

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO QUÍMICO, MICROBIOLÓGICO Y
REOLÓGICO DE MASA FERMENTADA Y SU EFECTO EN LA ELABORACIÓN DE
PAN INTEGRAL DE TRIGO

Por:

NESTOR RAUL MOSQUERA NORIEGA
NAUDY YIRETH SAPUYES MOLINA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN-CAUCA
2023

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO QUÍMICO, MICROBIOLÓGICO Y
REOLÓGICO DE MASA FERMENTADA Y SU EFECTO EN LA ELABORACIÓN DE
PAN INTEGRAL DE TRIGO

NESTOR RAUL MOSQUERA NORIEGA
NAUDY YIRETH SAPUYES MOLINA

Trabajo de grado en la modalidad de trabajo de investigación, para optar por el título de
ingenieros agroindustriales

Directores:

PhD. JOSÉ LUIS HOYOS CONCHA
PhD. REMIGIO YAMID PISMAG PORTILLA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN-CAUCA
2023

Nota de aceptación

Los directores y los jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del proyecto por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

REMIGIO YAMID PISMAG PORTILLA Ph. D
Director

JOSÉ LUIS HOYOS CONCHA Ph. D
Director

DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA Ph. D
Jurado

JOSÉ FERNANDO SOLANILLA DUQUE Ph. D
Jurado

CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN.....	11
2. ABSTRACT	13
3. INTRODUCCIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5. MARCO HISTÓRICO.....	17
6. MARCO TEÓRICO.....	20
6.1. LOCALIZACIÓN.....	20
6.2. PAN INTEGRAL	20
6.4. MASA FERMENTADA	21
6.4.1. Tipos de masa fermentada.....	21
6.5. MICROBIOTA EN LA MASA FERMENTADA	21
6.5.1. Bacterias ácido lácticas (BAL) en la masa fermentada.....	22
6.5.2. Levaduras en la masa fermentada.	22
6.6. CALIDAD DE LAS MASAS DEL PAN.....	22
6.7. CALIDAD DEL PAN.....	23
7. METODOLOGÍA	24
7.1. RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	24
7.1.1. Harina refinada e integral de trigo.....	24
7.1.2. Harina de centeno integral.....	25
7.1.3. Malta.....	25
7.2. ELABORACIÓN DE MASA FERMENTADA	25
7.2.1. Liofilización de masa fermentada	26
7.2.2. Secado de masa fermentada	26
7.3. PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE MASA FERMENTADA Y SU COMPORTAMIENTO REOLÓGICO EN LA MASA DEL PAN.....	26

7.3.1. Propiedades químicas de la masa fermentada	26
7.3.1.1. Condiciones de pH y acidez de la masa fermentada	26
7.3.1.2. Azúcares reductores	27
7.3.1.3. Porcentaje de hidrólisis de proteína	27
7.3.1.4. Análisis proximal	28
7.3.2. Propiedades microbiológicas de la masa fermentada.....	29
7.3.2.1. Caracterización de bacterias ácido-lácticas	29
7.3.2.2. Caracterización de mesófilos aerobios.....	29
7.3.2.3. Caracterización de hongos y levaduras	29
7.3.2.4. Análisis de comparación de morfotipos.....	29
7.3.3. Reología de la masa del pan	30
7.3.3.1. Diseño experimental	30
7.3.3.2. Falling number	30
7.3.3.3. Gluten húmedo y seco.....	31
7.3.3.4. Prueba farinográfica.....	31
7.3.3.5. Prueba alveográfica.....	31
7.4. PROPIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS Y SENSORIALES DE PAN	
INTEGRAL DE TRIGO Y MF	32
7.4.1. Elaboración del pan	32
7.4.2. Propiedades físicas del pan.....	33
7.4.2.1. Determinación de volumen	33
7.4.2.2. Análisis de la estructura celular de la miga	33
7.4.2.3. Determinación de color de la corteza y miga del pan.....	33
7.4.3. Propiedades reológicas del pan	34
7.4.3.1. Determinación de textura de la corteza de pan	34
7.4.3.2. Determinación de textura de la miga del pan (TPA)	34
7.4.4. Análisis sensorial.....	35
8. RESULTADOS.....	36

8.1. PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE MASA FERMENTADA Y SU EFECTO REOLÓGICO EN LA MASA DEL PAN.....	36
8.1.1. Propiedades químicas de la masa fermentada	36
8.1.1.1. Análisis de pH y Acidez titulable (TTA).....	36
8.1.1.2. Azúcares reductores	38
8.1.1.3. Porcentaje de hidrólisis de proteína	40
8.1.1.4. Análisis proximal de materia prima y masa fermentada.....	42
8.1.2. Microbiología de la masa fermentada	43
8.1.3. Reología de la masa del pan	46
8.1.3.1. Falling number	46
8.1.3.2. Gluten húmedo y seco.....	48
8.1.3.3. Prueba farinográfica.....	51
8.1.3.4. Prueba alveográfica.....	56
8.2. PROPIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS Y SENSORIALES DEL PAN INTEGRAL DE TRIGO Y MF	60
8.2.1. Caracterización física del pan.....	60
8.2.1.1. Volumen del pan.....	60
8.2.1.2. Análisis de la estructura celular de la miga	61
8.2.1.3. Color de la corteza y la miga del pan.....	63
8.2.2. Reológica del pan	65
8.2.2.1. Textura de la miga del pan.....	66
8.2.2.2. Textura de la corteza del pan	70
8.2.3. Análisis sensorial.....	71
9. CONCLUSIONES	76
10. RECOMENDACIONES	77
11. ANEXOS	78
12. BIBLIOGRAFÍA	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama metodológico.....	24
Figura 2. Elaboración de masa fermentada	25
Figura 3. Comportamiento de TTA y pH en el tiempo de fermentación.	37
Figura 4. Comportamiento de azúcares reductores en función del tiempo de fermentación	39
Figura 5. Comportamiento de azúcares reductores medido en un solo batch.....	40
Figura 6. Comportamiento de hidrólisis de proteína en función del tiempo de fermentación	41
Figura 7. Comportamiento de hidrólisis de proteína medido en un solo batch.....	42
Figura 8. Crecimiento microbiano durante la fermentación de MF.....	45
Figura 9. Falling number en las diferentes mezclas de HIT y MF.....	47
Figura 10. Fracciones de gluten húmedo en diferentes mezclas de HIT y MF.....	49
Figura 11. Índice de gluten en las diferentes mezclas de HIT y MF.....	50
Figura 12. Porcentaje de gluten seco de la mezcla de harina integral de trigo y MF.....	51
Figura 13. Porcentaje de absorción de agua en la mezcla de harina integral de trigo y MF	52
Figura 14. Tiempo de desarrollo de la mezcla de harina integral de trigo y MF	53
Figura 15. Estabilidad de la mezcla en las diferentes mezclas de HIT y MF	54
Figura 16. Índice de tolerancia de las diferentes mezclas de HIT y MF.....	55
Figura 17. Número de calidad farinográfico en las diferentes mezclas de HIT y MF	56
Figura 18. Tenacidad y extensibilidad en las diferentes mezclas de HIT y MF	57
Figura 19. Tenacidad/extensibilidad en las diferentes mezclas de HIT y MF	58
Figura 20. Trabajo de deformación de la mezcla de harina integral de trigo y MF	59
Figura 21. Comportamiento del volumen del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF.	61

Figura 22.	Estructura celular de la miga del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF63	
Figura 23.	Color de la corteza del pan	64
Figura 24.	Color de la miga del pan	65
Figura 25.	Comportamiento de la dureza del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF	67
Figura 26.	Comportamiento de la cohesividad del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF	68
Figura 27.	Comportamiento de la adhesividad del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF	69
Figura 28.	Comportamiento en la masticabilidad del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF	70
Figura 29.	Dureza de la corteza del pan integral de trigo con inclusión de MF	71
Figura 30.	Evaluación sensorial del aroma del pan integral de trigo con inclusión de MF	73
Figura 31.	Evaluación sensorial del sabor del pan integral de trigo con inclusión de MF74	
Figura 32.	Evaluación sensorial de la textura del pan integral de trigo con inclusión de MF	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Investigaciones sobre el uso de masas fermentadas en panificación.....	17
Tabla 2. Ingredientes del pan	32
Tabla 3. Propiedades químicas durante la elaboración de MF	36
Tabla 4. Análisis proximal (% bs) de masa fermentada y harina integral de trigo.....	42
Tabla 5. Propiedades microbiológicas durante la elaboración de MF	44
Tabla 6. Parámetros reológicos de la masa del pan	46
Tabla 7. Propiedades físicas del pan integral de trigo con inclusión de MF	60
Tabla 8. Análisis de la estructura celular de la miga en el pan en las diferentes mezclas de HIT y MF	62
Tabla 9. Propiedades reológicas del pan integral de trigo con inclusión de MF	66
Tabla 10. Propiedades sensoriales del pan integral de trigo con inclusión de MF	72

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Descripción macroscópica y microscópica de bacterias ácido lácticas en MF78	
ANEXO 2. Descripción macroscópica y microscópica de mesófilos aerobios en MF	82
ANEXO 3. Análisis alveográfico tratamiento 0 réplica 1	93
ANEXO 4. Análisis alveográfico tratamiento 0 réplica 2	94
ANEXO 5. Análisis alveográfico tratamiento 1 réplica 1	95
ANEXO 6. Análisis alveográfico tratamiento 1 réplica 2	95
ANEXO 7. Análisis alveográfico tratamiento 2 réplica 1	97
ANEXO 8. Análisis alveográfico tratamiento 2 réplica 2	98
ANEXO 9. Análisis alveográfico tratamiento 3 réplica 1.	99
ANEXO 10. Análisis alveográfico tratamiento 3 réplica 2	100
ANEXO 11. Análisis Farinográfico tratamiento 0 réplica 2	101
ANEXO 12. Análisis Farinográfico tratamiento 0 réplica 2	102
ANEXO 13. Análisis Farinográfico tratamiento 1 réplica 1	103
ANEXO 14. Análisis Farinográfico tratamiento 1 réplica 2	104
ANEXO 15. Análisis Farinográfico tratamiento 2 réplica 1	105
ANEXO 16. Análisis Farinográfico tratamiento 2 réplica 2	106
ANEXO 17. Análisis Farinográfico tratamiento 3 réplica 1	107
ANEXO 18. Análisis Farinográfico tratamiento 3 réplica 2	108
ANEXO 19. Análisis sensorial del Pan con inclusión de masa fermentada.....	109

1. RESUMEN

El pan es un alimento básico y muy consumido en todo el mundo, en la actualidad existe una creciente demanda de productos saludables y naturales como el pan de masa madre o masa fermentada, debido a la calidad nutricional mejorada, así como también mejores propiedades funcionales. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento químico, microbiológico y reológico de masa fermentada (MF) y su efecto en la elaboración de pan integral de trigo. Para ello inicialmente se obtuvo MF elaborada a partir de harina integral de centeno, malta, harina refinada de trigo y agua. Durante la elaboración de la MF se realizaron evaluaciones químicas (acidez titulable, pH, azúcares reductores e hidrólisis proteínas) y microbiológicas (bacterias ácido lácticas, mesófilos aerobios, mohos y levaduras). Se evaluaron diferentes porcentajes de inclusión de MF (10%, 15%, 20%) con harina integral de trigo (HIT) y las mezclas se sometieron a evaluaciones reológicas (falling number, determinación de gluten, farinógrafo y alveógrafo). Posteriormente se procedió a la obtención de panes empleando un protocolo estándar y se evaluaron parámetros físicos (volumen, estructura celular en miga y color), reológicos (textura de la corteza y la miga del pan) y sensoriales. Como resultado de la caracterización de MF se pudo establecer que durante el proceso fermentativo se registraron incrementos de acidez titulable (0,9% a 2,4%) con una consecuente reducción de pH (6,7 a 4,1) en 64 h de fermentación. De igual forma, se logró evidenciar un aumento en el contenido de azúcares e hidrólisis de proteína basados en un comportamiento cinético entre 36 h y 48 h de fermentación. Se evidenció el crecimiento microbiano de bacterias ácido lácticas (BAL), mesófilos, mohos y levaduras hasta las 36 h de fermentación con un posterior descenso en sus conteos poblacionales. Durante la evaluación de las diferentes mezclas de HIT y MF (10%, 15%, 20%) se logró establecer que al aumentar el porcentaje de inclusión de MF disminuye el valor de falling number (294,0 s a 261,5 s). además, al agregar 10 % de MF aumento el porcentaje de gluten húmedo y seco (32,0 % y 11,6 %). En la prueba farinográfica se logró establecer que el índice de tolerancia de la mezcla (MTI) aumentó con la adición de MF (36,5 FU a 80,5 FU), mientras que el porcentaje de absorción de agua disminuyó (72,3 % a 69,0 %), de la misma manera que el tiempo de desarrollo (11,3 min a 6.6 min), estabilidad de la mezcla (9,05 min a 4,15min), y número de calidad farinográfico (150,5 a 86,5). La adición de MF a la masa del pan afectó significativamente las propiedades reológicas durante la prueba alveográfica, se observó una reducción en la tenacidad (237,0 mm a 142,5mm) y extensibilidad (80,0 mm a 39,0mm) lo que llevó a una mayor relación P/L con inclusión de MF (2,9 a 3,9). De igual modo, la mezcla con un 10 % de MF mostró el mayor trabajo de deformación de la masa ($126,0 \cdot 10^{-4}$ J a $260,0 \cdot 10^{-4}$ J). La adición de MF en la formulación del pan genera una mayor luminosidad (60,4 a 65,0) y coloración amarilla (16,1 a 17,4) en la miga del pan, mientras que la corteza mostró una disminución de la luminosidad (46,3 a 42,4). Además, al aumentar la adición de MF disminuyó el tamaño de las celdas de gas con mayor número de celdas a medida que aumentaba la concentración de MF en el pan. El 10% de adición de MF potenció parámetros como el aumento del volumen (600 cm^3 a 680 cm^3), reducción de la dureza de la miga (830,4 gf a 572,6 gf) aumento en dureza de la corteza (0,3 N a 0,5N), mayor elasticidad

(86% a 89%) y menor masticabilidad (4,1gf a 3,5 gf), sin embargo, el pan con mayor preferencia por parte de los panelistas fue el tratamiento con 15 % de inclusión de MF.

2. ABSTRACT

Bread is a staple food and widely consumed throughout the world, currently there is a growing demand for healthy and natural products such as sourdough or sourdough bread, due to improved nutritional quality, as well as better functional properties. The objective of the present investigation was to evaluate the chemical, microbiological and rheological behavior of fermented dough (MF) and its effect on the elaboration of whole wheat bread. For this, MF was initially obtained, made from whole rye flour, malt, refined wheat flour and water. During the preparation of the MF, chemical (titratable acidity, pH, reducing sugars and protein hydrolysis) and microbiological (lactic acid bacteria, aerobic mesophiles, molds and yeasts) evaluations were carried out. Different percentages of inclusion of MF (10%, 15%, 20%) with whole wheat flour (HIT) were evaluated and the mixtures were subjected to rheological evaluations (falling number, gluten determination, farinograph and alveograph). Subsequently, panels were obtained using a standard protocol and physical (volume, cell structure in crumb and color), rheological (texture of the crust and bread crumb) and sensory parameters were evaluated. As a result of the characterization of MF, it was possible to establish that during the fermentation process there were increases in titratable acidity (0.9% to 2.4%) with a consequent reduction in pH (6.7 to 4.1) in 64 h. of fermentation. Similarly, an increase in the sugar content and protein hydrolysis based on a kinetic behavior between 36 and 48 h of fermentation will be evidenced. The microbial growth of lactic acid bacteria (LAB), mesophiles, molds and yeasts was evidenced up to 36 h of fermentation with a subsequent decrease in their population counts. During the evaluation of the different mixtures of HIT and MF (10%, 15%, 20%), it was established that increasing the percentage of MF inclusion decreases the value of falling number (294.0 s to 261.5 s). In addition, by adding 10% MF, the percentage of wet and dry gluten increased (32.0% and 11.6%). In the farinographic test, it was possible to establish that the mixture tolerance index (MTI) increased with the addition of MF (36.5 FU to 80.5 FU), while the percentage of water absorption decreased (72.3 % to 69.0 %), in the same way as the development time (11.3 min to 6.6 min), stability of the mixture (9.05 min to 4.15 min), and farinographic quality number (150.5 to 86.5). The addition of MF to the bread dough significantly affected the rheological properties during the alveographic test, a reduction in toughness (237.0 mm to 142.5mm) and extensibility (80.0 mm to 39.0mm) was observed, which led to a higher P/L ratio with MF inclusion (2.9 to 3.9). Similarly, the mixture with 10% MF showed the highest deformation work of the dough (126.0 10⁻⁴ J to 260.0 10⁻⁴ J). The addition of MF in the bread formulation generates a higher luminosity (60.4 to 65.0) and yellow coloration (16.1 to 17.4) in the bread crumb, while the crust showed a decrease in luminosity. (46.3 to 42.4). In addition, with increasing MF addition, the size of the gas cells with higher number of cells decreased as the

MF concentration in the bread increased. The 10% addition of MF enhanced parameters such as volume increase (600 cm³ to 680 cm³), crumb hardness reduction (830.4 gf to 572.6 gf), crust hardness increase (0.3 N to 0.5N), greater elasticity (86% to 89%) and less chewiness (4.1gf to 3.5gf), however, the bread with the greatest preference by the panelists was the treatment with 15% of MF inclusion.

3. INTRODUCCIÓN

El pan es un alimento básico y muy consumido (Bi et al., 2023) en el mundo se producen cerca de 9 mil millones de kilogramos de pan anualmente y su consumo promedio mundial es de 70 kg por persona al año (Gu et al., 2022; Haghghata et al., 2022), Turquía es el país con más consumo per cápita por persona (104 kg/año) (Yusufoğlu et al., 2022), en latino américa el país que lidera el consumo de pan es Chile con un total de 90 kg/año seguido por Argentina (76kg/año) y Ecuador (37 kg/año), Colombia se ubica en el quinto lugar con un consumo per cápita de 22kg/año (Sectorial, 2022).

El pan tradicionalmente se elabora de harina, sal, agua y levadura, su calidad depende en gran medida del volumen, una textura uniforme y suave sin aditivos (Bi et al., 2023), sin embargo, las nuevas tendencias o tecnologías del consumo de productos saludables han llevado a la búsqueda de alimentos frescos, poco procesados, inocuos y con la menor cantidad de aditivos añadidos, lo que ha llevado a un mayor consumo de alimentos integrales que aporten mayor valor nutricional.

Los panes elaborados con harinas integrales enfrentan grandes retos, debido a que a pesar de que se consideran ricos en fibra dietaria que aumenta el valor nutricional del pan, la presencia de fibra hace que la textura y propiedades físicas del pan elaborado con este tipo de harinas tenga aceptación limitada por parte del consumidor; debido a que este tipo de panes suelen tener un menor volumen, textura gruesa y menor vida útil en comparación a los panes elaborados con harina blanca (Rosell et al., 2009).

En la actualidad hay una creciente demanda de productos saludables y naturales como el pan de masa madre, la elaboración de masas fermentadas o masa madre es uno de los procesos biotecnológicos más antiguos en la producción de alimentos derivados de los cereales (Reale, et al., 2019).

Al adicionar masa fermentada en la formulación del pan con harina integral de trigo se generan características que contribuyen de manera positiva al producto final, generalmente tienen una corteza mucho más gruesa que el pan convencional, evitando la evaporación del agua presente en la miga, manteniéndose suave por mucho más tiempo (Siepmann, F. B., et al., 2018).

Por otro lado, los microorganismos presentes en las masas fermentadas como las bacterias ácido lácticas (BAL) pueden acidificar de manera rápida la materia prima, debido a su producción de ácidos orgánicos, lo que resulta en una mayor vida útil del pan, además de contribuir a un mejoramiento en la textura y el perfil sensorial del pan (García, A. et al., 2021)

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento químico, microbiológico y reológico de masa fermentada y su efecto sobre las propiedades físicas, reológicas y sensoriales en la elaboración de pan con harina integral de trigo.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades químicas y microbiológicas de una masa fermentada y su comportamiento reológico en la masa del pan.
- Evaluar las propiedades físicas, reológicas y sensoriales de panes elaborados con harina integral de trigo que incluyen en su formulación masa fermentada en diferentes proporciones.

5. MARCO HISTÓRICO

Algunos autores, han demostrado la importancia del uso y adición de masa fermentada o masa madre en productos panificados, a continuación, se presentan algunas investigaciones sobre el efecto de las masas fermentadas en panificación.

Tabla 1. Investigaciones sobre el uso de masas fermentadas en panificación

Título	Autor/Año	Tipo de inóculo	Condiciones y variables de proceso	Conclusión
Impacto de la masa madre y la transglutaminasa en la calidad del pan de trigo sarraceno sin gluten	Moroni, A. V., Zannini, E., Sensidoni, G., & Arendt, E. K. (2012).	Harina de trigo sarraceno	Se evaluó niveles de inclusión de la masa madre de 10% y 20%, y variables de proceso como pH, acidez titulable, barrido de frecuencia y temperatura, análisis proximal y de deterioro ambiental.	La incorporación de masa madre de trigo sarraceno aumentó la calidad general del pan final. La adición de un 10 % de masa madre de trigo sarraceno aseguró un aumento del 20 % en el volumen específico y una disminución significativa en la dureza de la miga.
Efecto de la masa madre de sorgo y el polvo de pulpa de nabag (<i>zizyphus spina-christi</i>) sobre la fermentación de la masa y las características de calidad del pan.	Karrar, E., Musa, A., Sheth, S., Huang, W., Sarpong, F., & Wang, X. (2020).	Harina de sorgo Harina de pulpa de nabag.	Se evaluaron diferentes niveles de inclusión de masa madre de sorgo: (10%,20% y 30%) y (1%,3%,5% y 7%) de harina de pulpa de nabag en la elaboración del pan. Se analizaron variables como: pH, acidez titulable, análisis de perfil de textura (TPA), color de corteza y miga.	La adición de masa madre de sorgo y polvo de nabag disminuyó el pH y aumentó los valores de acidez titulable del pan. En la prueba de TPA los tratamientos fueron significativamente semejantes, sin embargo, aumentó la dureza y masticabilidad en el tratamiento con inclusión del 30% de masa madre de sorgo y 7% de harina de nabag.

Pan de masa madre tipo I al vapor elaborado con el método de masa esponjosa retardada	Wang, X., Zhao, R., & Yuan, W. (2020)	Harina de trigo blanca	Efecto el tiempo de maduración de la masa madre, porcentaje de masa madre, porcentaje de harina en masa bizcocho y el tiempo de retardo sobre el volumen específico y la puntuación sensorial total, adoptando el método de masa esponjosa retardada	Se determinó que entre 9 a 21 h las masas fermentadas alcanzaron un estado adecuado de desarrollo, además, se estableció que los parámetros idóneos son tiempo de maduración de masa 15h, 40% de inclusión masa madre, 72% de harina en masa esponjosa y tiempo de retardo de 24 h, obteniendo mayor vida útil del pan y mayor formación de compuestos aromáticos
Evaluación del efecto de la masa madre elaborado a partir de harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i>), harina de centeno (<i>Cecale cereale</i>) y harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) en el pan francés	Evelin Aguirre Achaquihui (2020)	Harina de centeno (<i>Cecale cereale</i>) Harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i>) Harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>)	Se evaluaron diferentes niveles de sustitución de masa madre en la elaboración de pan francés: 20%,30% y 40% variables de análisis: pH, acidez titulable , tamaño de alvéolo o porosidad en el pan y aceptabilidad del pan.	Se obtuvo una disminución de pH a través del tiempo y aumento de acidez titulable. En cuanto a las propiedades físicas de porosidad el tamaño de poros fue significativo en cuanto a la sustitución de masa madre con 40% en los tres tipos de masa madre con mayor formación de alvéolos.
La influencia de las masas madre no tradicionales elaboradas con harinas de quínoa, cáñamo y chía en las características del pan de maíz/arroz sin gluten	Jagelaviciute, J., & Cizeikiene, D. (2021).	Harina integral de chía, quinua y cáñamo con inoculación de <i>Lactobacillus sanfranciscensis</i>	Se evaluaron 3 tipos de masa madre sobre la porosidad, vida útil y aceptabilidad del pan de maíz/ arroz sin gluten	Se obtuvo mayor vida útil del pan elaborado con masa madre, mayor porosidad y mayor acidez en comparación con el pan preparado con harinas de chía, cáñamo y quinua sin fermentar, además, el pan con este tipo de harinas fue más aceptable para el consumidor frente a muestras que no contenían chía, cáñamo y quinua.

