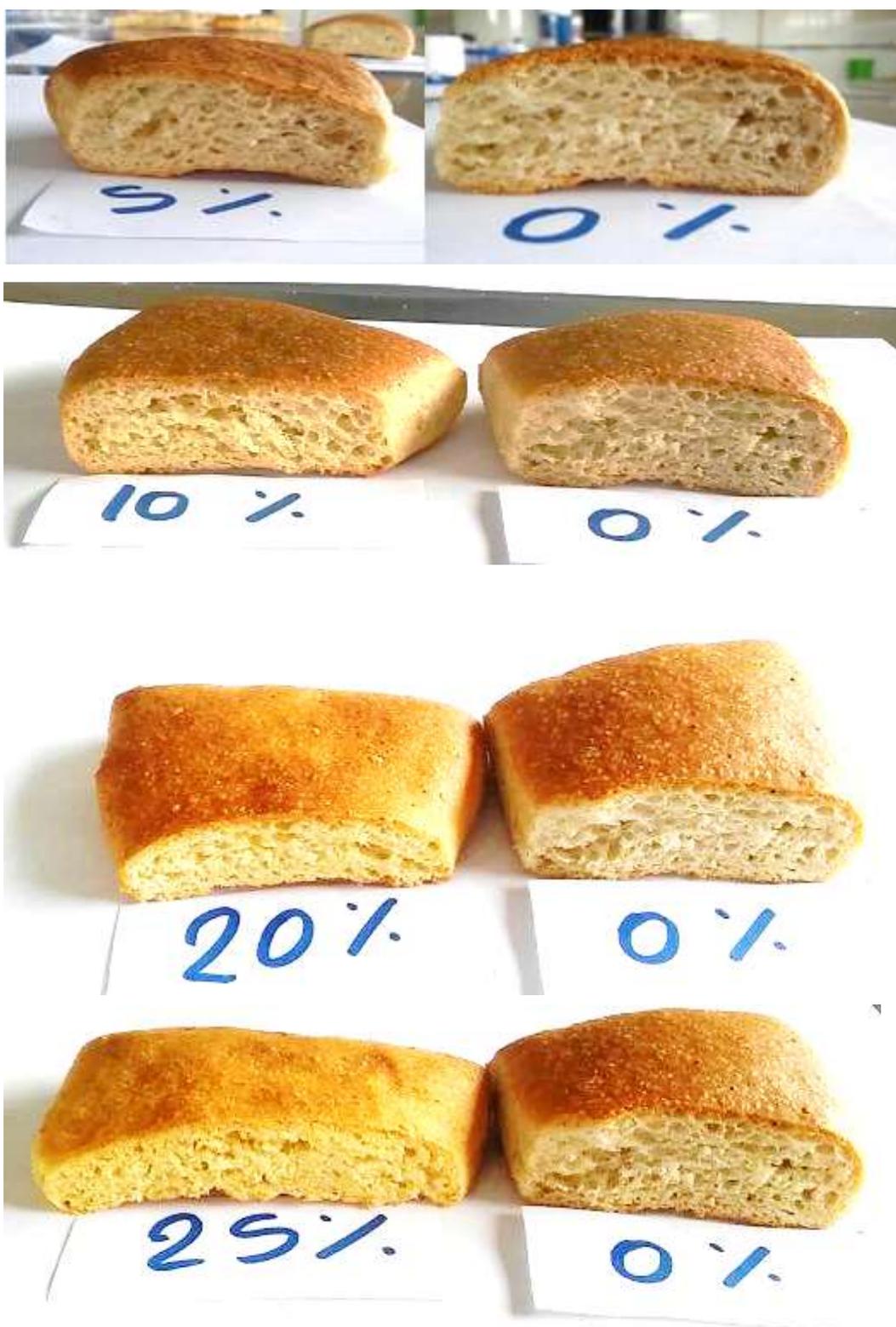


CT3 Texture Analyzer



Colorimetro

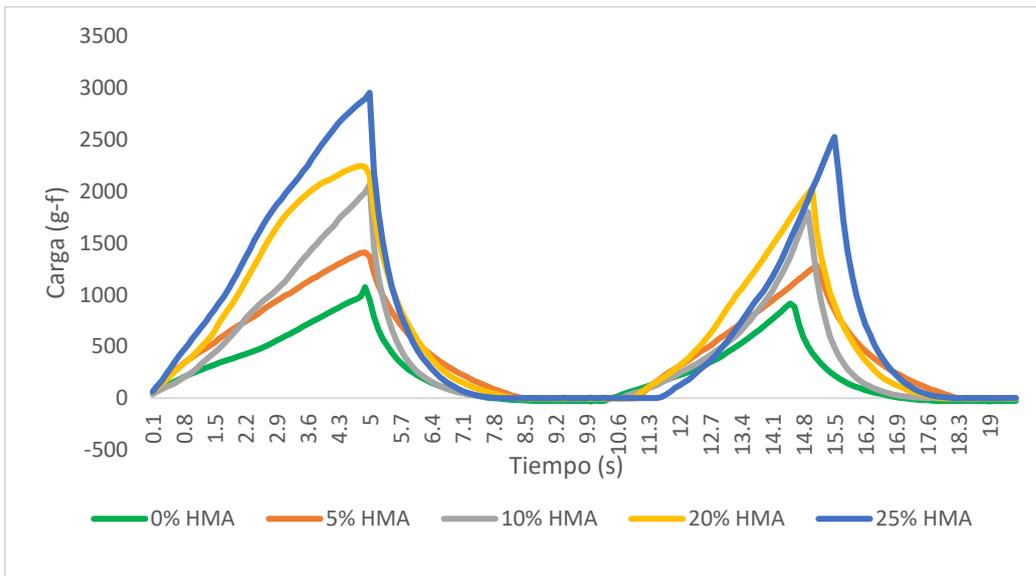
ANEXO 9: Comparación de la M1(0%HMA)-Testigo con las diferentes muestras