<p>Aplicación de masas madre de salvado de cereales para mejorar la funcionalidad tecnológica del pan de trigo blanco suplementado con puré de calabaza (<i>Cucurbita pepo</i>)</p>	<p>Ebrahimi, M., Ali Noori, S. M., Sadeghi, A., Coban, O. emir, Zanganeh, J., Ghodsmofidi, S. M., Malvandi, Z., & Raeisi, M. (2022)</p>	<p>Harina integral de cebada. Harina integral de arroz. Harina integral de trigo.</p>	<p>Se evaluó la inclusión de masa madre de harina integral de cebada, arroz y trigo con puré de calabaza, sobre la dureza, porosidad, contenido de ácido fítico y aceptabilidad global del pan elaborado con harina blanca</p>	<p>Las masas madre elaboradas con harina integral (cebada, arroz y trigo) y adición de puré de calabaza, mejoraron sinérgicamente las propiedades texturales y sensoriales del pan de molde, sin embargo, la masa madre de harina integral de cebada fue la más eficaz en cuanto a las variables evaluadas.</p>
<p>Masas madre de trigo antiguas fermentadas espontáneamente en la panificación: impacto de la calidad de la harina en las propiedades fisicoquímicas de la masa madre y el pan</p>	<p>Jelena Tomić, Tamara Dapčević-Hadnađev, Dubravka Škrobot, Nikola Maravić, Nikola Popović, Dušan Stevanović, Miroslav Hadnađev (2023)(Tomić et al., 2023)</p>	<p>Harina integral de trigo (espelta, emmer, khorasan y trigo moderno)</p>	<p>Se evaluó el efecto de la adición de 25 % y 50% de masa madre sobre las propiedades microbiológicas, pH, acidez titulable, actividad proteolítica, perfil reológico y electroforético.</p>	<p>Las masas madre presentaron una disminución en el pH, aumento de la actividad proteolítica, sin embargo, diferían en las propiedades reológicas y de calidad en el pan, los panes con adición de masa madre de emmer presentaron mayor extensibilidad en la masa y mayor volumen, en general los panes con adición de masa madre de emmer, khorasan y espelta mostraron mejores resultados que los panes de harina de trigo moderno</p>
<p>Impacto de los parámetros de proceso en el volumen específico de pan de trigo integral elaborado con estrategias de levadura a base de masa madre y levadura de panadería</p>	<p>Céline Verdonck, Yamina De Bondt Inés Pradal, Un b autismo, Niels A. Langenaeken, Kristof Brijs, Peter Goos, Luc De, Christophe M. Court (2023)</p>	<p>Harina integral de trigo</p>	<p>Se evaluó el efecto de la adición de masa madre de trigo integral y masa madre de trigo integral con levadura sobre el volumen específico del pan de trigo integral.</p>	<p>Los panes elaborados con masas madre no mostraron un efecto significativo sobre el volumen del pan en comparación con el tratamiento control, por el contrario el volumen de pan disminuyó al adicionar masa madre a la formulación.</p>

6. MARCO TEÓRICO

6.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en el centro internacional de biotecnología agroindustrial (CBA) de la Universidad del Cauca, ubicado en el municipio Popayán, departamento del Cauca, con apoyo del laboratorio de aseguramiento de la calidad y el taller de panadería experimental de la empresa Harinera del Valle S.A. planta Palmira, en el departamento del Valle del Cauca

6.2. PAN INTEGRAL

El pan integral es elaborado a partir de la mezcla de harina 100% integral, agua potable, sal, azúcar y levadura y es sometido a un proceso de fermentación y horneado. (NTC 1363, 2005). Dentro de los ingredientes del pan la harina integral de trigo es el ingrediente principal y se obtiene de la molienda del grano entero del cereal (pericarpio, endospermo y germen) (NTC 5945,2012). El agua es el segundo ingrediente mayoritario de la masa y es aquel que hace viable su amasado, la harina absorbe el agua facilitando la formación del gluten. (Aguirre, 2020); la sal se usa principalmente para dar sabor, favorecer el color de la corteza durante la cocción y ayudar a aumentar la conservación; el azúcar es el sustrato de la levadura, permite mantener una fermentación más uniforme, finalmente la levadura es el componente microbiano aportado a la masa con el fin de generar una fermentación de modo que se produzca CO₂. La levadura actúa sobre los azúcares fermentables presentes en la masa, además del añadido. El CO₂ formado queda atrapado en la masa otorgando esponjosidad y aumentando el volumen del pan (López Martell & Zapata Oviedo, 2019

6.3. IMPORTANCIA DE LA MASA FERMENTADA A NIVEL DE CONSUMO

La masa fermentada es unos procesos biotecnológicos más antiguos del mundo, ha sido utilizada ampliamente en la panificación, debido a que puede contribuir a productos con mayor aporte nutricional, mejores propiedades organolépticas, físicas, reológicas y un aumento de la vida útil en el producto terminado, durante la fermentación de masa fermentada se pueden producir ácidos orgánicos que podrían contribuir a una reducción del índice glucémico y la digestibilidad del almidón (Fang et al., 2023). Al adicionar masa fermentada en la elaboración del pan se forman masas más suaves y elásticas y mayor volumen en el pan, además de contribuir a mejorar el sabor, la estructura y estabilidad del pan(Ma et al., 2021)

6.4. MASA FERMENTADA

Es la fermentación espontánea generalmente de harina y agua, durante esta fermentación coexisten las cepas bacterianas propias de las materias primas utilizadas, generalmente bacterias ácido lácticas (BAL) y algunas levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, la masa fermentada es utilizada en panadería principalmente por mejorar la estructura del pan, aumentar el volumen, mejorar el sabor, aumentar el valor nutricional y prolongar la vida útil (Wang et al., 2020).

6.4.1. Tipos de masa fermentada. Las masas fermentadas se clasifican en tres categorías (García et al., 2021).

Las masas fermentadas tipo I, o tradicional: son aquellas que fermentan de forma espontánea y se propagan regularmente. Este tipo de masa implica una inoculación cíclica, utilizando parte de la masa ya fermentada. Este proceso se suele realizar bajo una temperatura ambiente de entre (20-30°C), con una fermentación de (5 a 7 días para conseguir una microbiota y un sistema químico estable (De Vuyst et al.,2017).

Masas fermentadas tipo II: generalmente son producidas en una fermentación de un solo paso, una corta duración (24 h aproximadamente) y elevadas temperaturas (30-37 °C) (De Vuyst et al.,2017). Este proceso permite que la masa fermentada se acidifique mucho más rápido, y pueda inhibir el crecimiento de otros microorganismos como las levaduras de la harina (Siepmann et al.,2018).

Masas fermentadas tipo III: se conoce como la masa seca obtenida de las masas fermentadas tipo II, las técnicas más utilizadas para el secado de las masas son por atomización o secado en tambor. Durante el secado en tambor, se da lugar a reacciones de maillard, produciendo sabores a malta y tostado (Brandt et al.,2019).

6.5. MICROBIOTA EN LA MASA FERMENTADA

Las harinas de cereales y otros ingredientes de la masa madre no son estériles, por lo que su microbiota es bastante compleja, especialmente cuando se fermenta de manera espontánea (Sakandar, H. A., 2019). Aunque las bacterias ácido lácticas y las levaduras son los microorganismos dominantes en la fermentación de la masa fermentada se puede encontrar otros organismos, especialmente a inicios de la fermentación (García et al., 2021).

6.5.1. Bacterias ácido lácticas (BAL) en la masa fermentada. En general las BAL, pueden de manera rápida acidificar la materia prima debido a su producción de ácidos orgánicos, pueden clasificarse en dos tipos según sus productos en la fermentación: homofermentativas y heterofermentativas, las homofermentativas se caracterizan por su producción de ácido láctico como principal producto de la fermentación de la glucosa, contribuyendo a disminuir el pH y aumentar la acidez titulable (TTA), las heterofermentativas, producen ácido acético, CO₂, etanol y ácido láctico además son las encargadas de proporcionar una variedad de compuestos que confieren sabor a la masa fermentada (García, et al., 2021)

El proceso de fermentación de la masa suele estar dominado por BAL generalmente homofermentativas, en especies particulares de *Lactobacillus*. Sin embargo, existen otras especies presentes en la fermentación, como *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus* y *Weissella* (Fujimoto et al., 2018)

6.5.2. Levaduras en la masa fermentada. La masa fermentada es un sistema biológico complejo, donde las levaduras se asocian comúnmente con las BAL, las levaduras actúan principalmente como un agente leudante y además contribuye a la formación de compuestos aromáticos del pan de masa fermentada (Yu et al., 2019) además se produce etanol y CO₂, lo que permite el levantamiento de la masa (Boudaoud et al., 2021).

A menudo en las masas fermentadas se pueden encontrar diversas cepas de levaduras, sin embargo, una masa fermentada generalmente alberga sólo una o dos especies de levadura en un momento dado, de las cuales se han reportado *C. humilis* (y *K. exigua*), *P. kudriavzevii* y *S. cerevisiae* (De Vuyst et al., 2014).

6.6. CALIDAD DE LAS MASAS DEL PAN

La masa del pan es una red que generalmente contiene harina de trigo, agua y otros ingredientes, durante la formación de la masa se forma una red de gluten que forma una masa viscoelástica, esta es una propiedad única de la harina de trigo para formar masas viscoelásticas con propiedades de retención de gas y se le atribuye principalmente a las proteínas del gluten (Gu et al., 2022), las características de la masa como la elasticidad, extensibilidad, estabilidad de la masa tiempo de desarrollo y absorción de agua depende en gran medida de la calidad de las harinas debido a que disminución en la cantidad y calidad de gluten puede afectar significativamente la calidad del producto final.

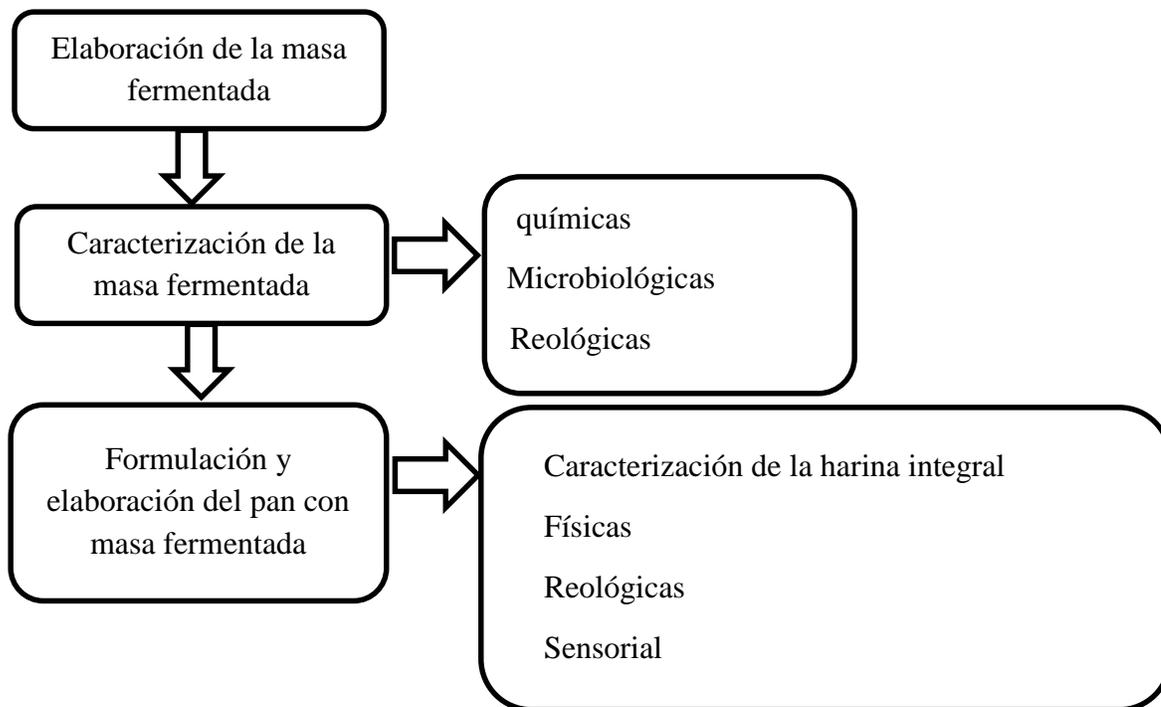
6.7. CALIDAD DEL PAN

El pan es un alimento ampliamente consumido en todo el mundo, es una fuente de energía, proteínas, carbohidratos complejos principalmente de almidón, vitaminas y minerales, que hacen del pan un alimento de gran consumo, generalmente su consumo está ligado a la calidad del pan, es decir que se espera consumir panes principalmente con un mayor volumen, con textura más suaves, con una estructura celular uniforme y una vida útil prolongada(Gu et al., 2022)

7. METODOLOGÍA

En la figura 1 se describe de manera general la metodología propuesta para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Figura 1. Diagrama metodológico



7.1. RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La recepción y adecuación de la materia prima se realizó con el fin de garantizar la conservación de las mismas, evitando cambios por manipulación y factores que afectarán directa o indirectamente cada una de las mediciones, a continuación, se presentan cada uno de los procedimientos seguidos para cada materia prima

7.1.1. Harina refinada e integral de trigo. Las harinas de trigo refinada (50 kg) y harina integral de trigo (50kg), fueron suministradas por parte de la fábrica HARINERA DEL VALLE S.A. (Cali, Valle del Cauca, Colombia). Las harinas fueron empacadas al vacío en bolsas de polietileno de alta densidad, con un peso de 500 gramos de harina por empaque y se almacenaron en un lugar fresco y seco hasta su uso.

7.1.2. Harina de centeno integral. La harina de centeno integral comercial (10 kg), fue adquirida en DISTRIBUIDORA DISTRIQUESOS (Cali, Valle del Cauca, Colombia). La harina fue empacada al vacío en bolsas de polietileno de alta densidad, con un peso de 100 gramos de harina por empaque y se almacenaron en un lugar fresco y seco hasta su uso.

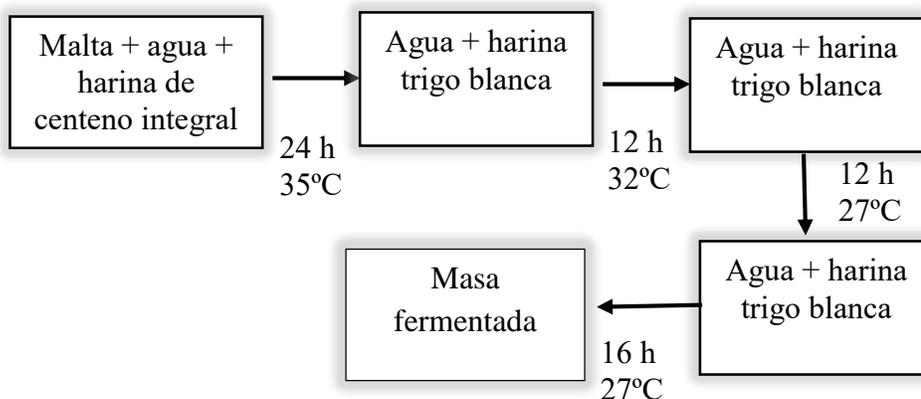
7.1.3. Malta. Fue adquirida en DISTRIBUIDORA DISTRIQUESOS (Cali, Valle del Cauca, Colombia), la malta (3 kg) fue empacada al vacío en bolsas de polietileno de alta densidad, con un peso de 20 gramos de harina por empaque y se almacenaron en un lugar fresco y seco hasta su uso.

7.2. ELABORACIÓN DE MASA FERMENTADA

Se agregaron 50 g de harina de centeno integral, 1 g de malta y 60 g de agua a 35°, se llevó a incubadora (Isotemp fisher scientific, USA) por 24 horas a 35°C a esta mezcla se le denominó refresco 0 (R0). En 24 horas se tomó la mezcla ya fermentada de R0 (110 g), se le adicióno 110g de harina de trigo y 110 g de agua a 35°C, se llevó nuevamente a incubadora por 12 horas a 32°C, a esta mezcla se le denominó refresco 1 (R1), pasadas 12 horas de fermentación se tomó la masa de R1 (330 g), se le adicióno 330 g de agua a 33°C y 330g de harina de trigo; se dejó fermentar por 12 horas a 27°C a este punto la mezcla se denominó refresco 2 (R2). Al pasar 12 horas se tomaron 200 g de R2 y se le adicióno 200 g de agua a 33°C, 200 g de harina de trigo y se fermento 16 horas a 27°C.

Si se desea conservar la masa madre se hace una relación 2:1, donde por una unidad de masa fermentada se agrega dos partes de agua, dos partes de harina y se conserva a una temperatura de 12°C.

Figura 2. Elaboración de masa fermentada



7.2.1. Liofilización de masa fermentada. Se tomaron 30 g de masa fermentada durante cada refresco, la muestra se llevó a ultra congelación a -80°C, posteriormente se llevó a liofilizador (freeze dryers. USA) durante 24 horas a 10 pascales de presión, la muestra liofilizada se trituró en mortero, se molió en molino analítico (IKA A 11, USA) y se tamizo en tamiz malla 100

7.2.2. Secado de masa fermentada. Una vez finalizada la fermentación de masa fermentada, se tomó parte de la masa y se secó por aproximadamente 24 horas a 40 °C, una vez seca la masa se molió en molino analítico (IKA MF 10, USA) y se tamizo en tamiz °N 70 (212 micras), con el fin de cumplir con las condiciones básicas de una harina comercial, esta prueba se realizó únicamente para evaluar las propiedades reológicas de la masa, debido a que los equipos utilizados para tal fin son exclusivos y sensibles para harinas.

7.3. PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE MASA FERMENTADA Y SU COMPORTAMIENTO REOLÓGICO EN LA MASA DEL PAN.

7.3.1. Propiedades químicas de la masa fermentada. A continuación, se describe la metodología para la evaluación de las propiedades químicas de la masa fermentada.

7.3.1.1. Condiciones de pH y acidez de la masa fermentada. Se empleó el método establecido por la AOAC 981.12/90. se tomaron 2 g de muestra de masa madre y se diluyeron en 20 ml de agua destilada, se dejó sedimentar por 10 minutos, finalmente se midió alícuota directamente en un pH metro, la medición se realizará por duplicado. La medición de acidez titulable se realizó por el método volumétrico/titulación establecido por la (AOAC 1984). Se tomaron 2 g de muestra, se diluyeron en 20 ml de agua destilada y se agitó en shaker (MaxQ 4450 orbital Thermo Fisher Scientific USA). Se agregó una gota del indicador fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N hasta una coloración rosada pálida (Aguirre Et al., 2020). el % de acidez se determinará empleando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ac láctico} = \left(\text{gasto} * N * \frac{Fe}{\text{muestra}} \right) * 100$$

Donde, N es la Normalidad de la solución de hidróxido de sodio 0,1N y Fe es el equivalente al ácido láctico.

7.3.1.2. Azúcares reductores. La determinación de azúcares reductores se llevó a cabo mediante el método del ácido dinitrosalicílico DNS, siguiendo la metodología descrita por (Miller, 1959) y la adaptación propuesta por Bonilla & Hoyos, (2012). Se pesaron 0.4 g de muestra de harinas, se adicionó agua se aforó a 35 mL, se centrifugó en centrífuga Hermle Z326 K a 4500 rpm por 10 minutos, se filtró y se tomó del filtrado 1 mL en tubo de ensayo, al que se le adiciono 1 mL de solución DNS y 3 mL de agua destilada. Se llevó a ebullición por 5 minutos y se enfrió en baño de hielo por 10 minutos más. Después de 15 minutos de reposo, se midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS Shimadzu UV 1800 a 540 nm. Los valores fueron transformados de una curva patrón elaborada a partir de D-glucosa.

El análisis de azúcares reductores se realizó durante cada batch de fermentación de MF, además se hizo un seguimiento a un solo batch con el fin de verificar el comportamiento de azúcares reductores durante el proceso fermentativo

7.3.1.3. Porcentaje de hidrólisis de proteína. Se empleó el método de ácido 2,4,6-trinitrobenceno-sulfónico (TNBS) con algunas modificaciones (Nissen, 1979). Se pesaron 1,5 g de muestra y se adicionaron 10 mL de buffer fosfato 0,2 M, pH 7,0. Se centrifugó en centrífuga Hermle Z326 K durante 10 minutos a 3500 rpm a una temperatura de 4 °C por 15 min, se filtró el sobrenadante. Para la reacción se tomaron 128 µL de sobrenadante en un tubo de ensayo tapa rosca, se adicionó 1 mL de TNBS al 0,01 % y 2 mL de buffer fosfato 0,2 M, pH 8,2 y se agitó vigorosamente en vórtex por 15 s. Se llevó a baño de agua a 50°C durante 30 minutos, finalizando la reacción con la adición de 2 mL de sulfito de sodio 0,1 M. Se realizó la lectura en espectrofotómetro UV-VIS Shimadzu UV 1800 a una longitud de onda de 410 nm interpolado en curva estándar de L-Leucina. El grado de hidrólisis se calculó de acuerdo con la siguiente expresión.

$$\%DH = (((NH_2)_{tx}) / ((NH_2)_T)) * 100$$

Donde, (NH₂)_{tx} es la concentración de grupos α – amino terminal, expresados como mM de L-leucina al tiempo tx. Así mismo, (NH₂)_T es la es la concentración de grupos α – amino terminal totales expresados como mM de L-Leucina en la muestra después de una hidrólisis ácida total. Para la determinación de hidrólisis total, se tomaron 1,5 g de la mezcla de harina de centeno malta y harina de trigo sin fermentar, se adicionaron 4,5 mL de HCl 6 N y se mantuvo a 100 °C durante 24 h en tubo de ensayo con tapa rosca. Posteriormente se neutralizaron con 4,5 mL de NaOH 6 N, se filtró y se realizó lectura en UV de acuerdo con lo descrito anteriormente.

El análisis de hidrólisis de proteína se realizó durante cada batch de fermentación de MF, además se hizo un seguimiento a un solo batch con el fin de verificar el comportamiento de hidrólisis de proteína durante el proceso fermentativo

7.3.1.4. Análisis proximal. La humedad se determinó de acuerdo con la norma (AOAC 930.15, 2005), donde se pesó 10 g de muestra, se sometió a deshidratación a una temperatura de 105 °C en horno de convección forzada Lab Companion OF-01E (USA), hasta peso constante.

El contenido de cenizas se determinó siguiendo norma (AOAC 942.05, 2005); se pesó 1,0 g de muestra seca en crisol de porcelana y se llevó a mufla Thermolyne Fumace 1400 (USA) a 550 °C por 2 horas.

Para cuantificación de extracto etéreo se siguió la norma (AOAC 920.39, 2005), donde se pesó 1,0 g de muestra dentro de cartuchos de extracción micro soxhlet y se procesó en un sistema de extracción SOXHLET RAYPA (España), en éter etílico con reflujo durante 4 horas.

El contenido de proteína bruta fue determinado de acuerdo con la norma (AOAC 960.52, 1990); se tomó 0,8 g de muestra la cual fue sometida a digestión con 10 mL H₂SO₄ concentrado en un sistema compacto RAYPA de digestión MBC (España), neutralizada con NaOH y destilada en solución de H₃BO₃ al 3 % con indicador de Tashiro en equipo destilador RAYPA DNP-2000 (España).

Para la cuantificación de proteína (Factor 5,83) cada muestra se tituló con HCL 0,1 N. El contenido de fibra bruta se determinó según método (AOAC 991.43, 2005); para ello se llevó 1,0 g del residuo resultante de la determinación de grasa al sistema para la cuantificación de fibra FIBER TEST (España), se realizó digestión ácida con H₂SO₄ 0,255 N y básica con NaOH 0,313 N; el residuo se transfirió a crisol, se secó en horno a una temperatura de 100 °C hasta peso constante y se llevó a mufla a 550 °C durante 20 minutos. El extracto no nitrogenado (ENN), se calculó por diferencia entre 100 y el contenido de fibra bruta, extracto etéreo, proteína bruta y cenizas.

El análisis proximal fue realizado en la masa fermentada y la harina integral de trigo, con el fin de evaluar la composición de las materias primas en la elaboración de pan integral de trigo

7.3.2. Propiedades microbiológicas de la masa fermentada. A continuación, se describe la metodología para la evaluación de las propiedades microbiológicas de la masa fermentada.

7.3.2.1. Caracterización de bacterias ácido-lácticas. La caracterización de bacterias ácido-lácticas en la masa madre, se realizó de acuerdo a la metodología descrita en la NTC 5034 DE 2002, para ello se tomaron 10 g de muestra de masa madre y se diluyeron en 90 ml de agua destilada, se agitó en vortex se dejó sedimentar, a continuación, se transfieren 1000 μL de muestras de la primera reducción decimal (10^{-1}) hasta la segunda reducción decimal (10^{-2}), se repite el procedimiento hasta dilución 10^{-8} , posteriormente se tomó una alícuota de 100 μL y se agregaron en cajas de Petri con agar MRS durante 24 a 48 horas a 35°C .

7.3.2.2. Caracterización de mesófilos aerobios. La identificación de mesófilos en la masa madre se realizó de acuerdo a la metodología descrita en NTC 4519 de 2009, para ello se tomaron 10 g de muestra de masa madre y se diluyeron en 90 ml de agua destilada, se agitó en vortex y se dejó sedimentar, a continuación, se transfieren 1000 μL de muestras de la primera reducción decimal (10^{-1}) hasta la segunda reducción decimal (10^{-2}), se repitió el procedimiento hasta dilución 10^{-8} , posteriormente se toma una alícuota de 100 μL y se agregaron en cajas de Petri con agar PCA, se dejó solidificar y se incubaron a 30° durante 72h.

7.3.2.3. Caracterización de hongos y levaduras. La identificación de hongos y levaduras se hará de acuerdo a la metodología descrita en la NTC 5698-2, para ello se tomarán 10 g de muestra de masa madre y se diluirán en 90 ml de agua destilada, agitar en vortex y se dejó sedimentar, a continuación, se transfieren 1000 μL de muestras de la primera reducción decimal (10^{-1}) hasta la segunda reducción decimal (10^{-2}), se repite el procedimiento hasta dilución 10^{-8} , posteriormente se tomó una alícuota de 100 μL y se agregan en cajas de Petri con agar YGC, se llevan a incubación a 30°C durante 24 a 72 horas

7.3.2.4. Análisis de comparación de morfotipos. En todos los cultivos obtenidos se realizó recuento en placa de las colonias presentes en cada medio, además, se seleccionaron los morfotipos diferentes y se hizo purificación, descripción macroscópica y por ultimo descripción microscópica, se examinó cada colonia mediante tinciones de Gram, observación mediante microscopio óptico (zeiss axio lab A1, china) con aceite de inmersión en objetivo 100x.

7.3.3. Reología de la masa del pan. La caracterización reológica de la masa se realizó empleando equipos especializados para la medida de factores de calidad de la harina de trigo destinada a la elaboración de pan, estas pruebas se ejecutaron teniendo en cuenta las mezclas de harina de trigo e inclusión de masa madre en diferentes porcentajes, esto se debe a la dificultad de ejecutar las pruebas de reología únicamente con masa fermentada, los porcentajes de adición de masa fermentada que se proponen se definen bajo ensayos preliminares, estos porcentajes se describen en el diseño experimental que se presenta a continuación.

7.3.3.1. Diseño experimental. Se realizó un diseño completo al azar, en el cual se evaluaron cuatro tratamientos, se utilizaron diferentes porcentajes de inclusión de masa fermentada para la elaboración de masas base

T0: control: 100 % harina integral Control.

T1: 90% harina integral + 10% masa fermentada.

T2: 85% harina integral + 15% masa fermentada.

T3: 80% harina integral + 20% masa fermentada.

Los resultados obtenidos para cada una de las variables se analizaron estadísticamente empleando un análisis de varianza (ANOVA).

7.3.3.2. Falling number. Se realizó bajo la metodología ISO/DIS 3093, (2009) detector de daño por germinación; determinación de actividad enzimática (α -amilasa).

Se determinó el contenido de humedad de la harina y se pesaron 7.0 ± 0.05 g de muestra en base seca (b.s) Se introdujeron en un tubo viscosimétrico y se adicionó 25 ± 0.2 ml de agua destilada a $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Se colocó un tapón limpio y seco en la parte superior del tubo y se agitó enérgicamente 40 veces, para obtener una suspensión homogénea. Se introdujo el agitador y se limpiaron las paredes del tubo hasta que todo el contenido de la solución quede unificado. Una vez terminado, se dejó el agitador dentro del tubo de ensayo. Una vez listos los dos tubos de ensayo con los agitadores, se debió introducir en el Cassette en un tiempo máximo de 4 segundos.

Agitación en el equipo: Cinco segundos después de insertar el Cassette, se comenzó la agitación por 55 s. Cuando el temporizador alcanzó los 60 segundos, el brazo de recogida se detuvo en la posición superior y los agitadores se liberaron para hundirse por su propio peso.

El desarrollo de la prueba se realizó de acuerdo al diseño presentado en el numeral 7.3.3.1

7.3.3.3. Gluten húmedo y seco. Fue realizado bajo la metodología ISO 21415, (2015). Determinación de gluten húmedo por lavado y centrifugado y determinación de gluten seco, por secado en plancha. Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en la cámara de mezclado/lavado, cuya placa perforada o tamiz, fue humedecida con solución de cloruro de sodio, se adicionó 4.5 - 6 ml de la solución de NaCl en la harina; se colocó cámara de mezclado/lavado. se mezcló por 20 segundos mientras se formaba la masa. Se inició secuencia de lavado durante 5 minutos, finalizado el tiempo las muestras de gluten se retiraron y se colocaron en la centrífuga, durante 60s a 600 ± 5 rpm. Como una parte del gluten en la centrífuga pasa las perforaciones y otra es retenida, se debió retirar las dos partes y registrar su peso, se colocó el gluten en el Glutork (2020) y se secó durante 4 minutos. El gluten húmedo de la harina utilizada se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Gluten húmedo} = (\text{Peso gluten que pasa} + \text{Peso gluten que queda}) * 100$$

$$\text{Índice de gluten} = 100 * (\text{Peso gluten que queda}) / \text{Peso total de gluten}.$$

El desarrollo de la prueba se realizó de acuerdo al diseño presentado en el numeral 7.3.3.1

7.3.3.4. Prueba farinográfica. La muestra fue analizada en Farinógrafo Brabender de acuerdo al método ISO 5530-1 (2013) determinación de la absorción de agua y las propiedades reológicas utilizando un farinógrafo. Se determinó la humedad de la muestra y se ajustó hasta un porcentaje de humedad ideal de 14%, se utilizó recipiente mezclador de 50 g que se conecta a un baño circulante a 30 °C, la muestra se mezcló a 63 rpm con agua para producir una consistencia de masa máxima centrada en la línea de 500 Unidades Brabender (BU). Se determinó la absorción de agua (14% de humedad de la harina), el tiempo de desarrollo de la masa, la estabilidad de la masa y el índice de tolerancia de mezcla (Ortiz et al., 2020).

El desarrollo de la prueba se realizó de acuerdo al diseño presentado en el numeral 7.3.3.1

7.3.3.5. Prueba alveográfica. Se realizaron bajo la metodología ISO 27971 (2015). Determinación de tenacidad (P), extensibilidad (L), elasticidad (I.e.) y fuerza panadera de las

harinas (W). Alveolab (s, f) Se pesó 250 ± 0.5 g de harina en la mezcladora, con análisis previo del contenido de humedad, se adiciono una solución de 2.5 % de NaCl en (ALVEÓGRAFO ALVEOLAB), se adiciono agua de manera automática por 1.5 minutos y se amasó por 8 minutos para obtener pastones.

Los pastones fueron laminados con rodillo, asegurando un espesor uniforme, se pasaron al troquel que permitió obtener discos de masa, los discos se instalaron en la cámara termostataada del Alveógrafo a 25°C por 28 minutos, finalmente se ingresaron los pastones en la cámara de insuflaje.

El desarrollo de la prueba se realizó de acuerdo al diseño presentado en el numeral 7.3.3.1

7.4. PROPIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS Y SENSORIALES DE PAN INTEGRAL DE TRIGO Y MF

7.4.1. Elaboración del pan. Para la elaboración de pan se tuvo en cuenta el diseño experimental de las mezclas de harina integral y masa fermentada descrito en el numeral 3.5.1. Los porcentajes estimados de inclusión de masa fermentada fueron calculados por sustitución al 100% del porcentaje panadero los ingredientes que se incluyeron en la formulación fueron calculados en base al 100%. Los resultados obtenidos para cada una de las variables se analizaron estadísticamente empleando un análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 2. Ingredientes del pan

Ingredientes del pan	T0 (%)	T1 (%)	T1 (%)	T2 (%)
Harina integral de trigo	100	90	85	80
Sal	2	2	2	2
Azúcar	10	10	10	10
Aceite	4	4	4	4
Levadura	2	2	2	2
Masa madre fresca	0	10	15	20
Agua	62	55	50	46

NOTA: los ingredientes diferentes a la harina integral de trigo, masa fermentada y agua, se calcularon en base al 100% de harina integral de trigo, teniendo en cuenta que la masa fermentada también aporta harina a la formulación.

Se mezclaron todos los ingredientes (harina integral de trigo, aceite, sal, levadura, azúcar, agua y masa fermentada) en mezcladora (McDuffy Hobart legacy HL120, USA) para la

integración de todos los componentes durante 4 minutos a 107 rpm, más una segunda velocidad a 198 rpm hasta desarrollo del gluten.

La masa se dejó en reposo a temperatura ambiente por 30 minutos, se dividió en porciones de 170 g y se realizó boleado de cada porción durante 10 minutos para darle forma esférica a la masa con el objetivo de organizar la estructura del gluten.

La masa paso por multiformadora (nacional MFG Company, Lincoln Nebraska USA) por dos rodillos que aplastan la masa, en un espacio entre los cilindros de 3/16 pulgadas y 1/8 pulgadas para desgasificar la masa, se dio forma a la masa y paso a cada molde, el molde fue llevado a cámara de fermentación (nacional MFG Company, Lincoln Nebraska USA), con una humedad relativa entre 75% y 85% a 33°C durante 88 min, finalmente se pasó a horneado a 210°C durante 25 min.

Los panes horneados se dejaron enfriar, se empacaron y se almacenaron en un lugar fresco y seco para sus evaluaciones posteriores.

7.4.2. Propiedades físicas del pan. Las pruebas que se describen a continuación describen la metodología para evaluar las propiedades físicas del pan elaborado con diferentes porcentajes de inclusión de MF.

7.4.2.1. Determinación de volumen. El volumen de cada muestra de pan se evaluó en un determinador de volumen (National MFG.CO lincon, nebr). Se instaló la pieza de pan en el contenedor inferior del medidor de volumen debidamente asegurado, enseguida se abrió la rasera para permitir el paso de la semilla hacia el contenedor donde se encuentra la pieza de pan. El exceso de semilla ocupó el espacio en la probeta para medir el volumen desplazado.

7.4.2.2. Análisis de la estructura celular de la miga. El análisis de la miga del pan se realizó tomando las imágenes a 20 cm de la muestra, las rebanadas fueron cortadas de 25 mm de espesor y fueron analizadas con el programa de software image j (Versión 1.53c, Wayne Rasband, Instituto Nacional de Salud, EE. UU.), se tomó una escala de grises de 8 bits, además, se ajustó al umbral blanco y negro; la parte central del cada rebanada de pan (1500x1500 pixeles) se utilizó para el estudio alveolar, midiendo número de células y área (mm²) de cada una de ellas (Sarabhai et al., 2021).

7.4.2.3. Determinación de color de la corteza y miga del pan. Para determinar el color de la miga del pan se cortaron rebanadas de 5 cm de diámetro y 1 cm de espesor, cada una

de estas, se analizó en una caja de Petri en colorímetro (Modelo CR-300, Minolta, Japón), los parámetros de color fueron medidos a partir del sistema CIELab (L*a*b*) siendo L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (azul-amarillo).

7.4.3. Propiedades reológicas del pan. A continuación, se describen la metodología para las pruebas reológicas sobre la textura de la miga del pan (análisis TPA) y la textura de la corteza de los panes elaborados con diferentes porcentajes de inclusión de MF.

7.4.3.1. Determinación de textura de la corteza de pan. Para la determinación de la textura de la corteza del pan se cortan rebanadas de 3x3x4 (largo-ancho-espesor), se usó un analizador de textura EZ TEST (SHIMADZU EZ-L) equipado con una sonda cilíndrica de punta con carga máxima de 10 N, se empleó la metodología propuesta por (Pico et al., 2019) teniendo en cuenta parámetros como la velocidad del cabezal (0,5 mm/min) y variando parámetros como el alargamiento de 20 mm.

7.4.3.2. Determinación de textura de la miga del pan (TPA). Para determinar la textura de la miga del pan se cortaron rebanadas de 25 mm de espesor, se usó analizador de textura EZ TEST (SHIMADZU EZ-L) equipado con una sonda de 21 mm de diámetro con una carga máxima de 500 N, el test de textura fue ajustado partiendo de investigaciones variando parámetros como velocidad del cabezal de 1,7 mm/s y desplazamiento de 10 mm y el intervalo de dos compresiones de 10 s. Los parámetros evaluados fueron dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad (Ahmad et al., 2021).

Dureza. Es la fuerza máxima del primer ciclo de compresión. El primer ciclo de compresión es la fase en la que un producto alimenticio sufre la primera deformación por la fuerza de la sonda. La fuerza se expresa en newton (N)

Cohesividad. Es la relación entre las fuerzas positivas durante el segundo ciclo de compresión y el primer ciclo de compresión

$$\text{Cohesividad} = A2/A1$$

Donde el área (A) es el área bajo la curva del primer y segundo ciclo de compresión.

Elasticidad. Es la altura que retiene el pan deformado durante el tiempo transcurrido entre el final del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo ciclo de compresión.

Masticabilidad. Es el producto entre la dureza, cohesividad y elasticidad de un alimento. Es la energía requerida para un alimento sólido a un estado tal que esté listo para ser tragado.
Masticabilidad= dureza Cohesividad* Elasticidad*

7.4.4. Análisis sensorial. las muestras obtenidas fueron sometidas a evaluación sensorial para determinar la aceptación y preferencia del consumidor, la prueba se realizó a un panel no entrenado, por ello se seleccionarán aleatoriamente 100 individuos no capacitados, se evaluarán parámetros como textura, aroma, color, sabor y preferencia del consumidor en una escala hedónica de 1 (me disgusta mucho) a 5 (me gusta mucho) (Benayad et al., 2021). La importancia de la diferencia general entre las muestras se analizó mediante el test de friedman (Torbica et al., 2019) siguiendo la siguiente ecuación

$$x^2 = \left\{ \frac{12}{[P * S * (S + 1)]} \left[\sum_{S-1}^S T_S^2 \right] \right\} - 3 * P(S + 1)$$

$$LSD = t \sqrt{\frac{S * P * (S + 1)}{6}}$$

Donde t es el valor crítico de t en $\alpha=0.05$ y grados de libertad =3, (S) es el número de muestras (P) el número de panelistas, y (Ts) es el rango total.

8. RESULTADOS

8.1. PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE MASA FERMENTADA Y SU EFECTO REOLÓGICO EN LA MASA DEL PAN

8.1.1. Propiedades químicas de la masa fermentada. En la tabla 3 se presentan los resultados del comportamiento químico como el pH, acidez titulable, hidrólisis de proteína y azúcares reductores durante la fermentación de MF.

Tabla 3. Propiedades químicas durante la elaboración de MF

Propiedades químicas	Tiempo (h)				
	0	24	36	48	64
pH	6,7 ± 0,4 ^a	5,6 ± 0,3 ^b	4,4 ± 0,2 ^c	4,2 ± 0,1 ^{cd}	4,1 ± 0,1 ^c
Acidez titulable (% m/m)	0,9 ± 0,1 ^d	2,35 ± 0,2 ^c	2,5 ± 0,2 ^{ab}	2,6 ± 0,1 ^a	2,39 ± 0,0 ^{cb}
Hidrólisis de proteína (%)	11,9 ± 0,0 ^c	26,3 ± 0,9 ^b	33,3 ± 1,9 ^a	28,2 ± 0,1 ^b	25,9 ± 0,3 ^b
Azúcares reductores (mg glucosa/g muestra)	21,5 ± 2,9 ^a	13,9 ± 0,1 ^b	28,8 ± 3,1 ^c	43,9 ± 1,4 ^d	36,8 ± 1,9 ^e

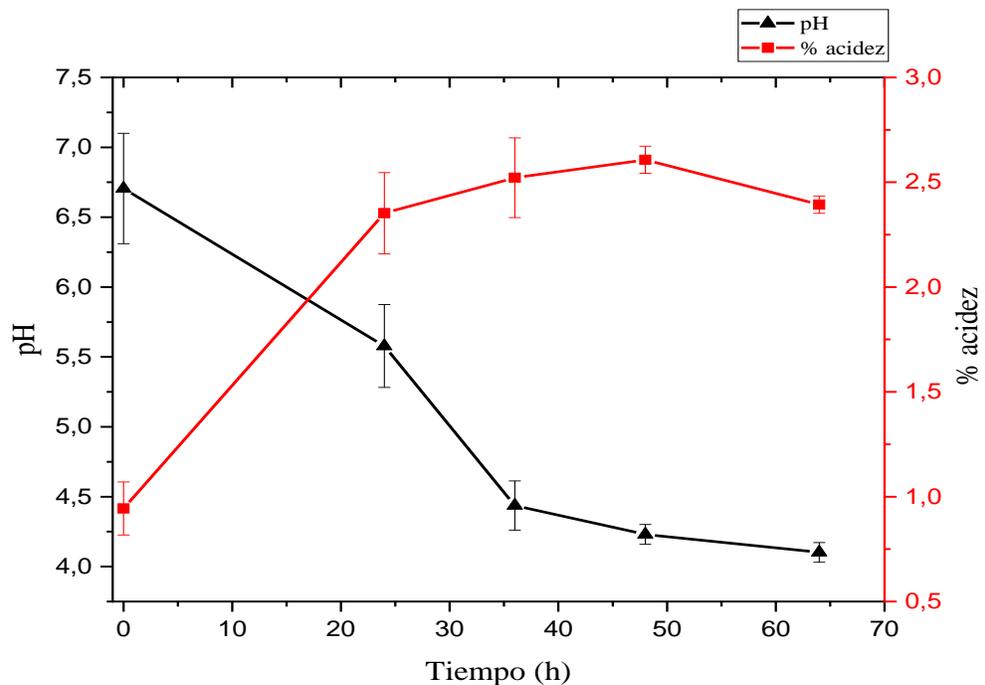
0 horas de fermentación (R0), 24 horas de fermentación (R1), 36 horas de fermentación (R2), 48 horas de fermentación (R3), 64 horas de fermentación (R4). * acidez titulable expresada en ácido láctico

8.1.1.1. Análisis de pH y Acidez titulable (TTA). La medida de pH y acidez determina los niveles ácidos o alcalinos presentes en un analito. En la tabla 3 se describe el comportamiento de pH y TTA durante la elaboración de MF, en donde se observa que los tratamientos fueron diferentes estadísticamente ($p < 0,05$). El pH de la masa fermentada experimentó una disminución significativa, pasando de 6,7 a 4,1 como se observa en la figura 3. Los cambios más notables en el pH ocurrieron durante las primeras 36 horas de fermentación, donde alcanzaron un valor de 4,4. Posteriormente, los valores más bajos de pH se registraron al final del proceso de fermentación con valores de 4,2 y 4,1 registrados a las 48 y 64 h de proceso sin encontrarse diferencias significativas.

Generalmente los valores de pH entre 3,5 y 4,3 se consideran óptimos para una masa fermentada bien desarrollada (Falciano et al., 2022); los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Abedfar & Sadeghi, (2019) quienes encontraron una

disminución final de pH hasta 3,5 en 24 h de fermentación, no obstante, es importante tener en cuenta que las características bioquímicas de las masas fermentadas varían dependiendo de factores, como el tiempo, la temperatura, el tipo de harina, y sobre todo la complejidad de la microbiota presente en el medio (Abedfar & Sadeghi, 2019).

Figura 3. Comportamiento de TTA y pH en el tiempo de fermentación.



0 horas de fermentación (R0), 24 horas de fermentación (R1), 36 horas de fermentación (R2), 48 horas de fermentación (R3), 64 horas de fermentación (R4).

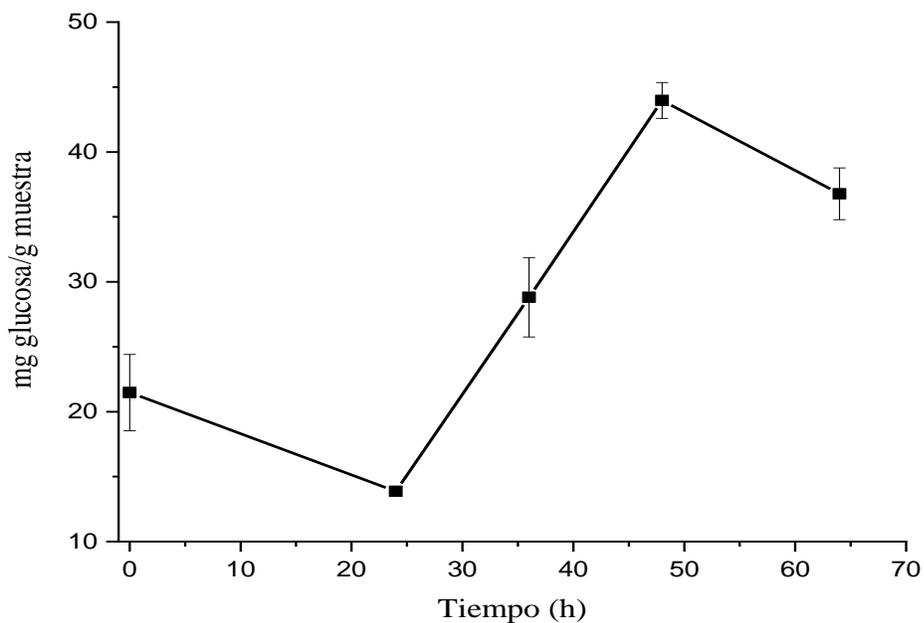
Por el contrario, mientras que el pH presentó una disminución en función del tiempo, la TTA aumentó significativamente hasta las 48 h de fermentación con un valor de 2,6% (ver tabla 3), debido probablemente a la producción de ácidos orgánicos por parte de la microbiota, principalmente ácido láctico y ácido acético, lo que provoca un aumento de la acidez en el medio y como consecuencia disminuye el pH durante la fermentación (Boyaci Gunduz et al., 2022; Dan et al., 2022a; Nie et al., 2023). Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron similares a los reportados por Abedfar & Sadeghi (2019) quienes encontraron valores de acidez del 2,26% en 24 h de fermentación, no obstante, estos mismos resultados de TTA fueron mayores a los obtenidos por Çetin-Babaoğlu et al., (2020) quienes reportan valores de acidez del 1,02% en 48 de fermentación. Estas variaciones pueden estar relacionadas con el tipo de fermentación, ya que algunos autores reportan resultados en

función de fermentaciones espontáneas, mientras que otros mantienen control riguroso sobre la inoculación y el proceso fermentativo (Ouyang et al., 2023).

8.1.1.2. Azúcares reductores. El comportamiento de los azúcares reductores (AR), durante la fermentación de MF es un proceso dinámico y complejo, influenciado por la actividad de diversos microorganismos y enzimas, así como por cambios en el pH del medio de fermentación (Leroy et al., 2006). En la tabla 3 se muestran los resultados relacionados a la producción de AR registrados durante el proceso fermentativo, donde los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

El comportamiento que describe la figura 4 está relacionado con la producción de MF por refrescos o sistema de batch alimentado, es decir que se agrega cierta cantidad de harina en intervalos de tiempo definidos durante la fermentación, por tanto, habrá mayor cantidad de almidones presentes en la harina (Falciano et al., 2022). Durante las primeras 24 h de fermentación se presentó una disminución significativa en la cuantificación de AR, comportamiento relacionado con el consumo de sustrato por parte de los microorganismos presentes en la fermentación. Sin embargo, entre las 24 h (13,8 mg glucosa/g muestra), y 48 h (43,9 mg glucosa/g muestra) se evidencia un incremento significativo en la cantidad AR, comportamiento relacionado con los cambios bioquímicos durante la fermentación de MF que pueden estar relacionados con la posible presencia de enzimas provenientes de la malta, enzimas metabolizadas por los microorganismos y enzimas endógenas del grano de trigo (Falciano et al., 2022). Finalmente, se observa una disminución entre las 48 h (43,9 mg glucosa/g muestra) y 64 h (36,8 mg glucosa/g muestra), asociado a la disminución en el pH con el consecuente efecto sobre la actividad amilolítica generando posiblemente una inhibición enzimática y de crecimiento microbiano, con disminución en la cuantificación de AR (Çetin-Babaoğlu et al., 2020).

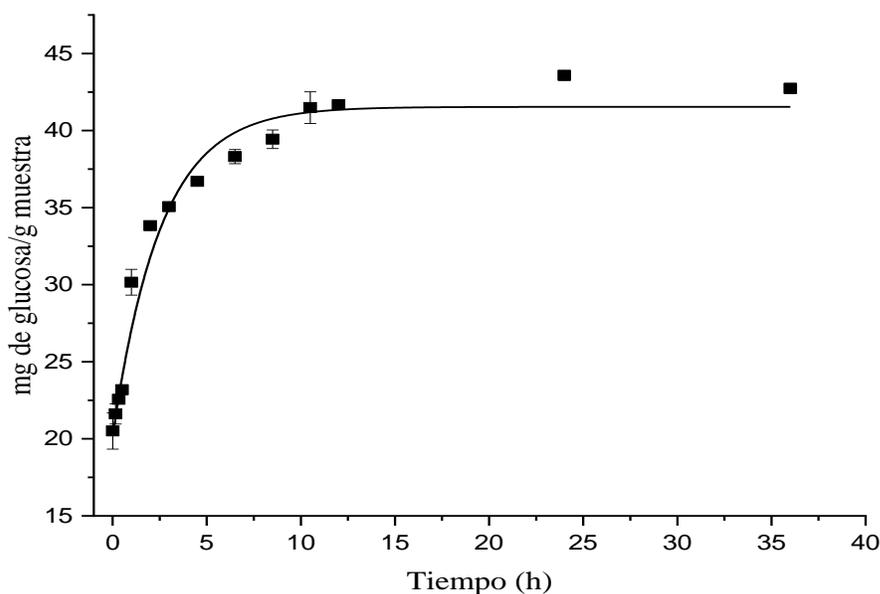
Figura 4. Comportamiento de azúcares reductores en función del tiempo de fermentación



0 horas de fermentación (R0), 24 horas de fermentación (R1), 36 horas de fermentación (R2), 48 horas de fermentación (R3), 64 horas de fermentación (R4).

Por otra parte, en la figura 5 se describe el comportamiento de AR en un solo batch de fermentación, observando un incremento de AR hasta las 12 horas de fermentación, después de este periodo de tiempo la concentración de AR se mantuvo constante probablemente porque la velocidad de producción de AR es igual a la velocidad de consumo por parte de los microorganismos presentes en la fermentación (Téllez-Díaz et al., 2019).