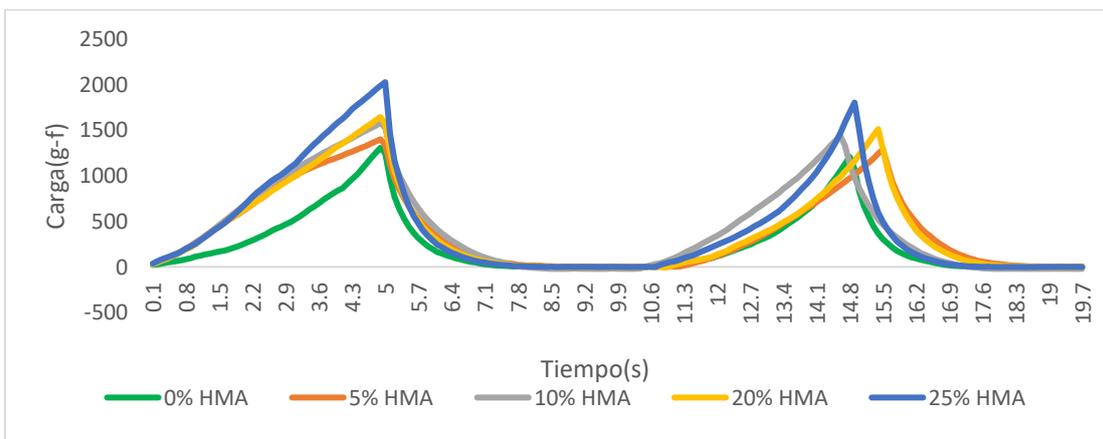
ANEXO 10: muestras de pan semita en el día 5



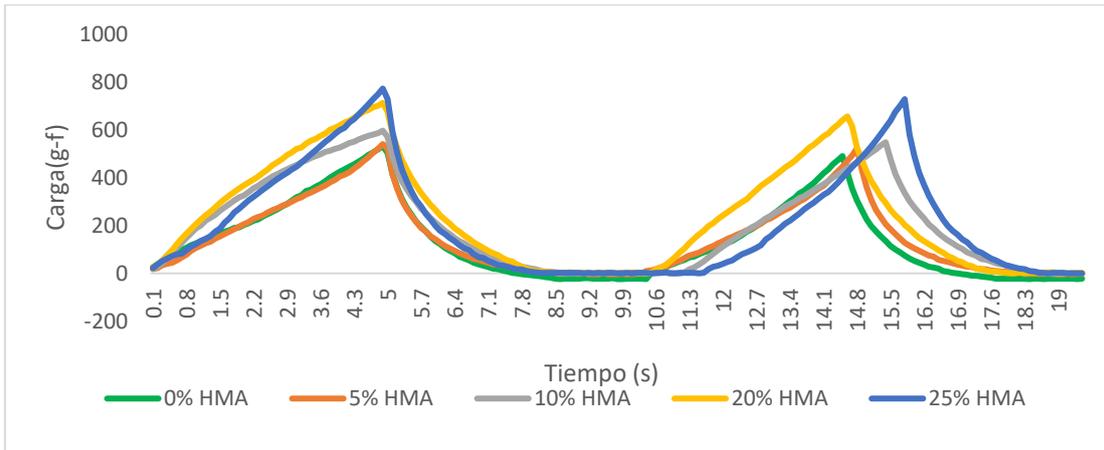
ANEXO 11: Curvas de TPA para las muestras sin envase en el día 1