Figura 5. Comportamiento de azúcares reductores medido en un solo batch

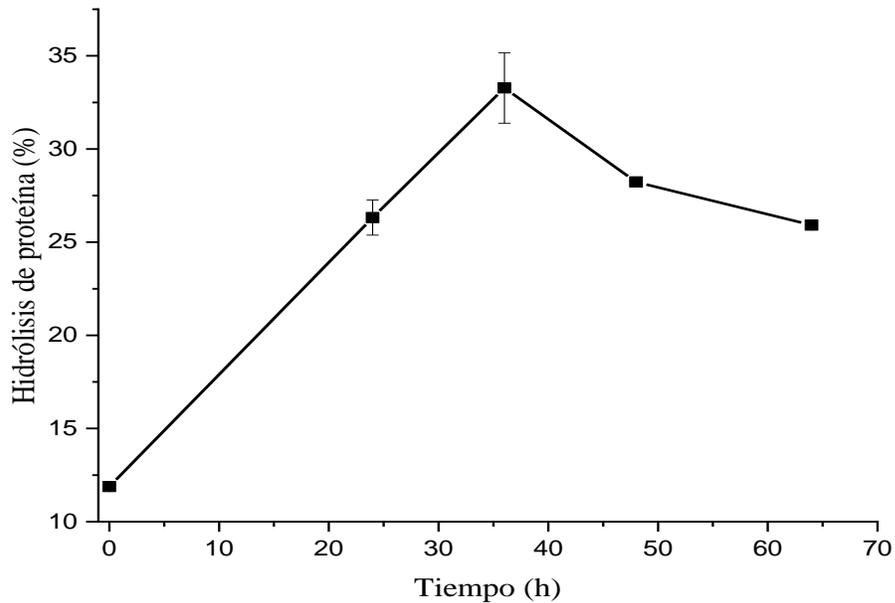


8.1.1.3. Porcentaje de hidrólisis de proteína. Las principales proteínas de la harina de trigo son la gliadina y glutenina, responsables de la formación de gluten en la masa del pan. Cuando se elabora MF se da lugar a reacciones enzimáticas que hidrolizan la proteína en péptidos de bajo peso molecular y en fracciones de aminoácidos (Chavan & Chavan, 2011).

En la tabla 3 se muestran los resultados del porcentaje de hidrólisis de proteína durante la elaboración de MF. Los valores fueron estadísticamente diferentes entre sí ($p < 0.05$). Durante las primeras 36 h de fermentación se observó un aumento significativo en el grado de hidrólisis de proteína desde 11,9% hasta 33,3% como se evidencia en la figura 6, La hidrólisis de proteína durante la fermentación se debe posiblemente a la acción enzimática de las proteasas endógenas de la harina de trigo y proteasas de la malta (Chavan & Chavan, 2011); la degradación de proteína durante la producción de MF puede generar péptidos o descomponer completamente las fracciones peptídicas en aminoácidos.

Autores como (Chavan & Chavan, 2011; Yin et al., 2015) reportan que la hidrólisis de proteína puede darse principalmente por las acción enzimática de peptidasas y proteinasas endógenas del grano de trigo, además, de una hidrólisis ácida durante la fermentación principalmente en gluteninas (Thiele et al., 2004).

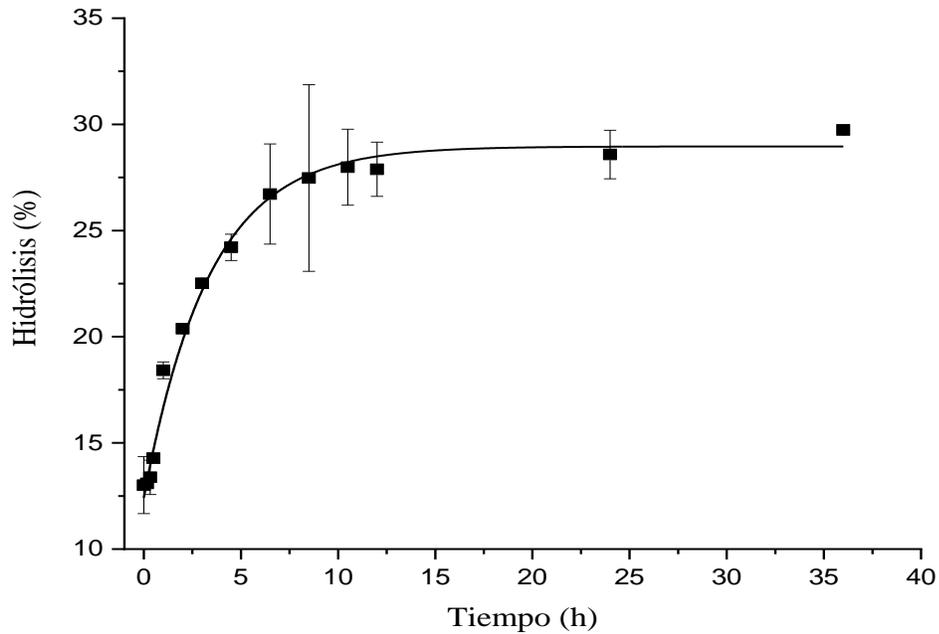
Figura 6. Comportamiento de hidrólisis de proteína en función del tiempo de fermentación



0 horas de fermentación (R0), 24 horas de fermentación (R1), 36 horas de fermentación (R2), 48 horas de fermentación (R3), 64 horas de fermentación (R4)

Una vez se ha alcanzado las 48 horas de fermentación se observa una menor actividad proteolítica, sin afectar significativamente los productos de hidrólisis, este comportamiento puede estar relacionado con diversos factores, el primero se debe a que MF es un sistema de batch alimentado, por tanto, durante cada refresco se diluye el medio y no se alcanza el mismo grado de hidrólisis de proteína durante las 48 y 64 h, este comportamiento se puede verificar en la figura 7 donde, se muestra la hidrólisis de proteína en un solo bath, específicamente desde las 36 h hasta las 48 h de fermentación. Otro factor importante es probablemente la presencia de microorganismos (BAL, mohos y levaduras) estos microorganismos dependen de sistemas proteolíticos que permiten a su vez la degradación de proteínas en el medio (Chavan & Chavan, 2011; Gobbetti & Gänzle, 2023), por tanto una reducción en el crecimiento microbiano podría generar una menor proteólisis en MF.

Figura 7. Comportamiento de hidrólisis de proteína medido en un solo batch



8.1.1.4. Análisis proximal de materia prima y masa fermentada. El análisis proximal de las materias primas descritas en la tabla 4 se empleó para determinar la composición química de cada materia prima empleada en la elaboración de pan integral con inclusión de masa fermentada.

Tabla 4. Análisis proximal (% bs) de masa fermentada y harina integral de trigo

	Humedad (%)	Cenizas (%)	Extracto etéreo (%)	Proteína (%)	Fibra (%)
HIT	12,0 ± 0,1	1,7 ± 0,0	2,0 ± 0,1	15,1 ± 0,1	5,4 ± 0,1
MF	55,5 ± 0,1	0,7 ± 0,0	0,9 ± 0,2	15,0 ± 0,3	0,5 ± 0,0

Nota: HIT=Harina integral de trigo; MF= Masa fermentada, bs= Base seca

Los valores obtenidos en el presente estudio en cuanto al contenido de humedad de la harina de integral de trigo (HIT) estuvieron alrededor del 12,0% y fueron comparables a los

reportados por Saka et al., (2021) y Tomić et al., (2023), quienes reportan un contenido del 12,58% y 11,20% respectivamente, sin exceder los valores máximos permitidos por la FAO, (2021) (<15,5%). El contenido de proteína en HIT fue del 15,1% y su contenido en cenizas fue equivalente al 1,7%. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Peasani (2020) quien analizó diferentes variedades de trigo encontrando contenidos de proteína entre 13,20% y 17,41 % y cenizas entre 1,45% al 1,99%.

Por otra parte, el contenido de humedad de la masa fermentada (MF) fue del 55,5%, este alto porcentaje se debe a que durante su elaboración se requiere una proporción 1:1 de adición de agua. Este valor es comparable al reportado por Marti et al., (2015), quienes encontraron un contenido de humedad del 53% en masas fermentadas elaboradas con harina de trigo refinada. Además, los valores obtenidos para el contenido de proteína en MF fue del 15,0% y su contenido en cenizas fue de 0,7%. Los resultados encontrados en el presente estudio fueron superiores a los reportados por Nogueira et al. (2015), en su estudio, el contenido de proteína fue de 13,36%, el extracto etéreo fue del 0,98%, y las cenizas representaron el 0,042%.

De la información anterior se puede inferir que los resultados obtenidos en los análisis proximales de HIT y MF fueron comparables con reportes relacionados a la composición química de materiales farináceos y masas fermentadas.

8.1.2. Microbiología de la masa fermentada. La masa fermentada es un sistema complejo donde coexisten diversos microorganismos, principalmente bacterias ácido lácticas y levaduras que contribuyen a una masa metabólicamente activa, favoreciendo reacciones bioquímicas propias de la MF(Chavan & Chavan, 2011)

En la tabla 5 se presentan los resultados del comportamiento microbiológico de bacterias ácido lácticas, mesófilos aerobios, mohos, levaduras y coliformes totales durante la fermentación de MF, Los resultados de los conteos microbianos fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$) durante el proceso fermentativo.

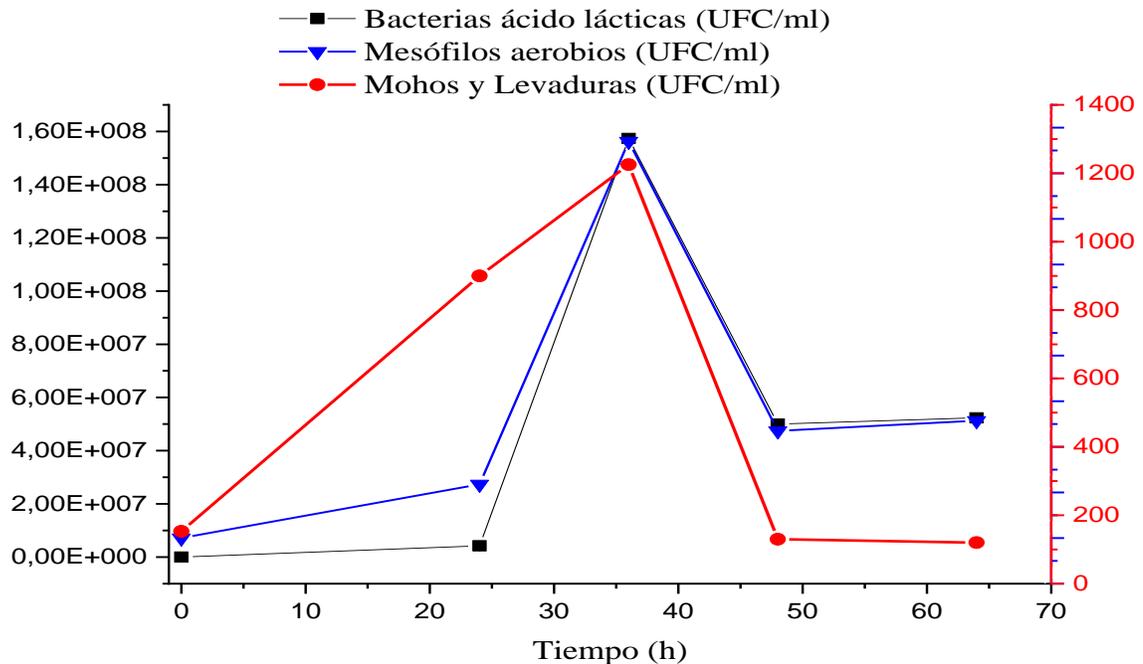
Tabla 5. Propiedades microbiológicas durante la elaboración de MF

Propiedades microbiológicas	Tiempo (h)				
	0	24	36	48	64(h)
Bacterias ácido lácticas (UFC/ml)	$6,0 \times 10^1 \pm 0,1^d$	$4,2 \times 10^6 \pm 0,0^c$	$1,6 \times 10^8 \pm 0,0^a$	$5,0 \times 10^7 \pm 0,0^b$	$5,2 \times 10^7 \pm 0,0^b$
Mesófilos aerobios (UFC/ml)	$4,8 \times 10^2 \pm 0,0^d$	$1,1 \times 10^7 \pm 0,0^c$	$1,7 \times 10^8 \pm 0,1^a$	$4,7 \times 10^7 \pm 0,0^b$	$5,2 \times 10^7 \pm 0,2^b$
mohos y levaduras (UFC/ml)	$1,5 \times 10^2 \pm 0,0^c$	$9,0 \times 10^2 \pm 0,0^b$	$11,3 \times 10^2 \pm 0,0^a$	$1,3 \times 10^2 \pm 0,1^{cd}$	$1,2 \times 10^2 \pm 0,1^d$
Coliformes totales (UFC/ml)	$4,7 \times 10^2 \pm 0,0$	-	-	-	-

En la figura 8 se puede evidenciar que durante la fermentación el crecimiento bacteriano se manifestó de manera exponencial en mesófilos aerobios y BAL, alcanzando un pico máximo de crecimiento a las 36 h de fermentación con valores de $2,36 \times 10^7$ UFC/ ml y $4,2 \times 10^6$ UFC/ml respectivamente. En el mismo tiempo de fermentación mohos y levaduras presentaron un comportamiento similar logrando pico máximo de crecimiento con un valor de $1,15 \times 10^3$ UFC/ml, sin embargo, pasadas las 36 horas de fermentación el crecimiento microbiano se redujo significativamente, esto pudo estar relacionado a la adición de harina en cada batch.

La adición de harina durante la fermentación de MF puede provocar un reinicio parcial de la fermentación cuando se agregan nuevas cantidades de harina, lo que representa una mayor cantidad de sustrato haciendo que parte de la flora microbiana no resista las condiciones del medio y su población disminuya, otro factor importante es la acidificación del medio, debido a que a medida que avanza la fermentación, las BAL producen ácido láctico, lo que podría generar que los microorganismos se estresen producto de la reducción del pH y el aumento de la acidez e inhiba su crecimiento (Garcia et al., 2021), a este comportamiento se le puede atribuir la ausencia de coliformes totales al final de la fermentación, ya que estos microorganismos son sensibles a condiciones ácidas y podrían ser inhibidos por el ácido láctico producido.

Figura 8. Crecimiento microbiano durante la fermentación de MF



0 horas de fermentación (R0), 24 horas de fermentación (R1), 36 horas de fermentación (R2), 48 horas de fermentación (R3), 64 horas de fermentación (R4).

Durante la fermentación predominó la presencia de cocos Gram +, ácido lácticos, mientras que la flora microbiana en mesófilos aerobios fue diversa (ver anexo 1 y 2). Las masas fermentadas se caracterizan por ser un ecosistema biológico diverso y muy complejo, debido a que no se manejan condiciones estériles en sus materias primas, principalmente cuando se trata de fermentaciones de MF tipo 1 (García et al., 2021). Algunos autores reportan que las especies ácido lácticas predominantes en las fermentaciones de MF son principalmente *lactobacillus*, *pediococcus*, *enterococcus*, *lactococcus* y *weisella*, (Chavan & Chavan, 2011; García et al., 2021; Gobbetti & Gänzle, 2023).

En la fermentación se obtuvieron bajos conteos de levaduras respecto a las BAL, este comportamiento pudo estar relacionado con varios factores, uno de ellos es la temperatura de incubación, debido a que la fermentación inicia con 35°C. Autores como Cizeikiene et al., (2020) describen que a temperaturas mayores o alrededor de 35°C las levaduras se encuentran “esencialmente ausentes” durante la fermentación de MF, no obstante, es importante tener en cuenta que la variabilidad y tipos de levadura depende también de la humedad de la masa, tipo de cereal y temperatura de conservación de la MF (Chavan & Chavan, 2011). En la presente investigación se puede establecer que la proporción de BAL

es superior a la cantidad de levaduras; estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Chavan & Chavan (2011) y Reale et al., (2021) quienes afirman que en los sistemas de fermentación de MF se genera proporciones de BAL y levaduras en 100:1.

8.1.3. Reología de la masa del pan. En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento reológico de la masa del pan, los cuales determinan en cierta medida la calidad de las harinas.

Tabla 6. Parámetros reológicos de la masa del pan

	Tratamiento			
	T0	T1	T2	T3
Falling number	294,0 ± 7,1 ^a	283,5 ± 7,8 ^{ab}	271,0 ± 5,7 ^{bc}	261,5 ± 0,7 ^c
Prueba de gluten				
Gluten húmedo no retenido (%)	0,6 ± 0,1 ^c	4,9 ± 0,2 ^b	9,2 ± 0,1 ^a	9,1 ± 0,1 ^a
Gluten húmedo retenido (%)	30,9 ± 0,0 ^a	27,1 ± 0,1 ^b	22,7 ± 0,2 ^c	22,9 ± 0,1 ^c
Gluten húmedo total (%)	31,5 ± 0,1 ^b	32,0 ± 0,1 ^a	31,9 ± 0,1 ^a	31,9 ± 0,0 ^a
Indicé de gluten	98,2 ± 0,2 ^a	84,8 ± 0,5 ^b	71,1 ± 0,4 ^c	71,6 ± 0,4 ^c
Gluten seco(%)	11,3 ± 0,1 ^b	11,6 ± 0,0 ^a	11,2 ± 0,0 ^b	11,3 ± 0,1 ^b
Prueba farinográfica				
WA(%)	72,3 ± 0,4 ^a	71,3 ± 0,4 ^b	69,8 ± 0,4 ^c	69,0 ± 0,1 ^c
Tiempo de desarrollo (min)	11,2 ± 0,5 ^a	8,3 ± 1,4 ^b	7,7 ± 0,9 ^b	6,6 ± 0,3 ^b
Estabilidad (min)	9,1 ± 1,5 ^a	5,6 ± 0,1 ^b	4,5 ± 0,0 ^b	4,2 ± 0,4 ^b
MTI (FU)	36,5 ± 0,7 ^d	48,5 ± 0,7 ^c	61,5 ± 2,1 ^b	80,5 ± 7,8 ^a
FQN	150,5 ± 4,6 ^a	115,0 ± 9,9 ^b	100,5 ± 7,8 ^{bc}	86,5 ± 7,7 ^c
Prueba alveográfica				
P (mm)	237,0 ± 2,8 ^a	187,0 ± 1,4 ^b	155,0 ± 5,7 ^c	142,5 ± 0,7 ^d
L (mm)	80,0 ± 8,5 ^a	48,0 ± 4,2 ^b	39,0 ± 1,4 ^b	44,0 ± 1,4 ^b
P/L	2,9 ± 0,2 ^b	3,9 ± 0,3 ^a	3,9 ± 0,0 ^a	3,2 ± 0,1 ^b
W (10 ⁻⁴ J)	126,0 ± 7,1 ^c	260,0 ± 15,6 ^a	202,0 ± 12,7 ^b	175,0 ± 1,4 ^b

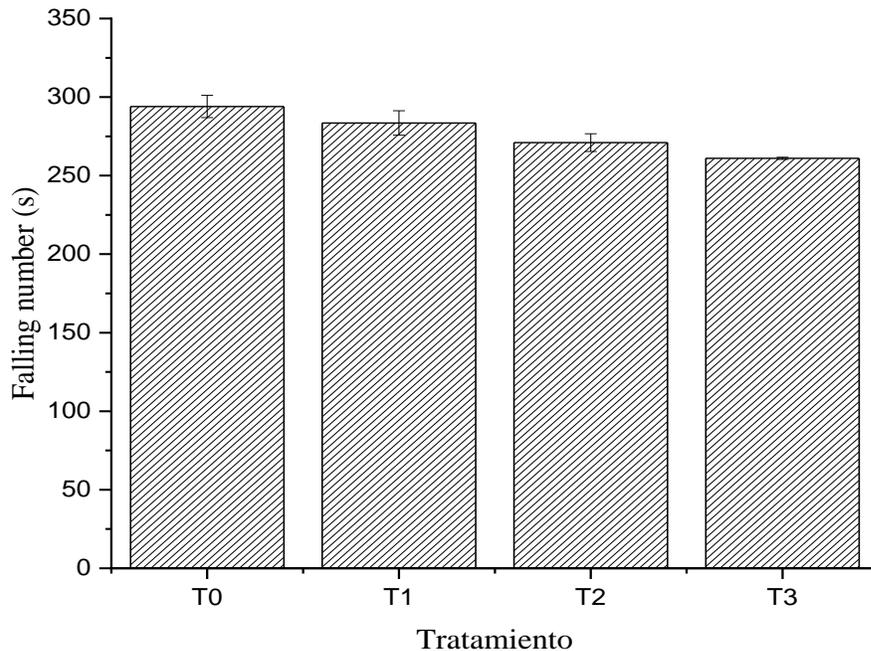
0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

8.1.3.1. Falling number. La prueba de falling number (FN) determina la actividad de α -amilasa en harinas medida en el tiempo (s), esto significa que si la prueba tiene mayor tiempo de duración habrá menor actividad de α -amilasa y viceversa. Es necesario recordar que la actividad amilolítica medida en esta prueba es aquella proveniente del grano de trigo. Algunos autores reportan FN para harinas de trigo blancas de 376,5s (Cardinali et al., 2022), 387s y 329 (Brandolini et al., 2010), para harinas integrales Brandolini et al., (2010) evaluó diferentes harinas de diferentes orígenes encontrando valores de FN entre 216 s y 349 s.

En la tabla 6 se muestra el comportamiento de los resultados de FN en las diferentes mezclas de harina integral de trigo y masa fermentada. Las muestras fueron estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0,05$). Por otra parte, en la figura 9 se evidenció que medida que se aumenta el porcentaje de adición de MF aumenta la actividad de α -amilasa reduciendo el valor de FN, pasando de 283,5 s en T1, 271,0 s en T2 a 261,5 s en T3, este comportamiento podría atribuirse a un aumento en la concentración de enzima producto de la adición de MF en las diferentes mezclas evaluadas en la presente investigación (Voinea et al., 2020).

Al realizar una comparación de los resultados obtenidos en T0 (294,0) con los reportes de otros autores, los resultados fueron menores a los obtenidos por Brandolini et al., (2010) donde se obtuvieron valores más bajos de FN en harinas integrales en comparación con las harinas blancas, teniendo en cuenta que las harinas integrales contienen mayor actividad de α -amilasa debido a su presencia en las capas externas del grano.

Figura 9. Falling number en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

El contenido de α -amilasa en harinas para panificación influye directamente en la calidad del producto final. Se ha podido establecer que el fraccionamiento excesivo de los polímeros

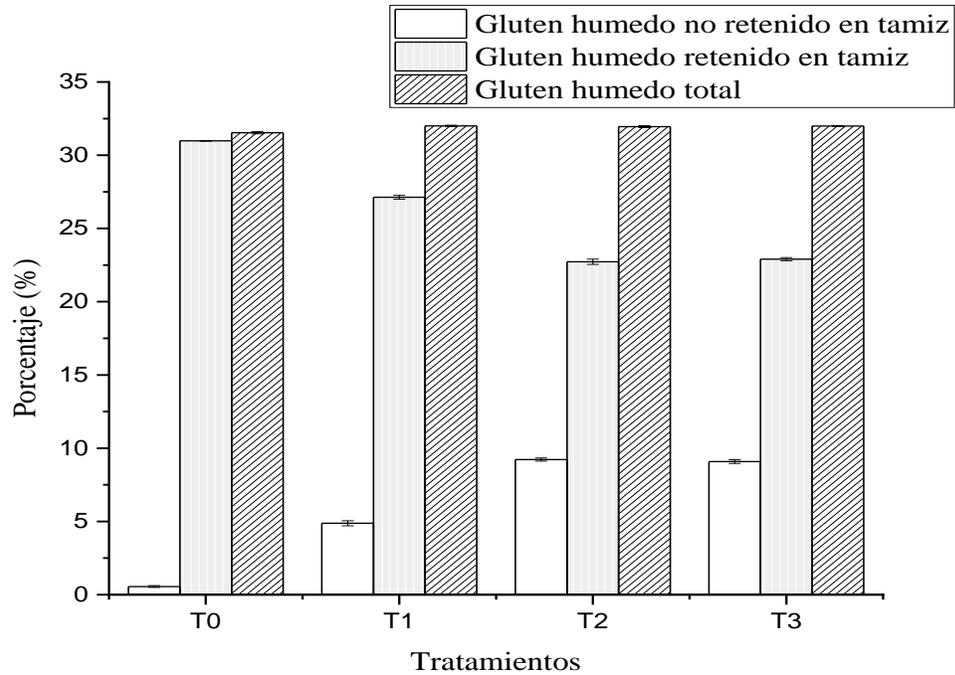
de almidón reduce su capacidad de gelatinización y su posterior retrogradación, estas dos condiciones son poco deseables en la estabilidad de los productos ya que al final se esperaran panes más pegajosos y con un menor volumen (Hu et al., 2022).

Algunos autores como He et al., (2019) exponen que valores entre 200 a 250 s pueden generar masas ideales y valores superiores a 300 s pueden generar texturas secas e indeseables. Los resultados de la presente prueba registraron valores inferiores a 300 s lo que permitiría establecer que los productos de panificación elaborados con harina de trigo y MF podrían generar masas de calidad deseable. Es necesario tener en cuenta que los límites en FN dependen de la regulación de cada país y el tipo de trigo, por ejemplo, en Canadá los valores óptimos para trigo rojo de primavera se encuentran entre 380 y 450 s, en Australia para trigo duro y variedades blancas Premium australianas 200 s y 350 s respectivamente, en Reino Unido un FN óptimo para variedades de trigo blando y trigo duro es de 220 s y 250 s respectivamente.

8.1.3.2. Gluten húmedo y seco. Las gliadinas y gluteninas, son las principales fracciones proteicas presentes en el grano de trigo y son las responsables de la formación de gluten durante el amasado en los procesos de panificación. La cantidad y calidad del gluten puede determinar en gran medida las propiedades reológicas de la masa, así como también, la retención de gas, formación de estructuras en la miga y el volumen del pan (Chavan & Chavan, 2011).

En la Tabla 6 se presentan los resultados sobre el gluten no retenido en el tamiz(GNR), porcentaje de gluten húmedo retenido en el tamiz (GR) y gluten húmedo (WG). Los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo T0 (0,6%) el tratamiento que más resistencia ejerce al paso de la malla, es decir, que probablemente el gluten tiene una mayor resistencia y una estructura más fuerte, de esta manera T2 (9,2%) y T3 (9,1%) fueron los tratamientos que generaron gluten con menor resistencia al paso de la malla, sin embargo, el tratamiento con mayor contenido de gluten húmedo fue T1 (32,00%) indicando que a pesar de que se retenga menor cantidad de gluten, el porcentaje total de gluten húmedo (WG) no se ve afectado como se evidencia en la figura 10, sin embargo, se tiene un gluten mucho más débil en comparación con el tratamiento T0, debido probablemente a la actividad enzimática que se genera en la fermentación de MF. El WG, también es un indicador importante de la calidad y cantidad de gluten, debido a la capacidad de hidratación del mismo. Esta capacidad de hidratación puede verse afectada por la actividad enzimática y otros factores durante la fermentación, lo que a su vez puede influir en la estructura y resistencia del gluten (Barros et al., 2022).

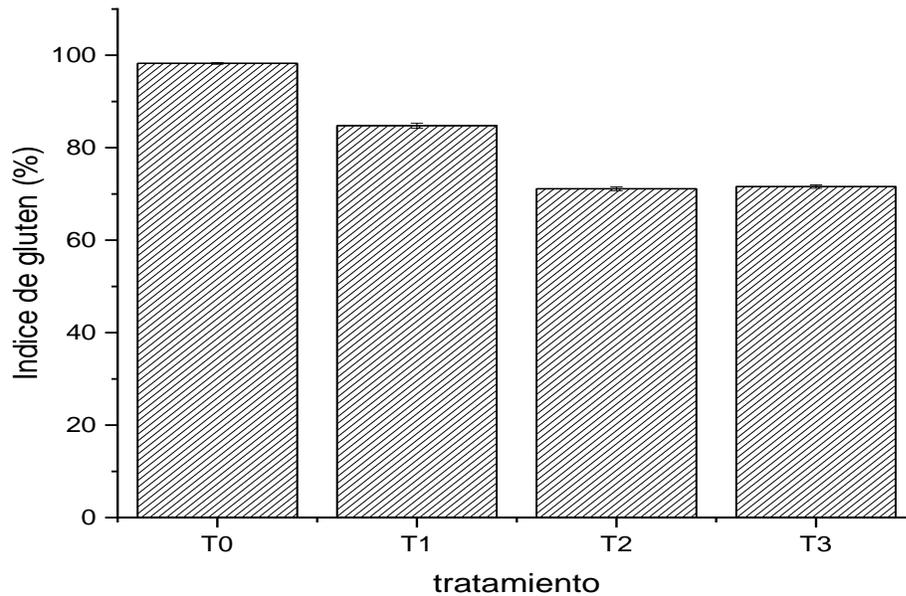
Figura 10. Fracciones de gluten húmedo en diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se muestra el comportamiento del índice de gluten (IG) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$), siendo el tratamiento T0 (98,24%) significativamente mayor que T1(84,77%), T2 (71,13%) y T3 (71,59%) este comportamiento se corrobora en la figura 11. El IG es un indicador de calidad, valores por debajo de 30 indican la presencia de un gluten de mala calidad, valores entre 30 y 80 indican una calidad normal y valores mayores a 80 indican masas con gluten de buena calidad (Barros et al., 2022; Mutwali et al., 2016), sin embargo, autores como Tozatti et al. (2020) reportan que valores por debajo de 80 podrían generar masas débiles y de mala calidad, en este orden de ideas el T0 y T1 probablemente generen mejores masas que los demás tratamientos.

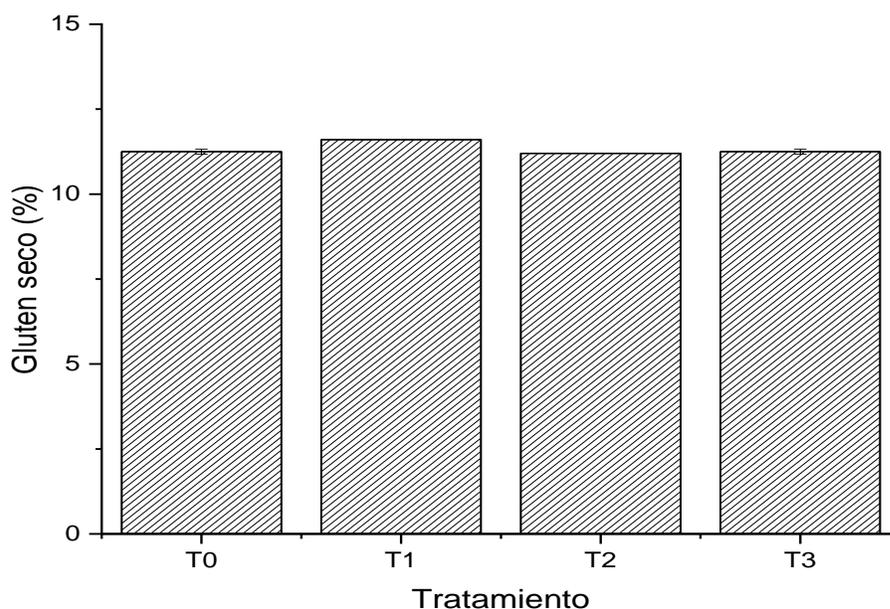
Figura 11. Índice de gluten en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se muestra el comportamiento del porcentaje de gluten seco (DG) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) donde el tratamiento T1 (11,6%) fue significativamente mayor con respecto a T0 (11,25%) T2 (11,20%) y T3 (11,25%) este comportamiento se verifica en la figura 12, siendo T1, T2 y T3 estadísticamente iguales, es decir, que al aumentar el porcentaje de MF por encima del 10% no se genera un efecto significativo sobre las proteínas del gluten en la masa del pan. Autores como Sagarpa, (2006) establece valores entre 6 y 12 % de gluten seco como óptimos para desarrollar masas fuertes mientras que Ponce Ramírez et al. (2016) establece valores entre 9,5 y 11,5 % , teniendo en cuenta que dependiendo de la variedad y procedencia del trigo puede hacer variable el contenido de gluten seco en la masa del pan.

Figura 12. Porcentaje de gluten seco de la mezcla de harina integral de trigo y MF



% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

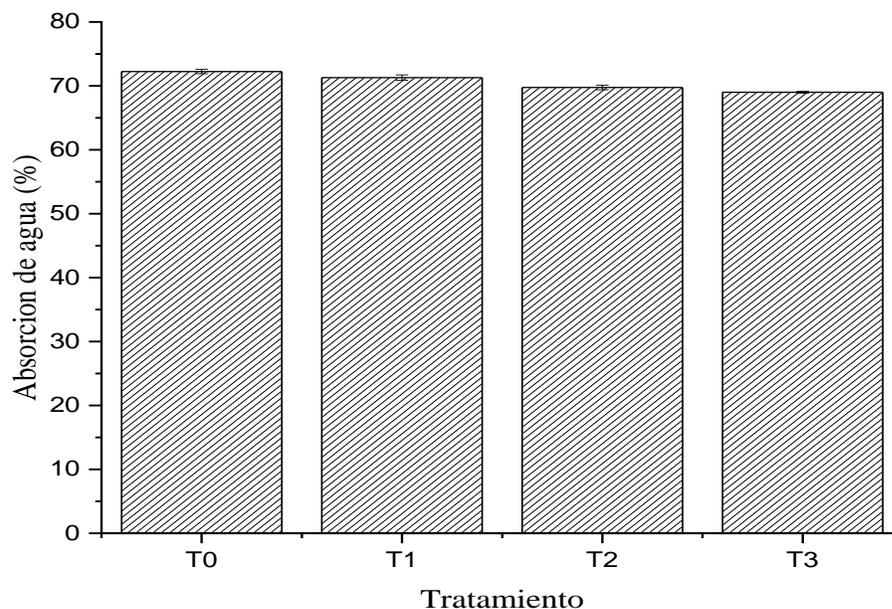
8.1.3.3. Prueba farinográfica. La prueba farinográfica determina cómo se desarrolla y se modifica la masa del pan; además, muestra la resistencia al trabajo mecánico que se ejerce en función del tiempo de amasado. Los parámetros medidos fueron la absorción de agua (WA), tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad de la masa, índice de tolerancia de la mezcla (MTI) y el número de calidad farinográfico (FQN).

En la tabla 6 se describe el comportamiento de absorción de agua (WA) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), siendo el tratamiento T0 (72,25 %) significativamente mayor que T1 (71,30 %), T2 (69,75 %) y T3 (69,00 %) como se evidencia en la figura 13, generalmente las harinas integrales tienen un alto porcentaje de absorción de agua debido a la presencia de salvado (Golshan Tafti et al., 2013). También se evidenció que a medida que se adiciona MF sobre la harina de trigo integral se disminuye WA pasando de T1 (71,30 %) a T2 (69,75 %), esto ocurre debido a que MF está compuesta principalmente por harina de trigo blanca que generalmente tiene un WA bajo en comparación a la HIT. Además, es probable que parte de las proteínas que forman el gluten se hidrolizaron durante la fermentación provocando una menor retención de agua en el amasado, esto se debe a que la estructuralidad de la proteína está estrechamente

relacionada con la absorción de agua (Biel et al., 2021), igualmente, es necesario tener en cuenta que la fibra de la harina integral es capaz de retener agua e influir en el WA; por esta razón es importante resaltar que en el presente ensayo se realizó la adición de MF por sustitución, es decir, al aumentar el porcentaje de MF se reducía la cantidad de harina integral y en consecuencia el contenido de fibra disminuyó, provocando una disminución en WA.

Autores como Golshan Tafti et al., (2013) en su investigación reportan que la adición de masa madre integral en diferentes porcentajes (3%, 6%, 9% y 15%) tiene un comportamiento contrario, al adicionar MF con harina integral de trigo, la masa del pan tuvo un WA mayor.

Figura 13. Porcentaje de absorción de agua en la mezcla de harina integral de trigo y MF

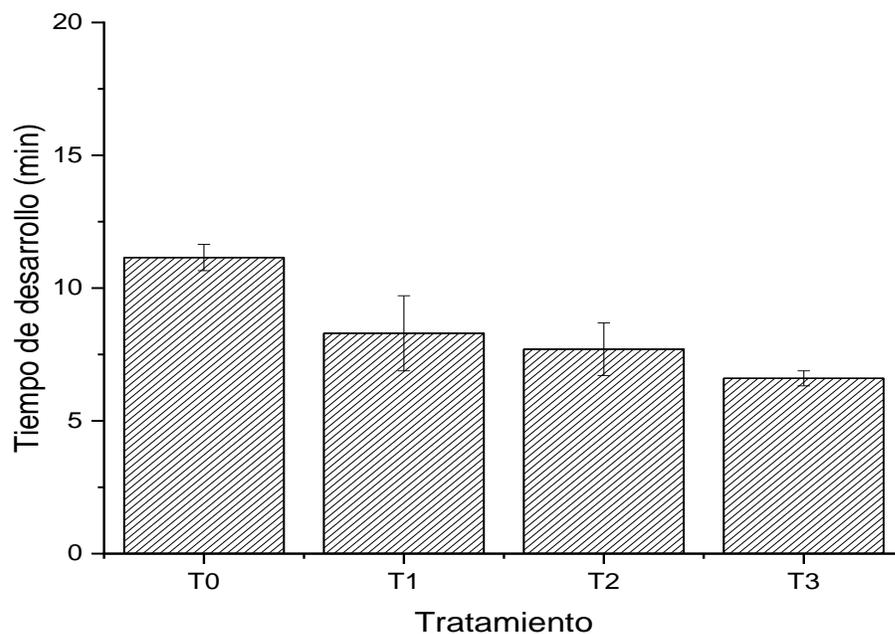


0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se muestra el comportamiento del tiempo de desarrollo en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), siendo el tratamiento T0 (11,15 min) significativamente mayor en comparación a T1 (8,3 min), T2 (7,7 min) y T3 (6,6 min), evidenciando una disminución a medida que se aumenta el porcentaje de adición de MF como se evidencia en la figura 14. El tiempo de desarrollo está estrechamente relacionado con la formación de gluten, por tal razón es probable que al adicionar MF se genere un medio ácido que promueva un debilitamiento de la estructura del

gluten y en consecuencia genere una masa más suave y se reduzca el tiempo de desarrollo de la masa (Nogueira et al., 2015). Los resultados obtenidos fueron comparables a los obtenidos por Golshan Tafti et al., (2013) quien reporta una disminución en el tiempo de desarrollo de la mezcla sin un efecto significativo cuando se adiciona MF en diferentes proporciones.

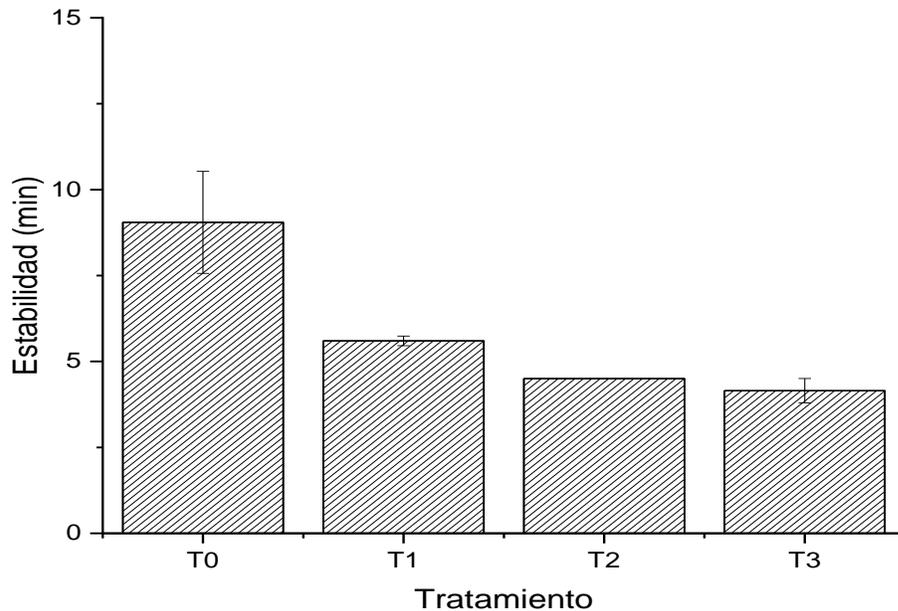
Figura 14. Tiempo de desarrollo de la mezcla de harina integral de trigo y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se describe el comportamiento de la estabilidad de la masa en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), siendo el tratamiento T0 (9,05 min) significativamente mayor respecto a T1 (5,60 min), T2 (4,50 min) y T3 (4,15 min) este comportamiento se corrobora en la figura 15, a medida que aumenta el porcentaje de adición de MF, disminuye la estabilidad de la masa sin afectarla estadísticamente. Generalmente la estabilidad de la masa es un indicador de tolerancia, valores altos de estabilidad generan masas más fuertes, con un WA más alto y mayor tiempo de desarrollo (Biel et al., 2021), este comportamiento puede estar relacionado con el cambio pH y acidez en el medio; durante la fermentación de MF se generan ácidos orgánicos que afectan fuertemente el comportamiento de la mezcla obteniendo masas frágiles (Golshan Tafti et al., 2013).

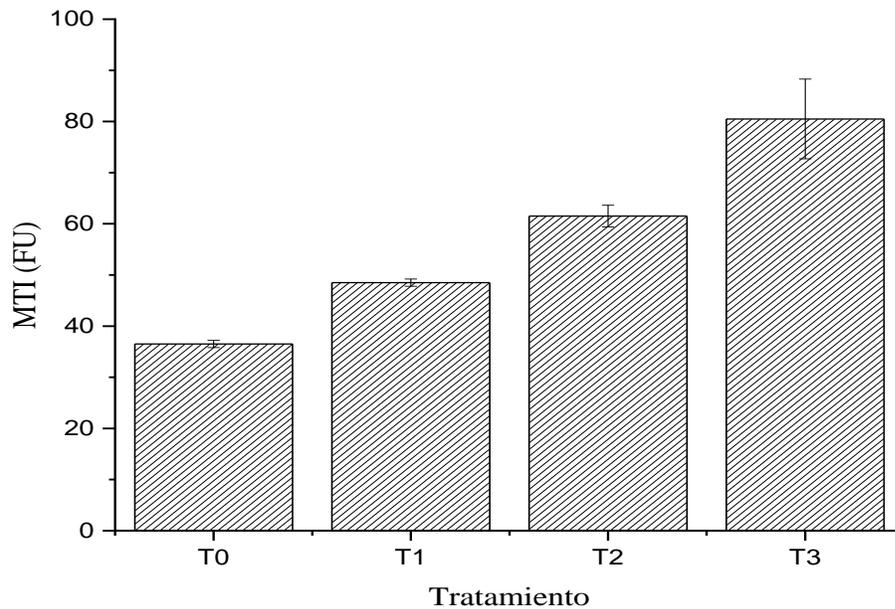
Figura 15. Estabilidad de la mezcla en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se muestra el comportamiento del índice de tolerancia (MTI) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados del MTI mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos evaluados, siendo T3(80.5) significativamente mayor en comparación con T0 (36,5), T1 (48.5) y T2 (61.5). A medida que aumenta el porcentaje de adición de MF se incrementa significativamente MTI (ver figura 16), el índice de tolerancia también es un indicador de estabilidad y mide la caída en la viscosidad máxima después de 5 minutos, por tanto, entre más alto sea MTI menor estabilidad y menor resistencia de la masa (Mehfooz et al., 2018).

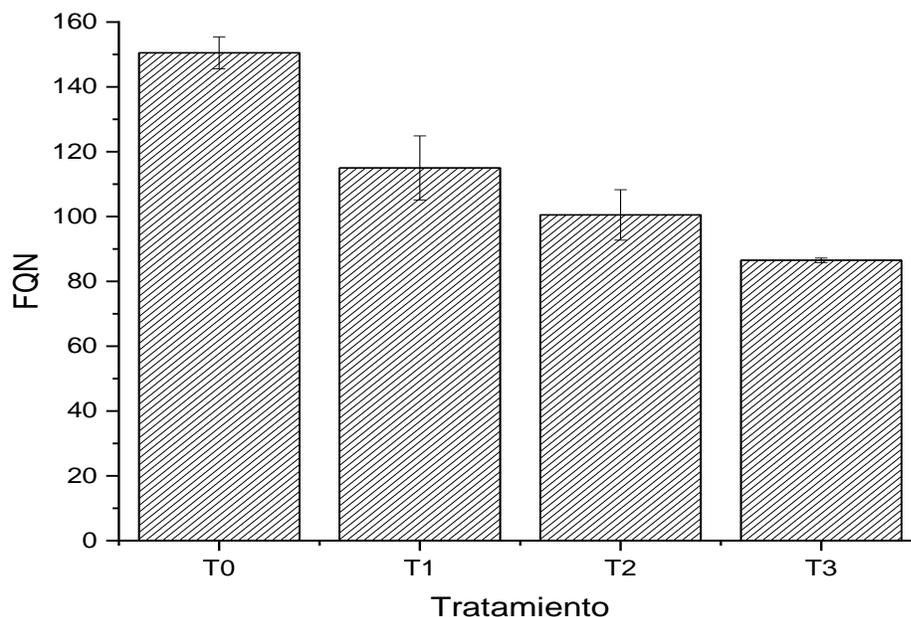
Figura 16. Índice de tolerancia de las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF(T3)

En la tabla 6 se describe el comportamiento del número de calidad farinográfico (FQN) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), siendo el tratamiento T0 (150,5) mayor que T1 (115,0), T2 (100,5) y T3 (86,5) este comportamiento se verifica en la figura 17. El porcentaje de adición de MF afecta el FQN debido probablemente a que las redes del gluten se debilitan con la adición de MF. El FQN representa la calidad de las harinas en un solo valor, valores más altos reflejan masas mucho más fuertes, por el contrario valores bajos obtienen masas mucho más frágiles y débiles(FU et al., 2008).

Figura 17. Número de calidad farinográfico en las diferentes mezclas de HIT y MF



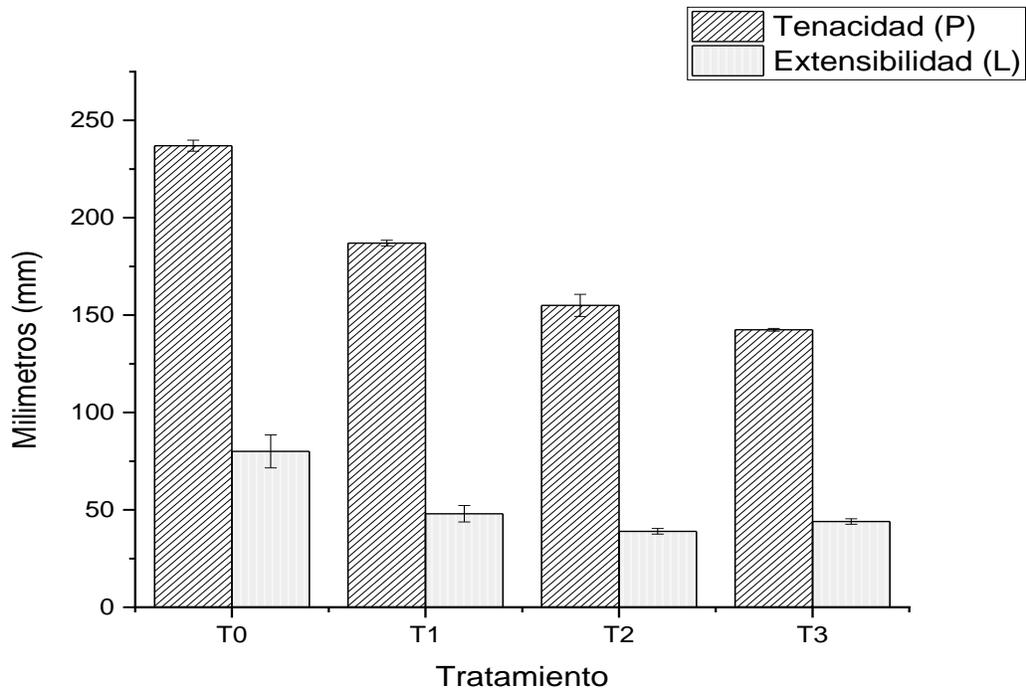
0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

8.1.3.4. Prueba alveográfica. La prueba alveográfica determina la capacidad que tiene el gluten de soportar un trabajo mecánico durante el proceso de amasado. Los parámetros reológicos de la masa medidos son la tenacidad, extensibilidad, relación tenacidad/extensibilidad y trabajo de deformación de la masa. La tenacidad (P) mide la presión máxima alcanzada, es decir, la máxima resistencia de la masa a la ruptura y está relacionada con la capacidad de absorción de agua, la extensibilidad (L) mide la longitud de la masa al ser estirada, estimando el límite máximo de retención de gas, la relación tenacidad/extensibilidad (P/L) representa la relación entre la tenacidad y extensibilidad indicando el equilibrio entre la capacidad de retención de gases durante el leudado en la masa y por último la fuerza o trabajo de deformación (W) representada como el área bajo la curva, muestra la fuerza involucrada en la unión de las cadenas de las proteínas del gluten en la masa, cuanto mayor sea el área bajo la curva mayor será la unión del gluten (Akemi Anticona, 2012; Codinã et al., 2021; Rodríguez Toro, 2022; Selene & Gutiérrez, 2018; Vargas, 2016).

En la tabla 6 se muestra el comportamiento de la tenacidad (P) y extensibilidad (L) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los valores en P y L fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) en T0 (237,0 mm; 80,0 mm) que en T1 (187,0 mm; 48,0 mm), T2 (155,0 mm; 39,0 mm) y T3 (142,5 mm; 44,0 mm) respectivamente, la tenacidad alcanzada antes de la ruptura

fue menor para los tratamientos con inclusión con MF siendo el T3 (142,5 mm) el tratamiento con menor tenacidad (ver figura 18), lo que significa que a medida que aumenta el porcentaje de inclusión de MF la presión máxima disminuye; al igual que la extensibilidad. Este comportamiento puede atribuirse a la actividad enzimática de la MF sobre la harina integral de trigo, principalmente por presencia de α -amilasas y proteasas que actúan sobre el almidón y el gluten (Codinã et al., 2021); o también se puede atribuir al aumento de TTA lo cual promueve el debilitamiento de estructuras de proteínas del gluten y del almidón (Tomić et al., 2023) .