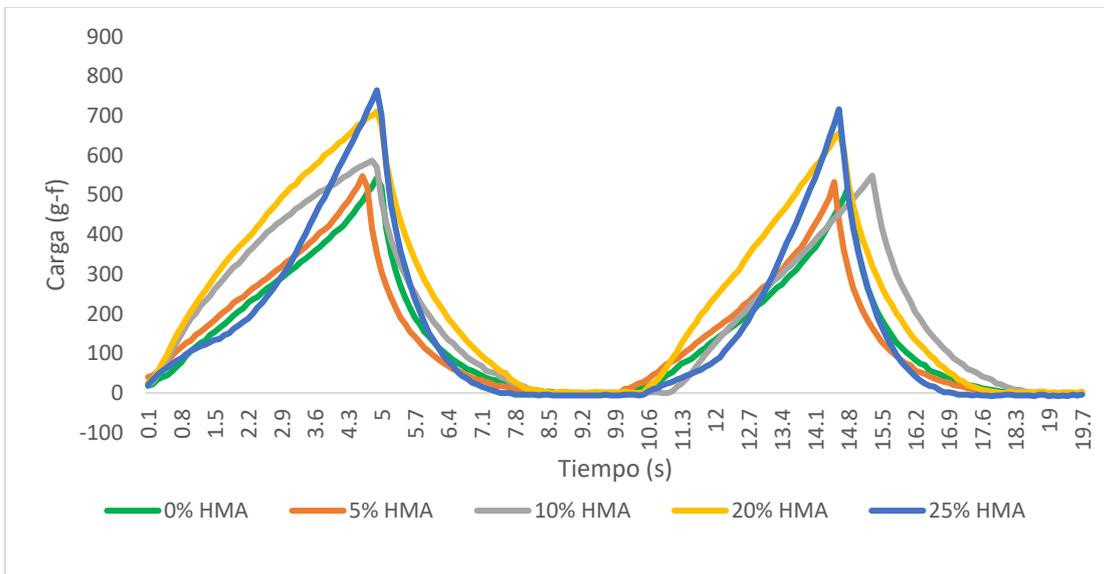
ANEXO 12: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en papel Kraft en el día 1



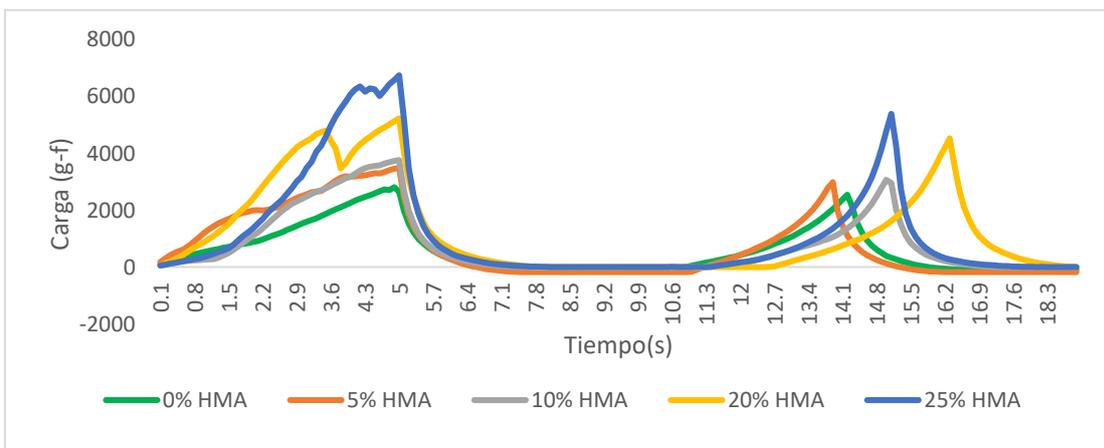
ANEXO 13: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en PEBD al día 1



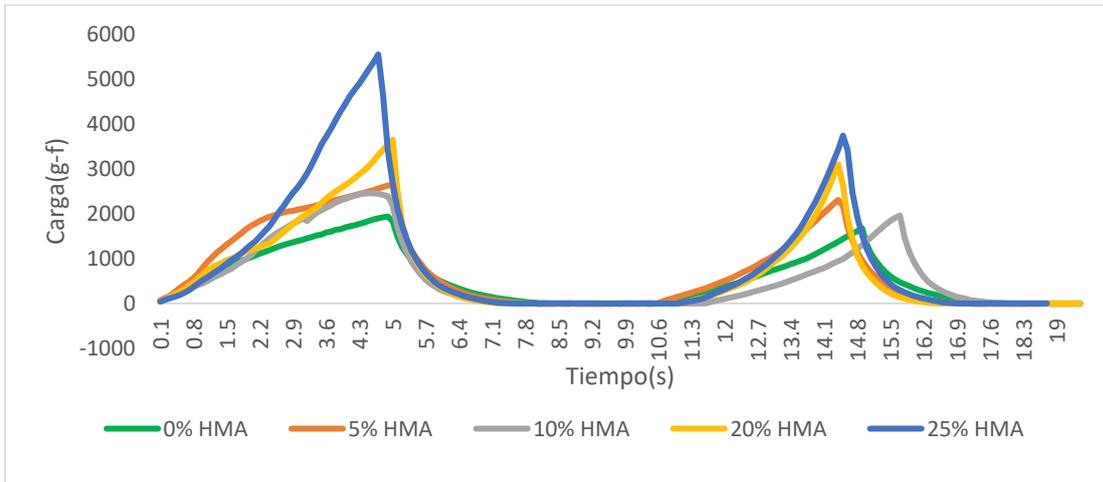
ANEXO 14: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en PEBD a -18°C en el día 1