Figura 18. Tenacidad y extensibilidad en las diferentes mezclas de HIT y MF

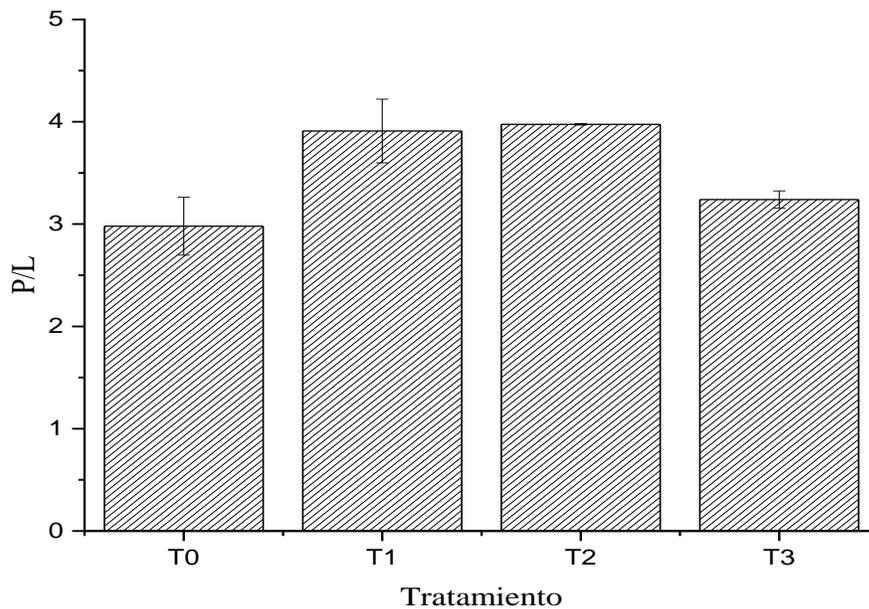


0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se describe el comportamiento de la relación tenacidad/extensibilidad (P/L) en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los valores de P/L mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo los tratamientos T1 (3,9) y T2 (3,4) significativamente mayores respecto a T0 (2,3) y T3 (3,2) este comportamiento indica que al adicionar MF en la mezcla aumenta la relación P/L (ver figura 19), debido a los cambios que sufrieron la tenacidad y extensibilidad en los diferentes tratamientos manteniendo un alto valor de tenacidad respecto a la extensibilidad desde el tratamiento T0, es decir, una capacidad de retención de agua superior a la retención de gases, debido posiblemente a una alta cantidad de fibra por parte de la HIT

(Hernández Clemente, et al., 2021), por otra parte, para el tratamiento T3 disminuye su relación P/L debido a una mayor adición MF generando un mayor grado de proteólisis llevando a una disminución de P de manera significativa al aumentar la inclusión de MF, pero manteniéndose el valor de L significativamente igual en los tratamientos con adición de MF. Autores como Bellesi et al., (2020) afirma que los panes elaborados con harinas integrales de trigo el valor de P/L es de 4.30, siendo un valor mayor al reportado en el presente estudio (ver tabla 5), además Hernández Clemente, et al., (2021) y Freire Factos (2019) establece que a $P/L > 1$ son propios para masas duras, mientras que valores $P/L < 1$ deben poseerlos harinas para masas blandas o semiblandas. El valor de P/L determina el equilibrio de las harinas e indica para qué tipo de trabajo panadero serán adecuadas las harinas de este modo un equilibrio para elaborar panes debe estar en el rango de $6 > P/L > 4$ (Perez & Garcia, 2013).

Figura 19. Tenacidad/extensibilidad en las diferentes mezclas de HIT y MF



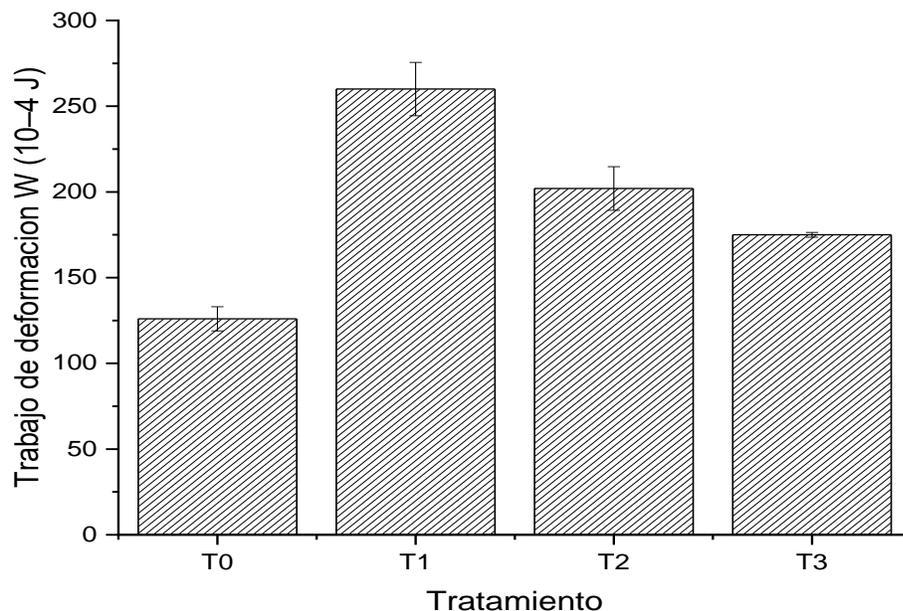
0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 6 se describe el comportamiento del trabajo de deformación en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) donde los tratamientos T1 ($260 \cdot 10^{-4}$ J), T2 ($202 \cdot 10^{-4}$ J), T3 ($175 \cdot 10^{-4}$ J) fueron significativamente mayores respecto al tratamiento T0 (126).

En la figura 20 se puede evidenciar que el tratamiento T0 obtuvo el valor más bajo de W ($126 \cdot 10^{-4} \text{ J}$) este comportamiento se debe probablemente al contenido de salvado disponible en la mezcla, afectando negativamente las propiedades reológicas de la masa y por tanto la textura del producto final. Esto limita en gran medida la capacidad del gluten y el almidón para formar una red estable resistente al esfuerzo físico. El alto porcentaje de fibra compite por la absorción de agua en la masa afectando sus propiedades mecánicas (Ma et al., 2021).

Por otra parte, T1 fue significativamente mayor a los demás tratamientos y a medida que aumentó el porcentaje de inclusión de MF por encima del 10% W disminuyó. Este comportamiento se debe probablemente a que las proteasas presentes durante el proceso fermentativo actúan sobre las proteínas del gluten y las fraccionan, generando proteínas de cadena corta lo que conlleva a una formación proteica más débil (Tomić et al., 2023).

Figura 20. Trabajo de deformación de la mezcla de harina integral de trigo y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

El trabajo de deformación está relacionado estrechamente a la capacidad de desarrollo de gluten lo que puede influenciar en la calidad de formación del pan y en las características físicas de este producto como el volumen y la estructura de la miga, es decir, a mayor W mayor volumen y mejor calidad de miga (Keçeli et al., 2021).

8.2. PROPIEDADES FÍSICAS, REOLÓGICAS Y SENSORIALES DEL PAN INTEGRAL DE TRIGO Y MF

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades físicas y reológicas del pan por efecto de la adición de MF.

8.2.1. Caracterización física del pan. En la tabla 7 se describen las pruebas físicas de los panes elaborados con diferentes porcentajes de inclusión de MF.

Tabla 7. Propiedades físicas del pan integral de trigo con inclusión de MF

	Tratamiento			
	T0	T1	T2	T3
Volumen (cm³)	600,0 ± 10,0 ^a	680 ± 0,0 ^b	650,0 ± 10,0 ^{bc}	640,0 ± 14,1 ^c
Color de la miga				
L*	60,4 ± 0,3 ^d	61,9 ± 0,6 ^c	62,9 ± 1,3 ^b	65,0 ± 0,3 ^a
a*	5,4 ± 0,1 ^{ab}	5,5 ± 0,3 ^a	5,2 ± 0,1 ^{bc}	5,1 ± 0,1 ^c
b*	16,1 ± 0,1 ^c	16,8 ± 0,3 ^b	16,9 ± 0,4 ^b	17,4 ± 0,3 ^a
Color de la corteza				
L*	46,3 ± 0,1 ^a	43,6 ± 0,1 ^b	43,6 ± 0,1 ^b	42,4 ± 0,0 ^c
a*	8,5 ± 0,2 ^a	7,6 ± 0,1 ^b	6,9 ± 0,3 ^c	6,5 ± 0,1 ^d
b*	11,3 ± 0,1 ^a	8,7 ± 0,1 ^b	8,2 ± 0,2 ^c	7,4 ± 0,1 ^d

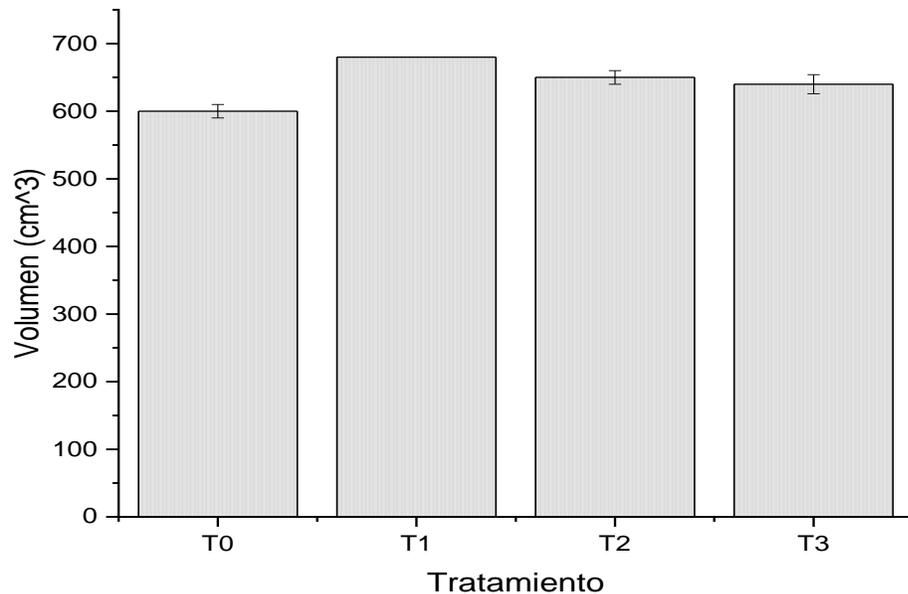
0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

8.2.1.1. Volumen del pan. El volumen del pan hace referencia al tamaño por esponjosidad y está determinado por la producción y retención de gas durante su proceso de elaboración (Verdonck et al., 2023). En la tabla 7 se describe el comportamiento del volumen del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) siendo el tratamiento T1 (680,0 cm³) estadísticamente mayor a T0 (600,0 cm³), T2 (650,0 cm³) y T3 (640,0 cm³).

En la figura 21 se evidencia que la adición de MF tiene un efecto significativo sobre el volumen del pan, debido probablemente a una mayor disponibilidad de azúcares fermentables por acción de las α -amilasas; esta disponibilidad de azúcares hace que se incremente la producción de gas en la masa por acción de las levaduras en los procesos fermentativos. Es necesario aclarar que una producción excesiva de azúcares limita la actividad de la levadura (Olaerts et al., 2018). Además, al aumentar el porcentaje de MF por encima del 10% se refleja un descenso significativo del volumen del pan, atribuido a una mayor degradación de las proteínas del gluten (gliadina y glutenina) por efecto de acidificación y presencia de proteasas, lo que conduce a un debilitamiento de la red de gluten,

deficiencia en la retención de gas y en consecuencia un menor volumen del pan (Tomić et al., 2023; Verdonck et al., 2023).

Figura 21. Comportamiento del volumen del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

Autores como Tomić et al. (2023) reportan que el porcentaje de adición de MF de trigo de 25% y 50% presentó volúmenes bajos y en consecuencia panes con una estructura mucho más densa y con mayor dureza, según este autor este comportamiento se debe probablemente a la acidez producto de combinación MF y el tiempo de fermentación de masa lo que podría generar mayor actividad proteolítica y en consecuencia menor capacidad de retención de gas en la masa reduciendo el volumen del pan.

8.2.1.2. Análisis de la estructura celular de la miga. La estructura celular de la miga del pan es el resultado de un complejo proceso durante la fermentación y horneado que ocurre en la preparación del pan, durante el proceso de amasado se desarrolla el gluten creando una red elástica que atrapa gas, dando lugar a la formación de burbujas de gas al interior de las células de la miga en el pan (Verdonck et al., 2023).

En la tabla 8 se presentan los resultados del análisis de la estructura celular de la miga en el pan. Se encontró que los resultados fueron estadísticamente diferentes entre sí ($p < 0,05$). El tratamiento T0 (9×10^{-2}) mostró el mayor tamaño promedio de celdas, pero en contraste, el número de alvéolos fue significativamente menor en comparación con los otros tratamientos. Por otro lado, el tratamiento T1 presentó un tamaño promedio de celda de 8×10^{-2} mm, pero con una mayor cantidad de alvéolos (1594) en comparación con T0 (1410,0). Esto sugiere una mayor retención de gas en la miga del pan y, por ende, un mayor volumen en T1.

En cuanto al número de alvéolos por mm^2 se encontró que T2 (1,32) y T3 (1,37) obtuvieron mayor valor en este parámetro, pero con un tamaño promedio de celda menor en comparación con T0 y T1 lo que genera panes con menor volumen y mayor dureza (Sarabhai et al., 2021).

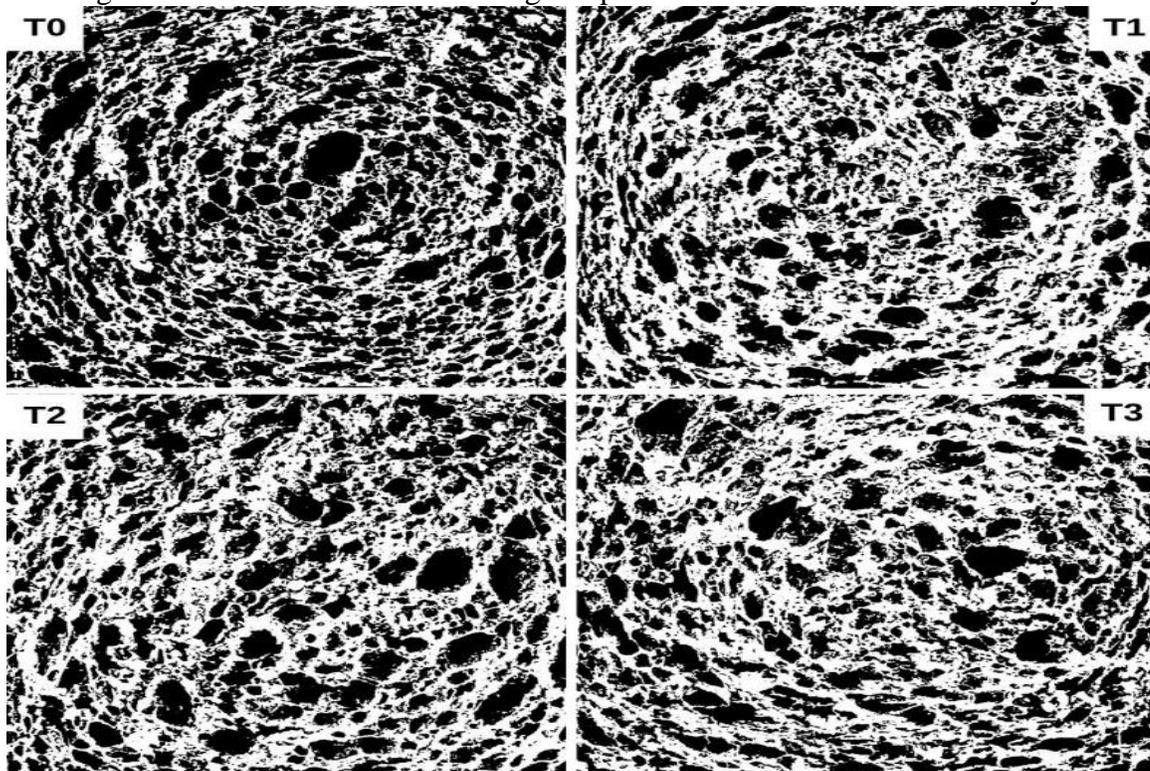
Tabla 8. Análisis de la estructura celular de la miga en el pan en las diferentes mezclas de HIT y MF

	Tratamiento			
	T0	T1	T2	T3
Tamaño promedio de celda (mm^2)	$9 \times 10^{-2} \pm 0,0^a$	$8 \times 10^{-2} \pm 0,0^{ab}$	$7 \times 10^{-2} \pm 0,0^{bc}$	$6 \times 10^{-2} \pm 0,0^c$
Número de alvéolos	$1410,0 \pm 111,7^a$	$1594 \pm 7,1^a$	$2286,5 \pm 4,9^b$	$2383,5 \pm 154,8^b$
Fracción de área (%)	$22,5 \pm 6,9^a$	$24,9 \pm 1,4^{ab}$	$35,7 \pm 4,7^{bc}$	$37,4 \pm 0,3^c$
Número de alvéolos por mm^2	$0,8 \pm 0,1^a$	$0,9 \pm 0,0^a$	$1,32 \pm 0,0^b$	$1,37 \pm 0,1^b$

0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

La estructura celular de la miga se forma desde la fermentación de la masa hasta el horneado del pan (Babin et al., 2006) y depende en gran medida de la fuerza del gluten, al hidrolizarse la proteína del gluten por efecto de la adición de MF se incrementa la firmeza de la miga debido a la formación de una matriz débil de gluten (Wang et al., 2011), en consecuencia se formarán masas menos elásticas con un menor volumen, mayor cantidad de celdas de menor tamaño (Sarabhai et al., 2021; Zhang et al., 2023) tal como se evidencia en la figura 22.

Figura 22. Estructura celular de la miga del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

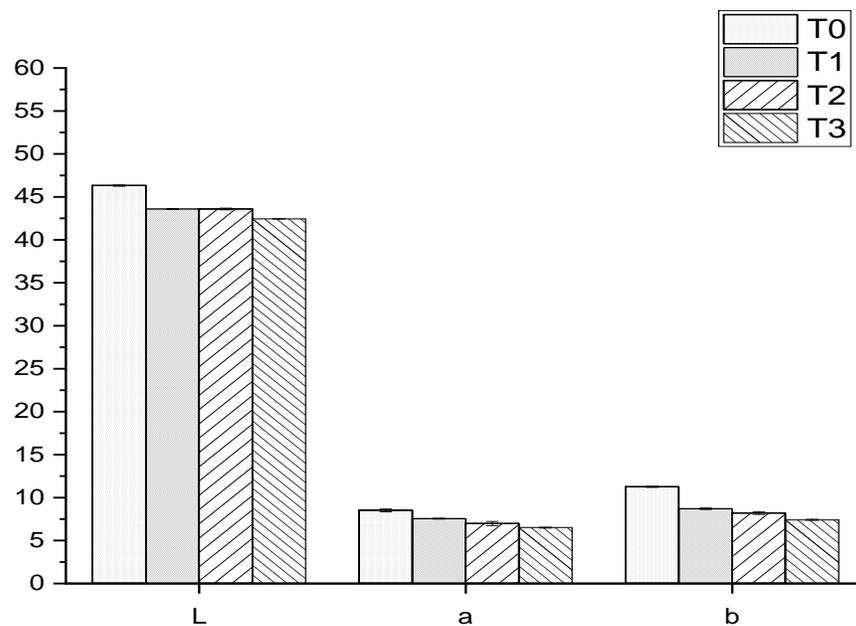
8.2.1.3. Color de la corteza y la miga del pan. El color de la corteza y la miga del pan es uno de los parámetros requeridos para la aceptación de los productos de panadería, debido a que es la primera impresión del consumidor, los panes deben tener un color agradable y característico (Das et al., 2021). Los valores de color después del horneado se representan en tres parámetros (L^* , a^* y b^*), donde L^* representa la luminosidad y el cambio de luz de claro a oscuro, a^* representa el cambio de color verde a rojo y b^* representa el cambio de color azul a amarillo (Lancetti, 2017).

En la tabla 7 se presenta el comportamiento del color de la corteza del pan con inclusión de MF. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos siendo la luminosidad L^* significativamente mayor en el tratamiento T0 respecto a T1 (43,6), T2 (43,6) y T3 (42,4). En la figura 23 se observa una disminución en los valores de L^* indicando que la corteza del pan es más oscura debido a la adición de MF, esto se atribuye a una mayor disponibilidad de azúcares y aminoácidos por acción de α -amilasas y proteasas presentes en el sistema, aumentando la probabilidad de generación de reacciones de Maillard y caramelización (Calvo Carrillo et al., 2020). Sin embargo, el tratamiento T3 reportó el

menor valor de L^* (42.44) debido probablemente a una mayor adición de MF (20%) dando como resultado un pan más oscuro.

Los valores a^* y b^* en los cuatro tratamientos resultaron diferentes estadísticamente ($p < 0.05$) (ver tabla 7). Se evidencia que a medida que aumenta el porcentaje de inclusión de MF a^* y b^* disminuyen lo que indica una pérdida del tono rojizo y el color amarillo en la corteza. Este comportamiento es poco usual dado que en la mayoría de reportes de productos horneados la tendencia es a un incremento tan como lo reporta Beltrão Martins et al., (2022) quienes informan que la adición de MF puede conducir a colores más rojizos y oscuros en el pan sin un efecto significativo sobre los valores de b^* (Gidari - Gounaridou et al., 2023).

Figura 23. Color de la corteza del pan

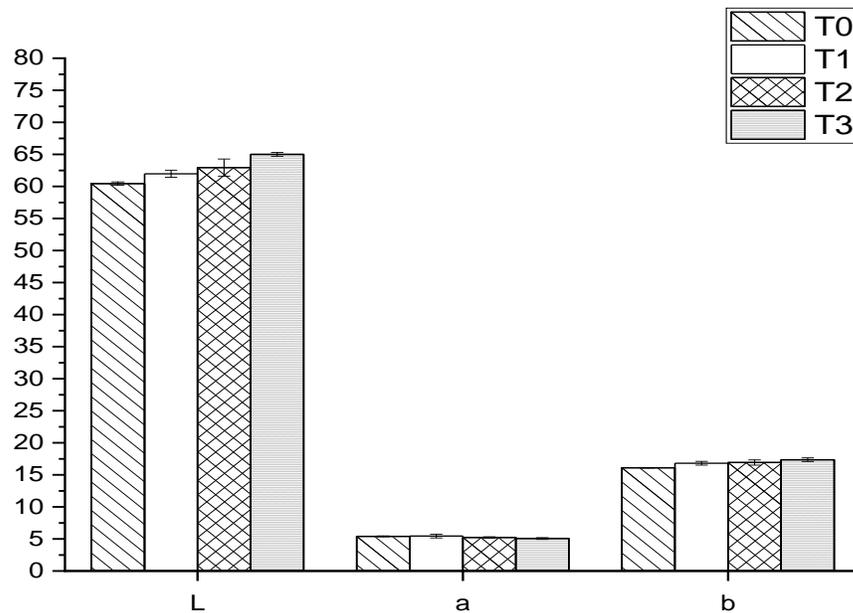


En la tabla 7 se presenta el comportamiento del color de la miga en el pan. Los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). De acuerdo a los valores de luminosidad L^* el tratamiento T3 resultó estadísticamente mayor respecto T0, T1 y T2. El valor L^* aumento con la adición de MF (ver figura 24), debido probablemente a que MF está compuesta principalmente por harina refinada de trigo lo que podría generar una variación en el color de la miga del pan (Rodríguez et al., 2018), además, la medida de luminosidad en la miga también depende de factores como la formación de celdas de gas, debido a que una miga

mucho más fina con paredes celulares que rodean las celdas de gas podrían reflejar la luz en lugar de absorberla haciendo que los panes con menor tamaño de celdas muestren valores de L^* más altos que los panes con tamaños de celdas mayores (Verdonck et al., 2023)

Los valores de a^* y b^* resultaron diferentes estadísticamente entre los tratamientos ($p < 0.05$), siendo T1 el tratamiento con mayores valores de a^* , indicando una mayor tonalidad rojiza respecto a los demás tratamientos (ver tabla 7). En cuanto a los valores de b^* el tratamiento T0 fue significativamente menor ($p < 0.05$) respecto a T1, T2 y T3 (ver tabla 7), indicando una mayor tonalidad amarilla en la miga cuanto más se incrementa la concentración de MF en la masa, probablemente debido a que aumenta la actividad proteolítica generando mayor reacción de pardeamiento y reacciones de maillard y en consecuencia aumenta el color en la miga del pan. (Xu et al., 2019).

Figura 24. Color de la miga del pan



8.2.2. Reología del pan. En la tabla 9, se describen las pruebas reológicas sobre la textura de la miga del pan (análisis TPA) y la textura de la corteza de los panes elaborados con diferentes porcentajes de inclusión de MF.