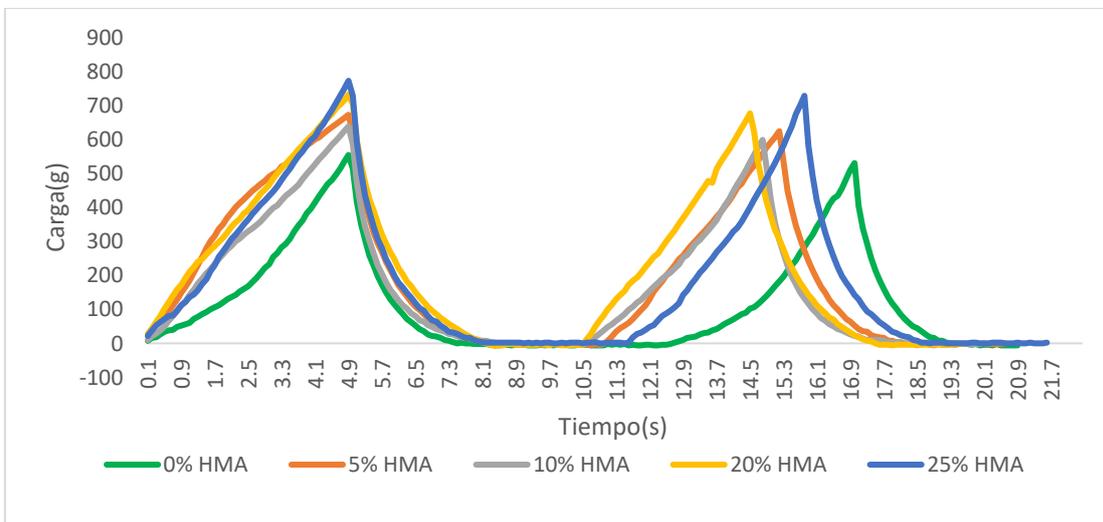
ANEXO 15: Curvas de TPA para las muestras sin envase en el día 2



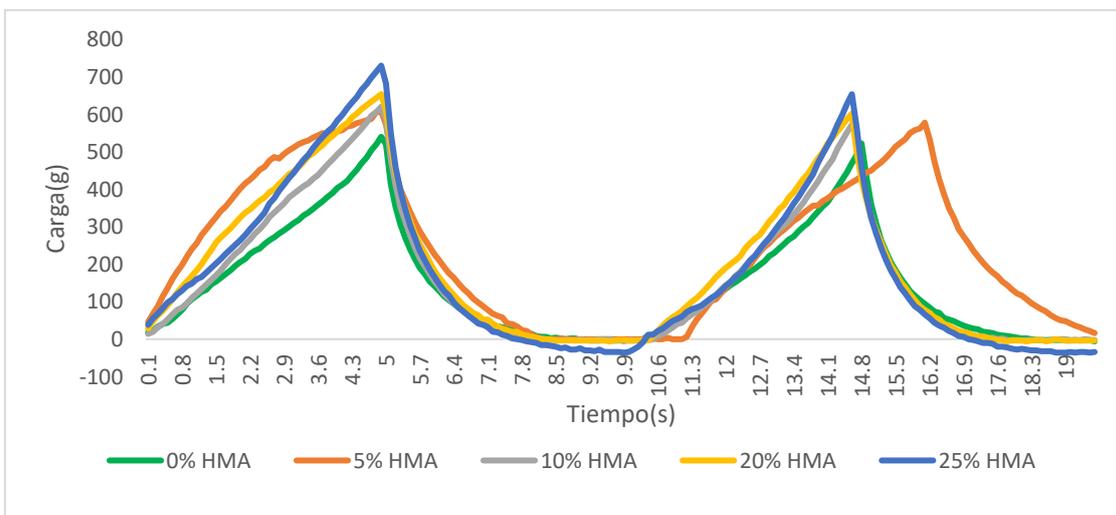
ANEXO 16: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en papel Kraft en el día 2



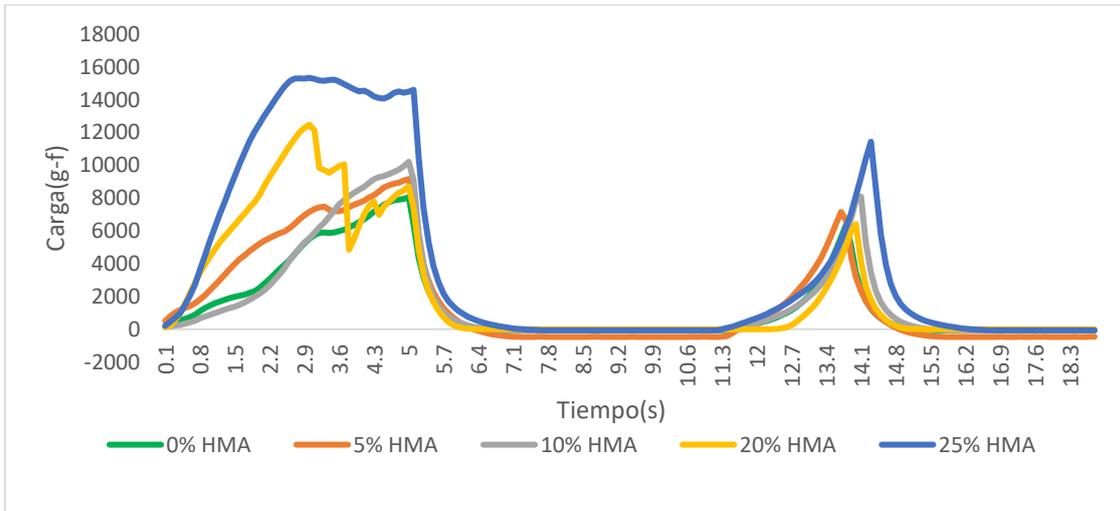
ANEXO 17: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en PEBD al día 2



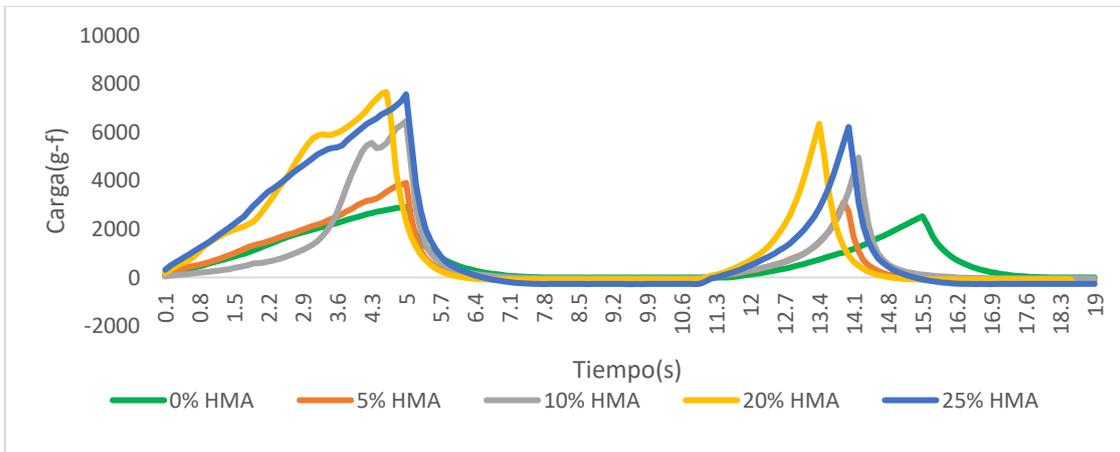
ANEXO 18: Curvas TPA para las muestras almacenadas en PEBD a -18°C en el día 2



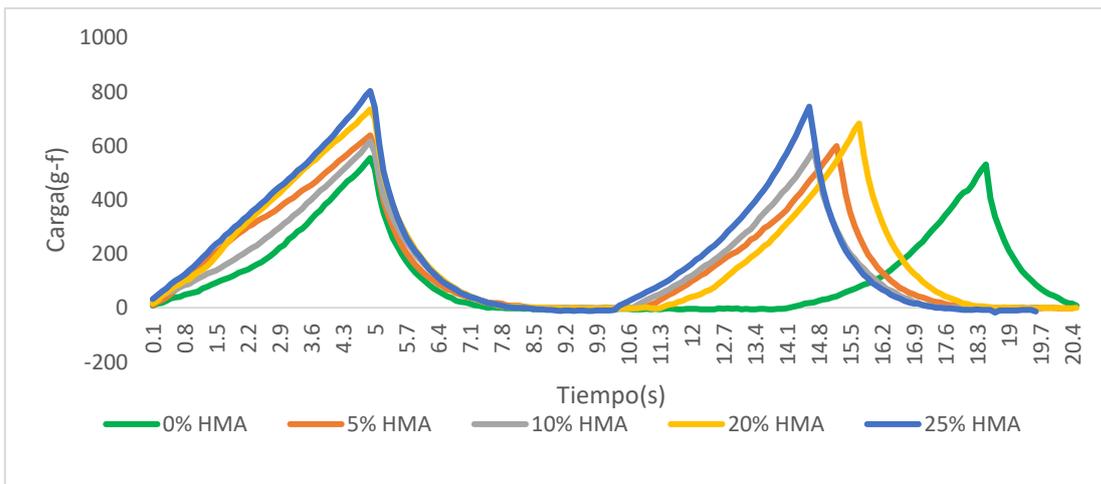
ANEXO 19: Curvas de TPA para las muestras sin envase en el día 3



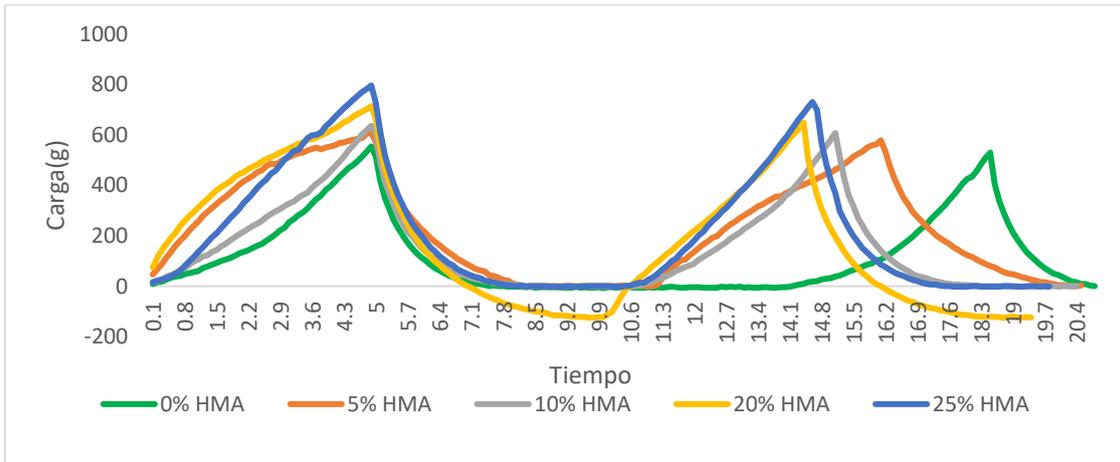
ANEXO 20: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en papel Kraft en el día 3