Tabla 9. Propiedades reológicas del pan integral de trigo con inclusión de MF

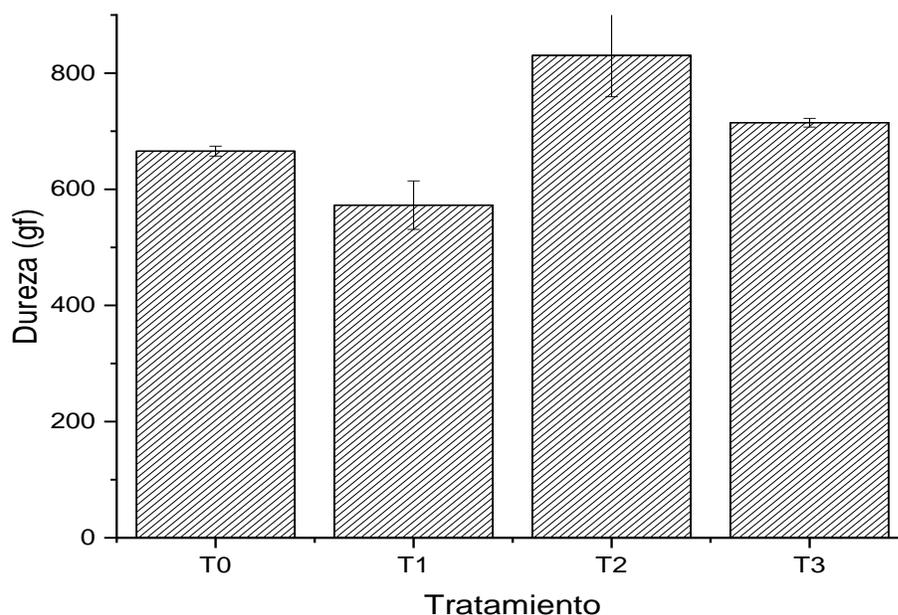
	Tratamiento			
	T0	T1	T2	T3
Textura de la miga				
Dureza (gf)	665,7 ± 8,5 ^{bc}	572,6 ± 41,7 ^c	830,4 ± 71,1 ^a	714,6 ± 7,6 ^b
Cohesividad	0,7 ± 0,0 ^a	0,7 ± 0,0 ^b	0,61 ± 0,0 ^c	0,6 ± 0,0 ^{bc}
Elasticidad (%)	88,0 ± 2,2 ^a	89,0 ± 0,6 ^a	86,0 ± 1,1 ^a	86,0 ± 0,1 ^a
Masticabilidad (gf)	4,0 ± 0,2 ^a	3,5 ± 0,1 ^b	4,1 ± 0,0 ^a	4,0 ± 0,1 ^a
Adhesividad (gf s)	-0,8 ± 0,0 ^b	-2,7 ± 0,4 ^a	-0,9 ± 0,1 ^b	-1,3 ± 0,1 ^b
Textura de la corteza (N)	0,3 ± 0,0 ^b	0,5 ± 0,2 ^a	0,3 ± 0,1 ^b	0,3 ± 0,1 ^b

0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

8.2.2.1. Textura de la miga del pan. La textura es uno de los principales parámetros y características de calidad del pan, en general la prueba textural de TPA se basa en la simulación de la masticación (Gh et al., 2010) midiendo parámetros como la dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad del pan.

En la tabla 9 se describe el comportamiento de la dureza del pan. Los resultados obtenidos fueron estadísticamente diferentes ($P > 0.05$) siendo el tratamiento T1 (572,6) significativamente menor en comparación a T0 (665,7) T2 (830,4) y T3 (714,6), este comportamiento se puede verificar en la figura 25, donde se puede evidenciar que el tratamiento que ejerce menor dureza fue el tratamiento con 10% de adición de MF.

Figura 25. Comportamiento de la dureza del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

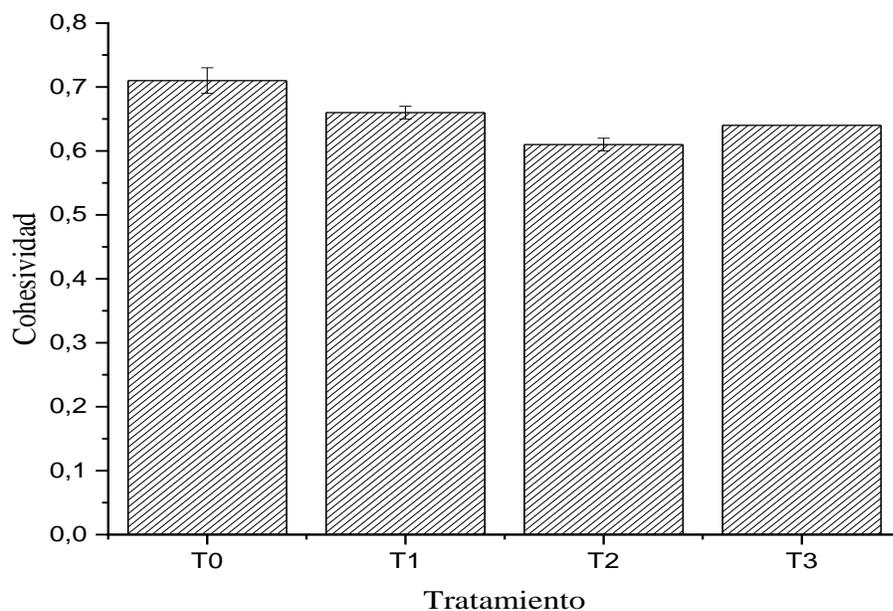
La dureza es la fuerza que se ejerce durante la primera compresión en un análisis de TPA simulando la primera mordida (González et al., 2015). Un factor importante a tener en cuenta es la actividad amilolítica en la masa del pan por efecto de la adición MF el cual se potencia durante el leudado, esto probablemente produce un incremento en la hidrólisis de almidón, generando mayor disponibilidad de azúcares fermentables que promueven la formación de estructuras más esponjosas (Goesaert et al., 2009)

No obstante, un exceso en la hidrólisis de almidón conduce a una pérdida en absorción de agua debido a la ausencia de almidón disponible que pueda hincharse y por ende genere masas más densas y más duras de baja esponjosidad. Autores como Sarabhai et al. (2021) reportan que el tamaños pequeños en las celdas de gas pueden generar panes mucho más duros debido a que se ejerce mayor resistencia a la sonda y se tienen panes mucho más densos con un menor volumen.

En la tabla 9 se describe el comportamiento de la cohesividad del pan. La cohesividad fue significativamente mayor en T0 (0,71) que en los tratamientos T1 (0,66), T2 (0,61), y T3 (0,64), este comportamiento se puede verificar en la figura 26. La cohesividad indica la fuerza con la que están unidas las partículas y generalmente expresa la capacidad que tiene

una muestra para recuperarse completamente luego de aplicar una primera compresión (González et al., 2015). Es probable que el tratamiento T0 tenga una estructura más firme y menos pegajosa, mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 formaron masas más frágiles debido a la hidrólisis de las proteínas durante el proceso de leudado evitando la formación de redes de gluten fuertes en la masa del pan (Zhang et al., 2023).

Figura 26. Comportamiento de la cohesividad del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF



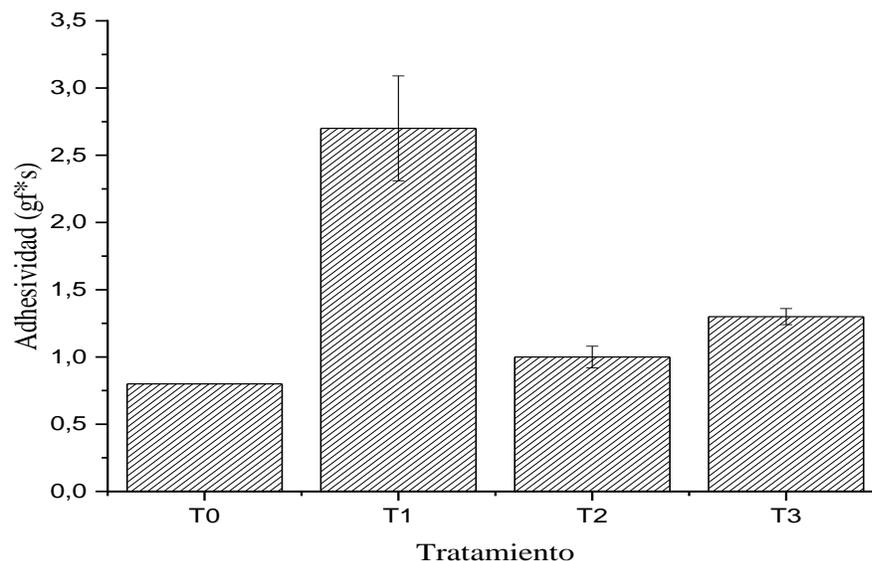
0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 9 se presentan los resultados de la elasticidad del pan donde se evidencia un porcentaje mayor en el tratamiento T1 en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, no se observa un efecto significativo en este parámetro luego de agregar MF. La elasticidad mide la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer y segundo ciclo de compresión, es decir, cuánta estructura original se ha roto producto de la simulación de la masticación (Gh et al., 2010). Los resultados de la presente investigación fueron comparables con autores como (Różyło et al., 2016) quienes reportan que no hay un efecto significativo en la elasticidad del pan al agregar MF.

En la tabla 9 se presenta el comportamiento de la adhesividad en las diferentes mezclas de HIT y MF. Los resultados fueron estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) siendo el tratamiento

T1 (2,7 gf s) mayor que T0 (0,8 gf s) T2 (0,9 gf s) Y T3 (1,3 gf s), sin embargo, se evidencia un aumento en este parámetro con la adición de MF en el pan (ver figura 27), es probable que la actividad enzimática con la adición de MF genere un efecto en el horneado provocando panes más adhesivos, este parámetro puede influir en la percepción por parte del consumidor. La adhesividad representa la propiedad viscosa de los panes, es decir, la capacidad de una muestra de pan de adherirse a los dientes durante la masticación (Dan et al., 2022b). Respecto a la adhesividad el término no está muy definido en cuanto a adición de masa fermentada en panes elaborados con HIT por ello es necesario realizar nuevas investigaciones que den claridad sobre el tema.

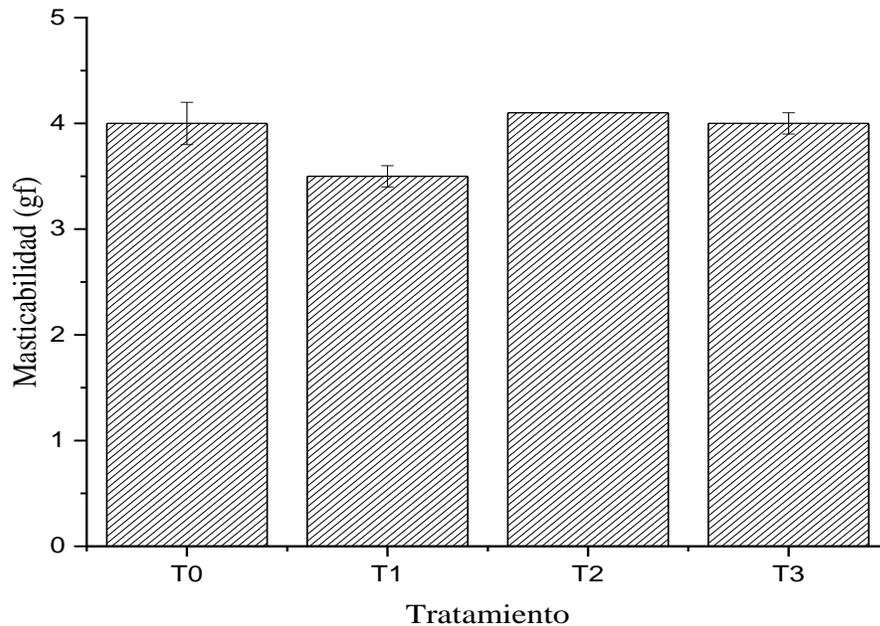
Figura 27. Comportamiento de la adhesividad del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

En la tabla 9 se presenta el comportamiento de la masticabilidad en las diferentes mezclas de HIT y MF. El tratamiento T1 (3,5 gf) presentó comportamientos significativamente menores en comparación a T0 (4,0 gf), T2 (4,1 gf) y T3 (4,0 gf), respectivamente (ver figura 28). La masticabilidad se relaciona con el trabajo requerido para masticar un alimento hasta que está listo para ser deglutido; por lo tanto, los panes más duros generan una mayor masticabilidad, es decir, se necesita mayor energía para triturarlos (Carocho et al., 2020).

Figura 28. Comportamiento en la masticabilidad del pan en las diferentes mezclas de HIT y MF

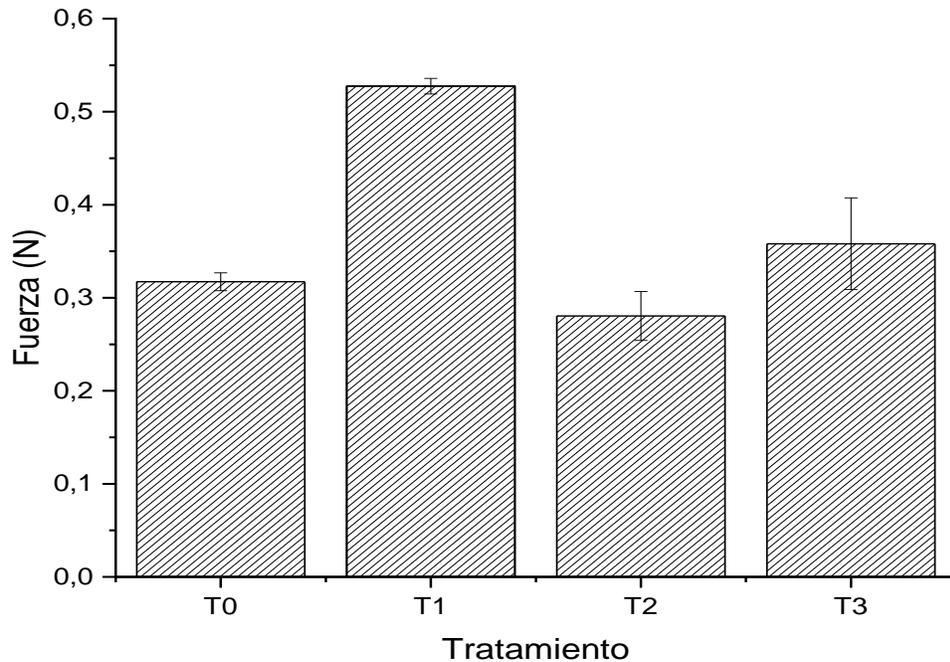


0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

8.2.2.2. Textura de la corteza del pan. La corteza es uno de los parámetros que determina la calidad de un pan, debido a que es la primera impresión del consumidor en cuanto a textura, los panes deben tener una textura crujiente muchas veces se asocia a la frescura del pan (Cruz, 2019; Pico et al., 2019).

En la tabla 9 muestran los resultados de la cuantificación de la dureza en la corteza del pan. Los tratamientos fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$). El tratamiento T1 exhibió el mayor valor de dureza en comparación con T0(0,32), T2 (0,3) y T3 (0,3), este comportamiento se puede verificar en la figura 29. Esto sugiere que al agregar un 10% de MF, la corteza del pan tiende a perder humedad, posiblemente debido a la formación de una corteza más delgada durante el horneado y la extensión de la masa. Por otro lado, los tratamientos T0, T2 y T3 mostraron similitudes estadísticas, a diferencia de T1. Esta diferencia podría deberse a una formación de corteza con mayor contenido de humedad lo que las hace más débiles, provocando menor requerimiento de energía para la fractura.(Cruz, 2019; Pico et al., 2019).

Figura 29. Dureza de la corteza del pan integral de trigo con inclusión de MF



0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF (T3)

8.2.3. Análisis sensorial. La evaluación sensorial es una de las pruebas más importantes para medir la calidad del producto final. Los datos reportados en la tabla 10 muestran los valores de preferencia total, color en la corteza y en la miga del pan. Los tratamientos resultaron diferentes estadísticamente ($p < 0.05$), siendo T0 (204) el tratamiento con menor preferencia por parte de los panelistas, con respecto a T1 (252), T2 (278), y T3 (232). Sin embargo, T2 fue el tratamiento con mayor aceptación en cuanto a preferencia, evidenciando que no necesariamente panes más suaves y con mayor volumen tendrán más aceptación por parte del consumidor; además, el tratamiento T2 obtuvo mayor aceptación en cuanto a color de corteza (286) y miga (290). El color es el primer parámetro de calidad evaluado y es crítico para la aceptación del producto, generalmente se asocia a sabores dulces y el nivel de satisfacción (Purlis, 2010).

Tabla 10. Propiedades sensoriales del pan integral de trigo con inclusión de MF

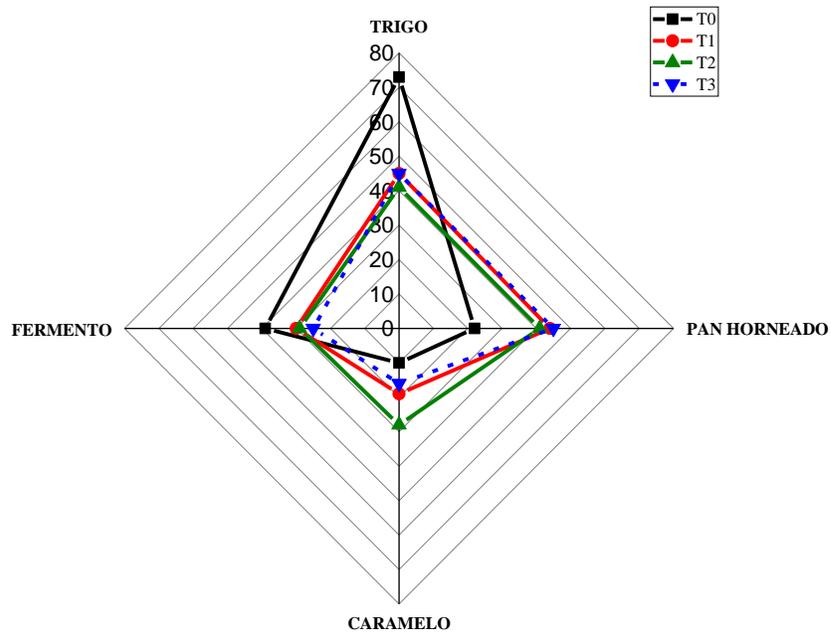
Preferencia	T0	T1	T2	T3
Preferencia total	204,0 ± 1.1 ^d	252,0 ± 1.02 ^b	278,0 ± 1.0 ^a	232,0 ± 1.2 ^c
Color Corteza	191,0 ± 1,0 ^c	281,0 ± 1 ^a	286,0 ± 1,0 ^a	221,0 ± 1.2 ^b
Color Miga	253,0 ± 1.2 ^b	252,0 ± 1 ^b	290,0 ± 1,0 ^a	178,0 ± 1.1 ^c

0% adición de MF (T0), 10% adición de MF (T1), 15% adición de MF (T2), 20% adición de MF(T3)

El aroma y el sabor característicos del pan dependen de dos factores, el primero está relacionado con los metabolitos producto de las fermentaciones y en segundo lugar los generados por el proceso de cocción aportando aroma y sabor horneado en la masa. Durante el proceso de fermentación se generan compuestos volátiles y no volátiles, como, alcoholes, cetonas, ésteres y ácidos orgánicos originados a partir de la oxidación de lípidos, reacciones de pardeamiento no enzimático y el horneado, estos compuestos se intensifican por acción de la temperatura (Codină et al., 2021; Li et al., 2022; Siepmann et al., 2018).

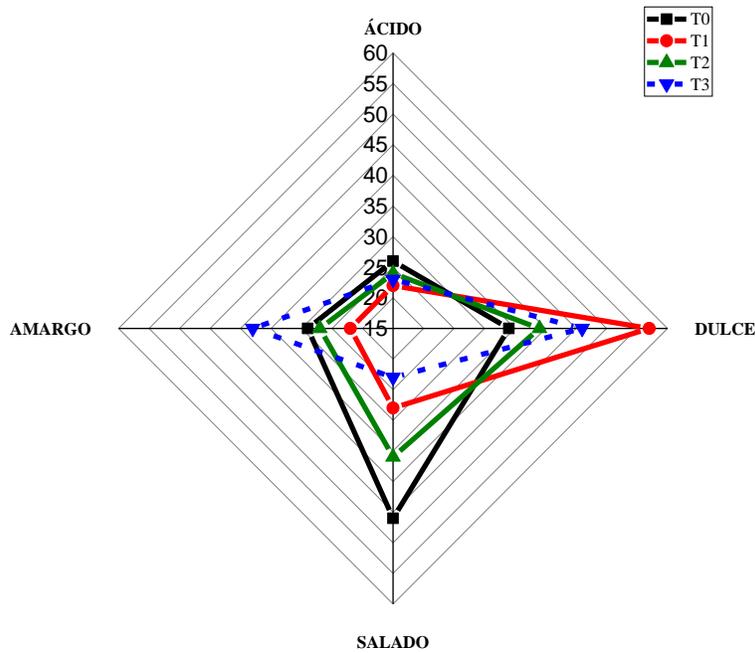
En la figura 30 se presenta el comportamiento de la evaluación sensorial en cuanto a aroma del pan. El aroma y el sabor son uno de los atributos más importante después del horneado, según los resultados obtenidos T0 obtuvo mayor tendencia al gusto por aroma a trigo (>70) y fermento (>40) mientras que T1, T2 y T3 tuvieron una mayor tendencia a aroma a caramelo y pan horneado, posiblemente debido a que la masa fermentada otorga metabolitos y compuestos volátiles que confieren olores característicos al producto (Carillo., et al 2020).

Figura 30. Evaluación sensorial del aroma del pan integral de trigo con inclusión de MF



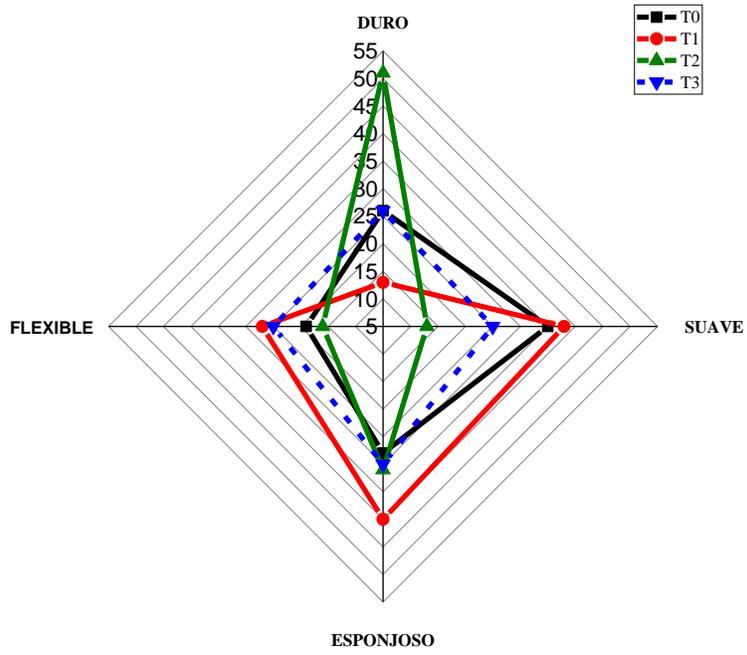
En la figura 31 se presenta el comportamiento de la evaluación sensorial en cuanto al sabor del pan. En la evaluación del sabor del pan, T0 mostró una tendencia a selección de sabores salados menos dulces y menos amargos, contrario a T1 T2 y T3, siento T1 el pan más dulce y T3 el pan más amargo. La adición de MF puede mejorar el sabor del pan sin afectar la textura y su volumen del pan, al adicionar MF puede generarse proteólisis dentro de la masa liberando aminoácidos y péptidos afectando el sabor del pan, autores como Chavan & Chavan, (2011) reportan que un grado limitado de proteólisis puede contribuir a una mejor formación de compuestos del sabor.

Figura 31. Evaluación sensorial del sabor del pan integral de trigo con inclusión de MF



En la figura 32 se presenta el comportamiento de la evaluación sensorial en cuanto a la textura del pan. La textura es una de las características más importantes en productos de panificación, de acuerdo a las variables evaluadas (suavidad, flexibilidad, esponjosidad y dureza) T2 fue el tratamiento con mayor dureza con una puntuación alta (50), mientras que T1 fue el pan más suave esponjoso y flexible, es decir, que los resultados obtenidos en la prueba de textura son equiparables a la evaluación sensorial por parte del consumidor, sin embargo, en T3 se encontró un comportamiento singular en dureza, suavidad, esponjosidad y flexibilidad, probablemente para los panelistas fue el pan más equilibrado en cuanto a características estructurales.

Figura 32. Evaluación sensorial de la textura del pan integral de trigo con inclusión de MF



9. CONCLUSIONES

Durante el proceso para la obtención de masa fermentada se logró determinar que a medida que avanza la fermentación se presenta liberación de azúcares hasta las 36 h, mientras que se evidencia un mayor grado de proteólisis hasta las 48 h de fermentación, comportamiento relacionado posiblemente con el contenido endógeno de enzimas presentes en el sustrato y la producción de enzimas producto del metabolismo microbiano.

El proceso fermentativo favoreció el crecimiento de microorganismos, principalmente BAL, provocando un incremento en TTA y una disminución en el pH, estos cambios están relacionados con la producción de ácido láctico, generando ausencia de algunos microorganismos patógenos como los coliformes totales debido a la acidificación del medio.

El efecto de la adición de masa fermentada afectó significativamente las propiedades reológicas de la masa del pan, comportamiento observado en la reducción de la resistencia del gluten, WA, tiempo de desarrollo, estabilidad de la masa, FQN, un aumento el MTI y mayor relación P/L, cambios relacionados posiblemente con la hidrólisis de proteína que afecta la capacidad del gluten de formar redes estables. Además, se determinó que al agregar 10 % de MF se obtuvieron valores de trabajo de deformación de la masa más altos mejorando características reológicas en el producto final.