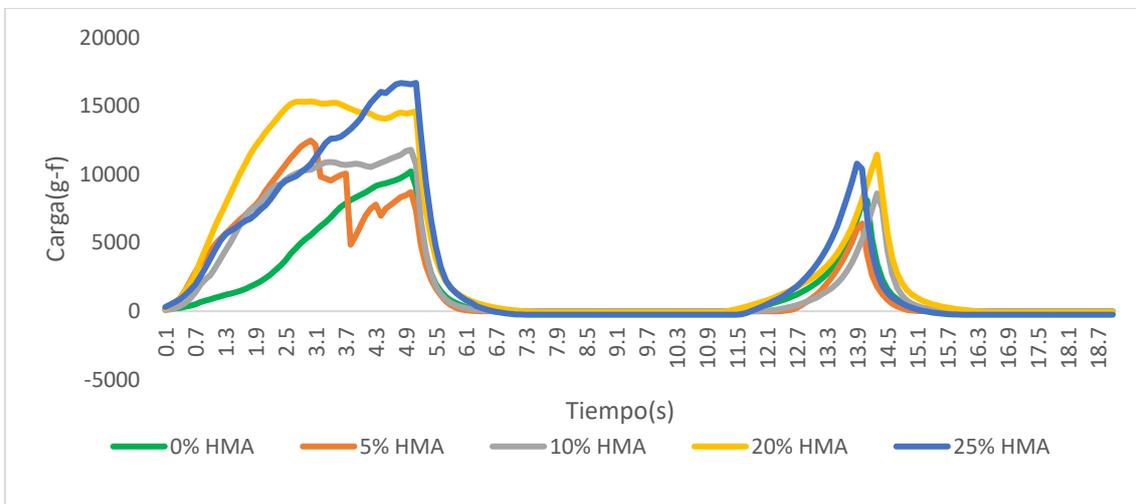
ANEXO 21: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en PEBD al día 3



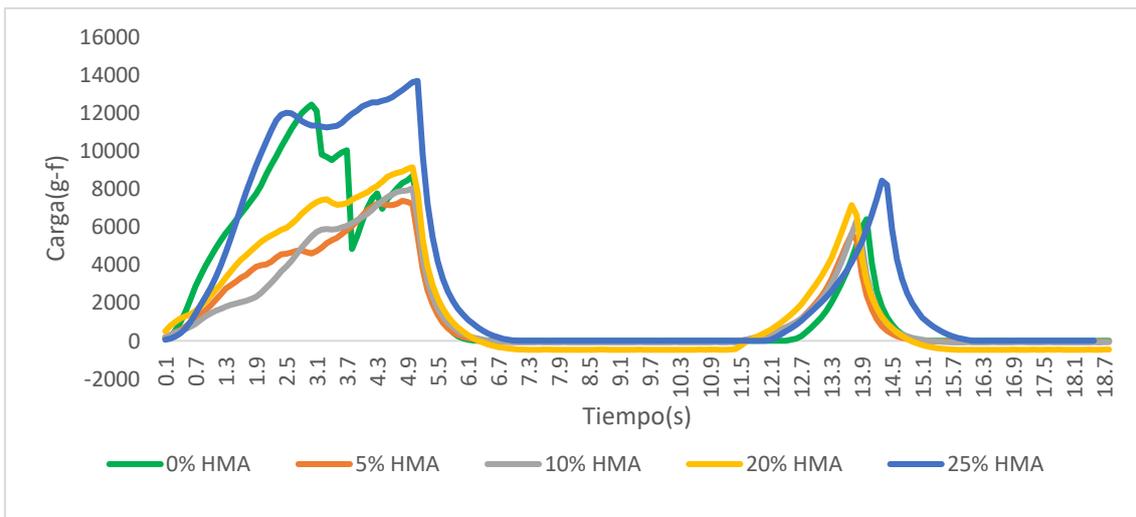
ANEXO 22: Curvas TPA para las muestras almacenadas en PEBD a -18°C en el día 3



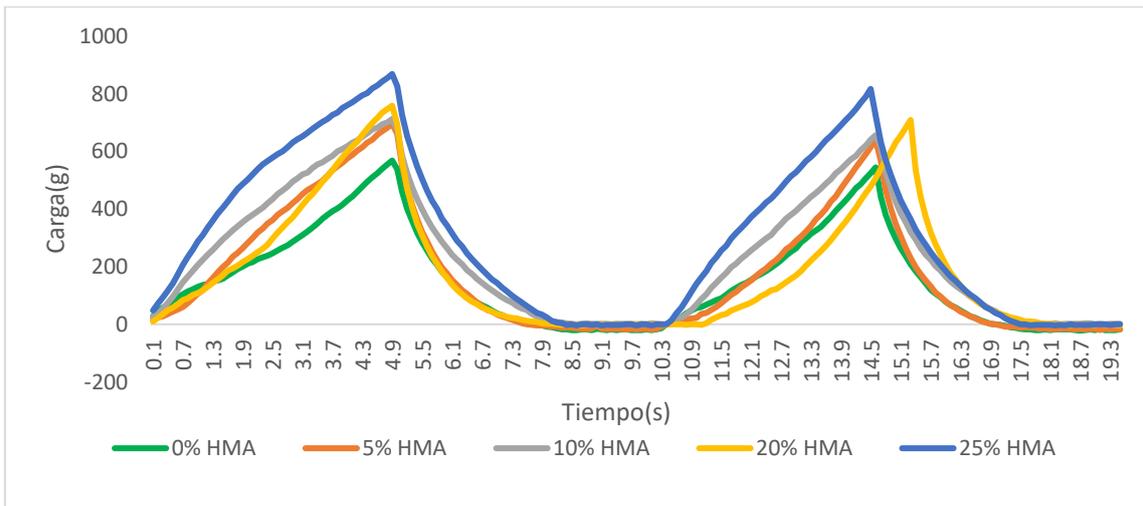
ANEXO 23: Curvas de TPA para las muestras sin envase en el día 4



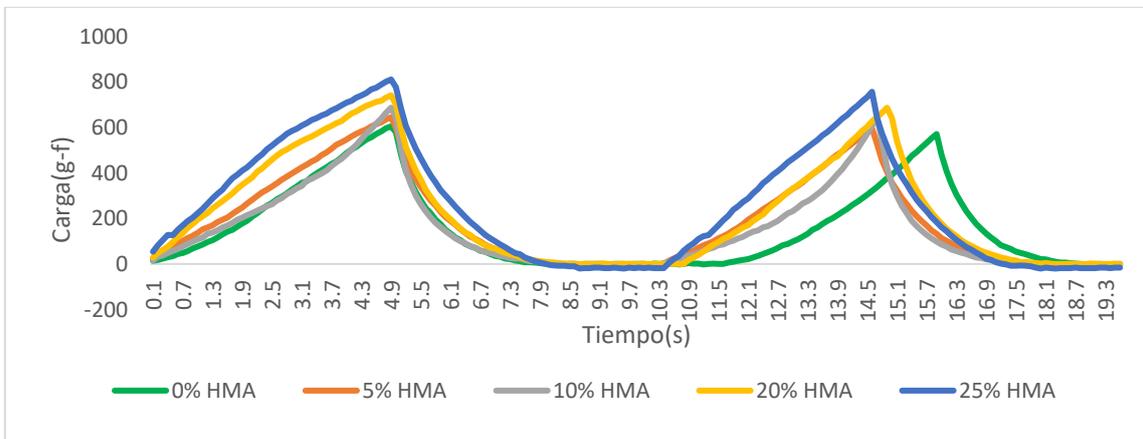
ANEXO 24: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en papel Kraft en el día 4



ANEXO 25: Curvas de TPA para las muestras almacenadas en PEBD al día 4



ANEXO 26: Curvas TPA para las muestras almacenadas en PEBD a -18°C en el día 4



ANEXO 27: Promedio de textura de las muestras en el día 0

Porcentaje de sustitución	Dureza (g)	Resiliencia	Cohesividad	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (J)
M1-Testigo	677.5	0.278	0.665	0.408	0.020
5% HMA	794.5	0.285	0.628	0.405	0.020
10% HMA	1143.0	0.310	0.590	0.398	0.030
20% HMA	1295.5	0.290	0.550	0.390	0.033
25% HMA	1465.0	0.335	0.545	0.385	0.038

ANEXO 28: Promedio de textura de las muestras en el día 1 (24 horas después de producción)

Porcentaje de sustitución	Dureza (g)	Resiliencia	Cohesividad	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (J)
Pan semita almacenado sin envase					
M1-Testigo	1118.0	0.260	0.640	0.413	0.030
5%	1422.0	0.273	0.595	0.408	0.033
10%	1987.0	0.210	0.473	0.393	0.035
20%	2095.5	0.188	0.470	0.393	0.038
25%	2501.5	0.165	0.375	0.403	0.038
Pan semita almacenado en papel kraf					
0%	1097.0	0.303	0.680	0.400	0.038
5%	1258.0	0.263	0.588	0.400	0.033
10%	1588.0	0.295	0.610	0.395	0.040
20%	1922.0	0.273	0.568	0.390	0.038
25%	2175.5	0.265	0.543	0.393	0.045
Pan semita almacenado en PEBD a temperatura ambiente					
0%	542.5	0.315	0.698	0.413	0.015
5%	547.5	0.320	0.705	0.418	0.020
10%	621.5	0.320	0.715	0.405	0.018
20%	711.5	0.305	0.673	0.403	0.020
25%	761.0	0.283	0.673	0.400	0.018
Pan semita almacenado en PEBD a -18°C					
0%	568.0	0.338	0.728	0.415	0.018
5%	579.5	0.278	0.653	0.405	0.015
10%	639.5	0.328	0.705	0.410	0.020
20%	765.5	0.305	0.668	0.405	0.020
25%	785.0	0.285	0.668	0.405	0.020

ANEXO 29: Promedio de textura de las muestras en el día 2 (48 horas después de producción)

Porcentaje de sustitución	Dureza (g)	Resiliencia	Cohesividad	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (J)
Pan semita almacenado sin envase					
M1-Testigo	2830	0.175	0.32	0.3575	0.0325
5%	3544.5	0.1325	0.27	0.3175	0.03
10%	3710	0.105	0.225	0.2725	0.0325
20%	5211	0.095	0.2325	0.2525	0.0325
25%	6687	0.1125	0.2725	0.27	0.0525
Pan semita almacenado en papel kraf					
0%	1911.5	0.225	0.505	0.37	0.035
5%	2713	0.185	0.45	0.37	0.0425
10%	2448	0.225	0.495	0.37	0.045
20%	3634.5	0.16	0.3775	0.355	0.045
25%	5503	0.1875	0.3925	0.345	0.0725
Pan semita almacenado en PEBD a temperatura ambiente					
0%	543.5	0.3075	0.6825	0.4025	0.0125
5%	676	0.235	0.6575	0.4025	0.0225
10%	632.5	0.3225	0.7025	0.3975	0.02
20%	724	0.2925	0.6	0.3925	0.0175
25%	775	0.305	0.61	0.39	0.02
Pan semita almacenado en PEBD a -18°C					
0%	544.5	0.3125	0.6575	0.4075	0.0125
5%	610	0.34	0.6975	0.4025	0.02
10%	619.5	0.3175	0.6675	0.4025	0.0175
20%	662	0.3225	0.665	0.4025	0.02
25%	720.5	0.315	0.6425	0.4025	0.02

ANEXO 30: Promedio de textura y pérdida de peso de las muestras en el día 3

Porcentaje de sustitución	Dureza (g)	Resiliencia	Cohesividad	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (J)
Pan semita almacenado sin envase					
M1-Testigo	7709.0	0.070	0.133	0.288	0.030
5%	9029.5	0.095	0.130	0.275	0.030
10%	10756.5	0.098	0.055	0.248	0.030
20%	12475.0	0.090	0.138	0.240	0.038
25%	15349.5	0.065	0.145	0.205	0.048
Pan semita almacenado en papel kraf					
0%	3607.0	0.135	0.305	0.285	0.023
5%	4928.5	0.148	0.370	0.275	0.045
10%	5878.5	0.103	0.230	0.248	0.040
20%	8446.0	0.105	0.215	0.240	0.043
25%	7359.5	0.078	0.120	0.193	0.023
Pan semita almacenado en PEBD a temperatura ambiente					
0%	550.0	0.228	0.510	0.408	0.015
5%	610.0	0.223	0.633	0.393	0.015
10%	626.0	0.293	0.628	0.393	0.013
20%	733.5	0.270	0.598	0.398	0.018
25%	753.5	0.298	0.598	0.383	0.018
Pan semita almacenado en PEBD a -18°C					
0%	548.5	0.298	0.655	0.405	0.015
5%	612.0	0.315	0.665	0.403	0.015
10%	628.5	0.295	0.625	0.400	0.015
20%	720.0	0.290	0.645	0.403	0.018
25%	792.0	0.330	0.670	0.393	0.020

ANEXO 31: Promedio de textura de las muestras en el día 4

Porcentaje de sustitución	Dureza (g)	Resiliencia	Cohesividad	Elasticidad (cm)	Masticabilidad (J)
Pan semita almacenado sin envase					
M1-Testigo	10072.5	0.110	0.193	0.258	0.048
5%	12473.5	0.105	0.178	0.195	0.045
10%	11982.0	0.083	0.105	0.168	0.033
20%	15017.5	0.078	0.155	0.193	0.053
25%	16552.5	0.065	0.143	0.198	0.050
Pan semita almacenado en papel kraf					
0%	5018.0	0.133	0.280	0.285	0.045
5%	7398.0	0.098	0.178	0.240	0.030
10%	8193.5	0.113	0.223	0.253	0.048
20%	9066.5	0.135	0.250	0.243	0.048
25%	13612.0	0.063	0.138	0.193	0.038
Pan semita almacenado en PEBD a temperatura ambiente					
0%	567.0	0.298	0.643	0.420	0.015
5%	696.0	0.325	0.675	0.418	0.023
10%	707.0	0.273	0.645	0.398	0.020
20%	751.5	0.290	0.668	0.393	0.020
25%	766.0	0.320	0.630	0.390	0.020
Pan semita almacenado en PEBD a -18°C					
0%	601.5	0.320	0.640	0.405	0.015
5%	645.5	0.328	0.705	0.405	0.020
10%	687.5	0.310	0.698	0.395	0.020
20%	746.5	0.323	0.690	0.395	0.020
25%	788.0	0.318	0.653	0.390	0.020