Se determinó que al adicionar MF aumenta la luminosidad de la miga del pan, con mayor tendencia a colores amarillos, mientras que la luminosidad de la corteza disminuyó generando tonos más oscuros y reducción del color rojo y amarillo, esta generación de colores está relacionada a la producción de reacciones de maillard por efecto de la interacción de azúcares y proteínas.

Se pudo verificar que el 10% de inclusión de MF en productos de panificación amplificó algunas variables como aumento del volumen, reducción de dureza y celdas con mayor retención de gas. No obstante, el tratamiento con inclusión del 15 % tuvo mejor aceptación por parte de los panelistas obteniendo mayores puntajes en aspectos como la dureza, tendencia a sabor a caramelo y mayor color de la corteza y miga del pan.

10. RECOMENDACIONES

Realizar pruebas de identificación enzimáticas que permitan evaluar de manera clara el efecto de la hidrólisis del almidón y de las proteínas dentro de la masa fermentada y su efecto sobre las propiedades del pan.

Realizar identificación de microorganismos que permita conocer el efecto de las cepas de bacterias ácido lácticas sobre la masa fermentada.

Hacer evaluaciones individuales en cada punto del batch para verificar el comportamiento cinético de azúcares reductores, crecimiento de microorganismos e hidrólisis de proteína en cada etapa de la fermentación.

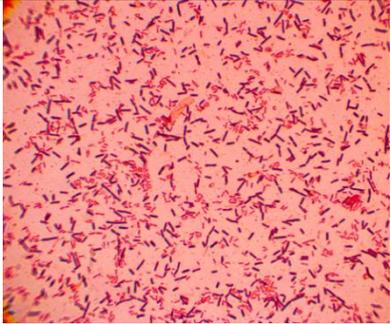
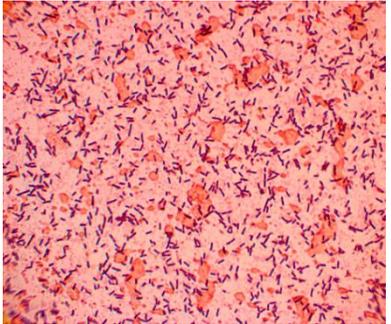
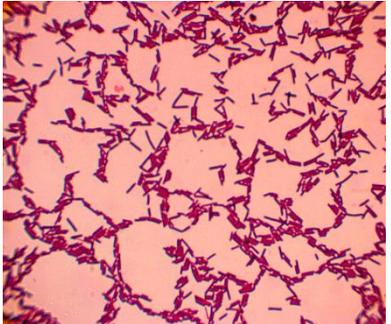
Realizar pruebas que permitan evaluar efecto enzimático y la hidrólisis de proteína por efecto de la adición de masa fermentada dentro de la masa del pan.

Evaluar los cambios asociados a la retrogradación de almidón sobre las propiedades reológicas y la vida útil del pan con la adición de masas fermentadas

Realizar pruebas de digestibilidad in vitro de carbohidratos y proteínas para evaluar el efecto sobre el índice glicémico y la influencia en la adición de fibra en la formulación del pan.

11. ANEXOS

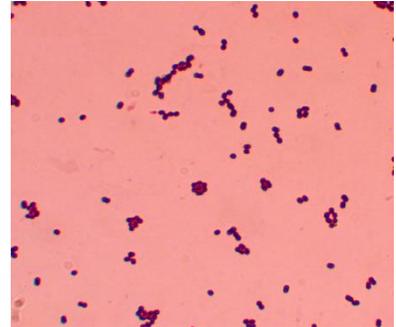
ANEXO 1. Descripción macroscópica y microscópica de bacterias ácido lácticas en MF

COLONIA	DESCRIPCIÓN	GRAM	FOTO
Bacilos sp1	Forma: Irregular Margen: Lobulada Elevación: Elevada Superficie: Rugosa Textura: Viscosa Propiedad óptica: Opaca Tamaño: Grande Configuración: Irregular y extendida Refresco: 0	Gram +	
Bacilos sp2	Forma: Irregular Margen: Lobulada Elevación: Elevada Superficie: Rugosa Textura: Viscosa Propiedad óptica: Opaca Tamaño: Grande Configuración: Irregular y extendida Color: Amarillo claro Refresco: 0	Gram +	
Bacilos sp3	Forma: Circular Margen: Entero Elevación: Convexa Superficie: Lisa Textura: Cremosa Propiedad óptica: Brillante Tamaño: Mediana Configuración: Redonda con margen elevado Color: Crema Refresco: 0	Gram +	

Cocos sp4

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: pequeña
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco: 1

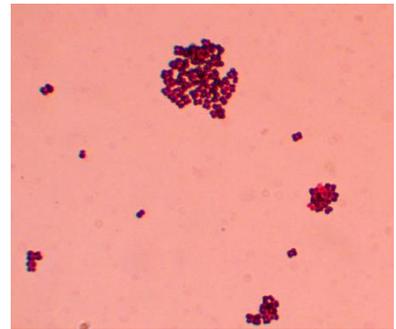
Gram +



Cocos sp5

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Blanco
Refresco: 1

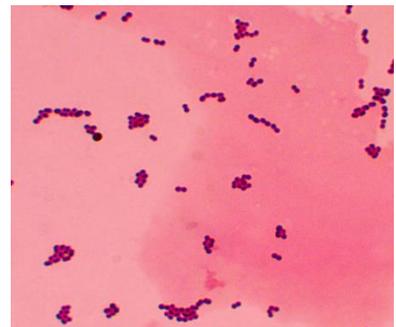
Gram +



Cocos sp6

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: pequeña
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco: 1

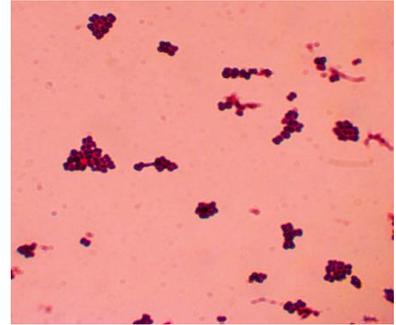
Gram +



Cocos sp6

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Blanco
Refresco:2

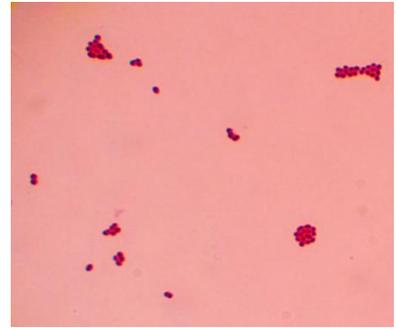
Gram +



Cocos sp7

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: pequeña
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:2

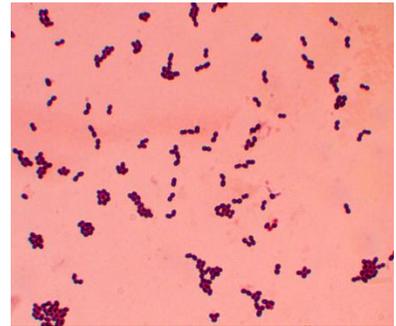
Gram +



Cocos sp8

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: pequeña
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:2

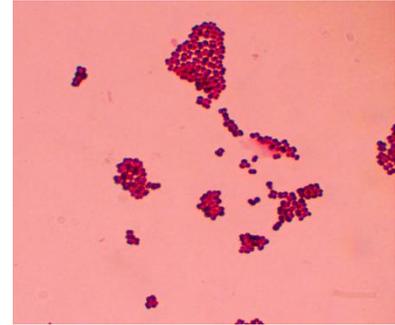
Gram +



Cocos sp9

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: pequeña
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:3

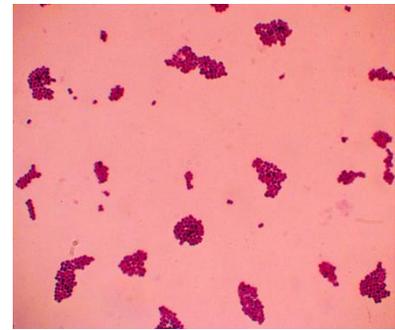
Gram +



Cocos
sp10

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Blanco
Refresco:3

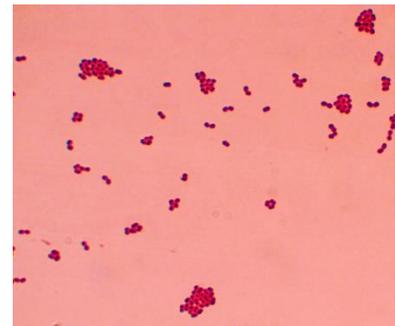
Gram +



Cocos
sp11

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: pequeña
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:4

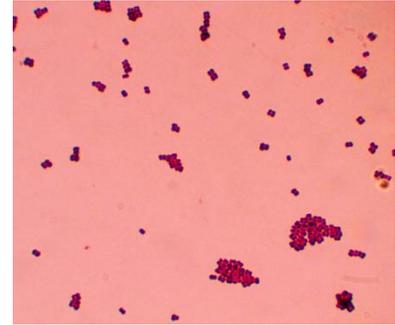
Gram +



Cocos
sp12

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Blanco
Refresco:4

Gram +



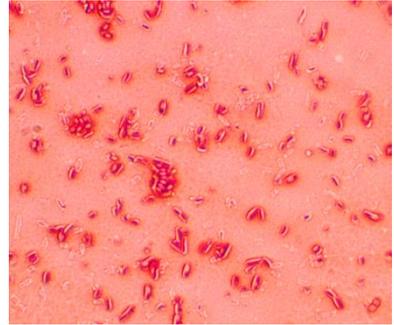
ANEXO 2. Descripción macroscópica y microscópica de mesófilos aerobios en MF

Especie	DESCRIPCIÓN	GRAM	FOTO
Bacilos sp13	Forma: Circular Margen: Entero Elevación: Convexa Superficie: Lisa Textura: Viscosa Propiedad óptica: Brillante Tamaño: Mediana Configuración: Redonda Color: Amarillo claro Refresco: 0	Gram +	
Bacilo sp14	Forma: Irregular Margen: Filamentoso Elevación: Convexa Superficie: Lisa Textura: Pegajosa Propiedad óptica: Brillante Tamaño: Grande Configuración: Redonda con margen radiado Color: Transparente Refresco: 0	Gram -	

Bacilos
sp15

Forma: Circular
Margen: Ondulada
Elevación: Elevada
Superficie: Áspera
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda con
margen elevado
Color: Crema
Refresco:0

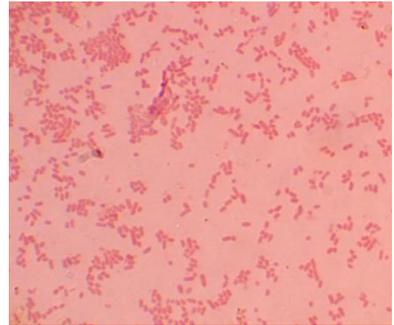
Gram -



Bacilos
sp16

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Amarillo claro
Refresco:0

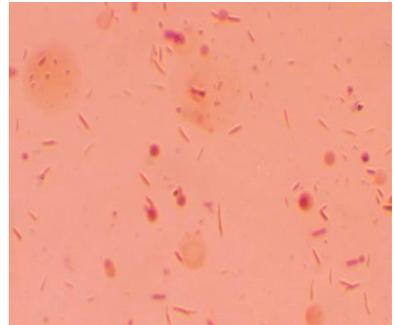
Gram -



Bacilos
sp17

Forma: Irregular
Margen: Ondulada
Elevación: Umbonada
Superficie: Lisa
Textura: Membranosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda con
margen festofenado
Refresco:0

Gram -



Bacilos
sp18

Forma: Irregular
Margen: Ondulada
Elevación: Umbonada
Superficie: Lisa
Textura: Pegajosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda con
margen Elevado
Color: Gris claro
Refresco:0

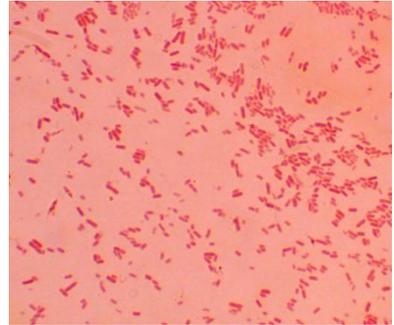
Gram +



Bacilos
sp19

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Amarillo claro
Refresco:0

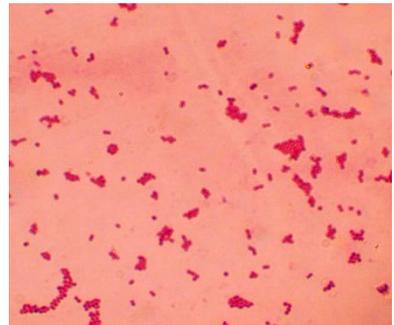
Gram
negativos
PROC8



Cocos sp20

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Amarillo
Refresco:0

Gram +



Bacilos
sp21

Forma: Irregular
Margen: Ondulada
Elevación: Montañosa
Superficie: Rugosa
Textura: Pegajosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Arrugada
Color: Gris claro
Refresco:0

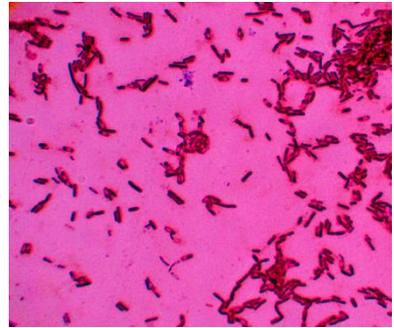
Gram +



Bacilos
sp22

Forma: Circular
Margen: Erizado
Elevación: Plano
Superficie: Pulverulenta
Textura: Membranosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Forma L
Color: Crema
Refresco:1

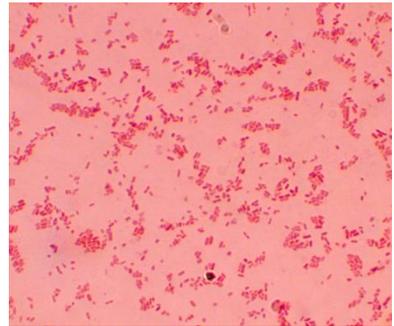
Gram +



Bacilos
sp23

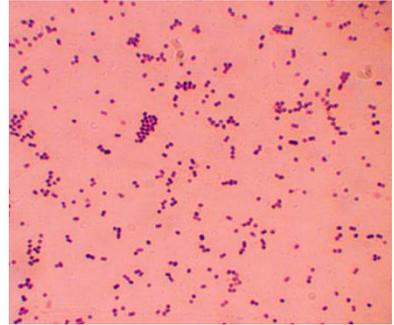
Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Amarillo
Refresco:1

Gram -



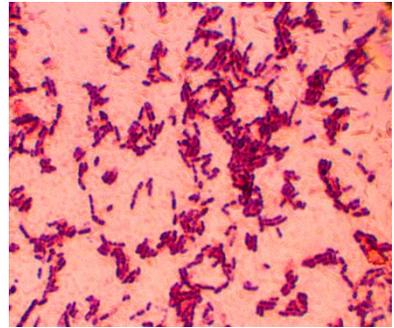
Cocos sp24 **Forma:** Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Pequeña
Configuración: Redonda
Color: Amarillo claro
Refresco:1

Gram +



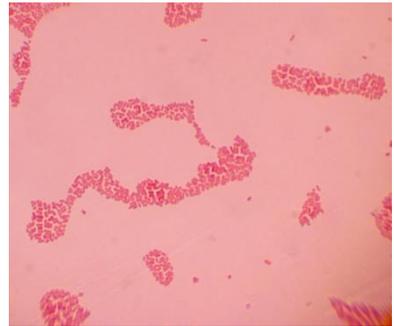
Bacilos sp25 **Forma:** Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:1

Gram +



Bacilos sp26 **Forma:** Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:1

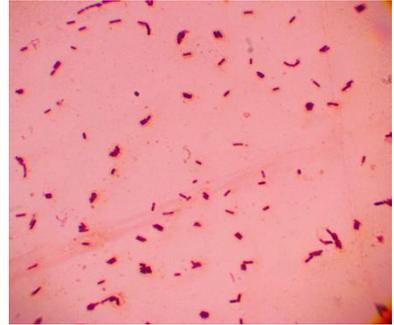
Gram -



Bacilos
sp27

Forma: Filamentosa
Margen: Ondulada
Elevación: Plano
Superficie: Rugosa
Textura: Pegajosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Arrugada
Color: Gris claro
Refresco:1

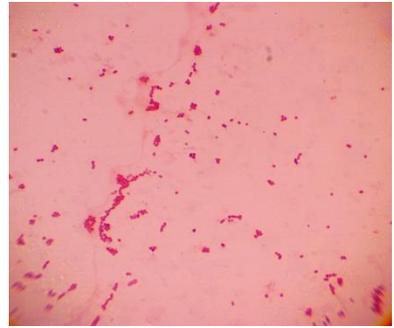
Gram +



Cocos sp28

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Pequeña
Configuración: Redonda
Color: Gris claro
Refresco:2

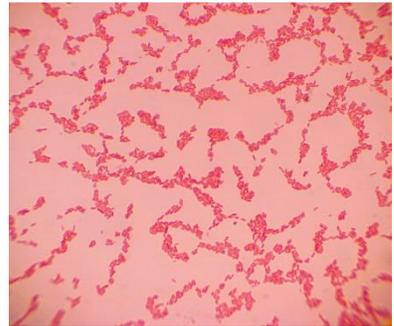
Gram +



Bacilos
sp29

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Amarillo
Refresco:2

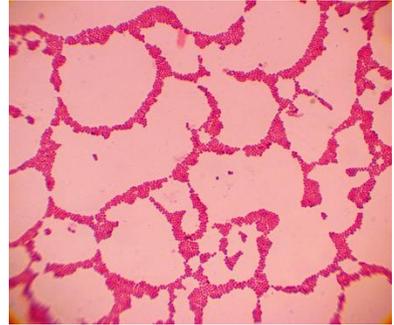
Gram -



Cocos sp30

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Pequeña
Configuración: Redonda
Color: Amarillo claro
Refresco:2

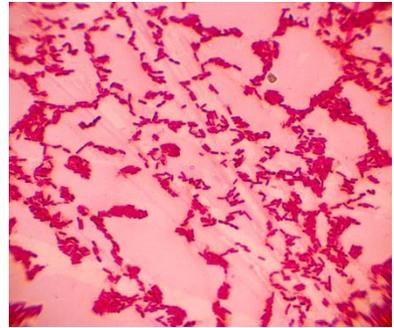
Gram +



Bacilos
sp31

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda
Color: Crema
Refresco:2

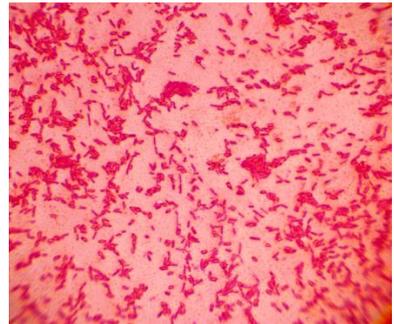
Gram +



Bacilos
sp32

Forma: Filamentosa
Margen: Ondulada
Elevación: Plano
Superficie: Rugosa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Grande
Configuración: Arrugada
Color: Crema
Refresco:2

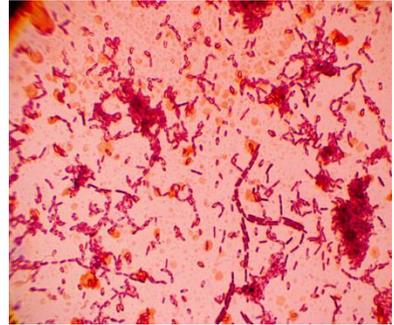
Gram +



Bacilos
sp33

Forma: Circular
Margen: Lobulada
Elevación: Plana
Superficie: Lisa
Textura: Pegajosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda con
margen festofenado
Color: Gris claro
Refresco:2

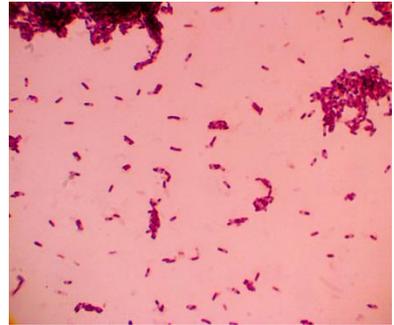
Gram +



Bacilos
sp34

Forma: Circular
Margen: Lobulada
Elevación: Plana
Superficie: Pulverulenta
Textura: Membranosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda con
margen festofenado
Color: Blanco
Refresco:2

Gram +



Bacilos
sp35

Forma: Filamentosa
Margen: Ondulada
Elevación: Umbonada
Superficie: Rugosa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Arrugada
Color: Gris claro
Refresco:3

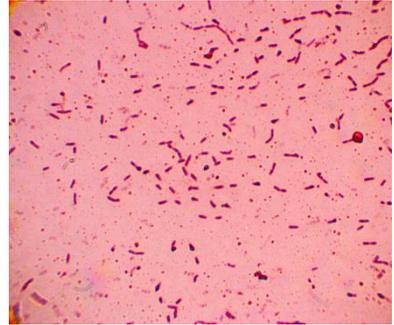
Gram +



Bacilos
sp35

Forma: Irregular
Margen: Ondulada
Elevación: Umbonada
Superficie: Lisa
Textura: Pegajosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda con
margen Elevado
Color: Gris claro
Refresco:3

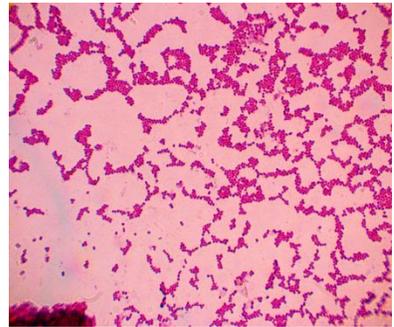
Gram +



Cocos sp36

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Viscosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Mediana
Configuración: Redonda
Color: Amarillo
Refresco:3

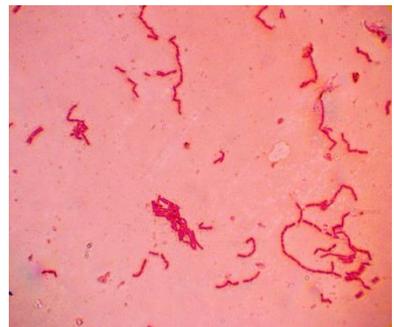
Gram +



Bacilos
sp37

Forma: Filamentosa
Margen: Ondulada
Elevación: Plano
Superficie: Rugosa
Textura: Pegajosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Arrugada
Color: Gris claro
Refresco:3

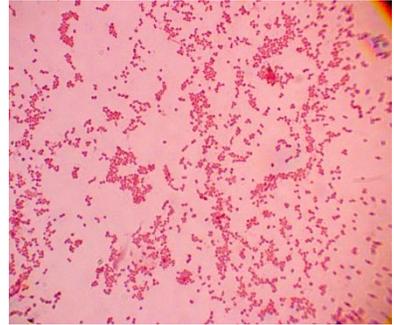
Gram +



Cocos sp38

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Pequeña
Configuración: Redonda
Color: Amarillo claro
Refresco:4

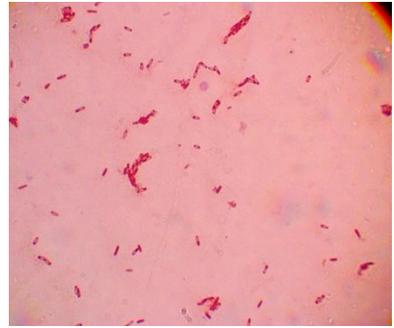
Gram -



Bacilos
sp39

Forma: Circular
Margen: Lobulada
Elevación: Plana
Superficie: Pulverulenta
Textura: Membranosa
Propiedad óptica: Opaca
Tamaño: Grande
Configuración: Redonda con
margen festofenado
Color: Blanco
Refresco:4

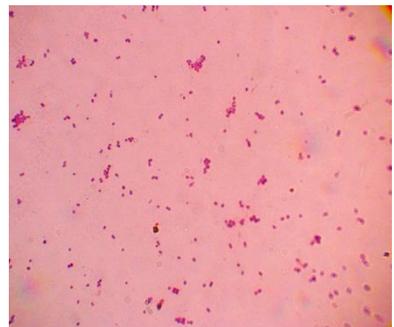
Gram +



Cocos sp40

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Pequeña
Configuración: Redonda
Color: Blanco
Refresco:4

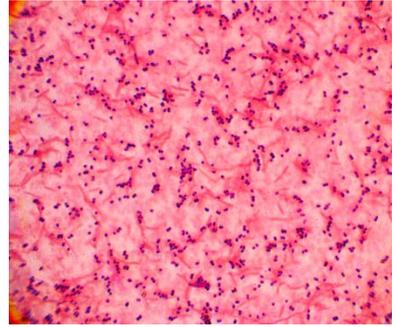
Gram +



Cocos sp41

Forma: Circular
Margen: Entero
Elevación: Convexa
Superficie: Lisa
Textura: Cremosa
Propiedad óptica: Brillante
Tamaño: Pequeña
Configuración: Redonda
Color: Blanco
Refresco:4

Gram +



ANEXO 3. Análisis alveográfico tratamiento 0 réplica 1



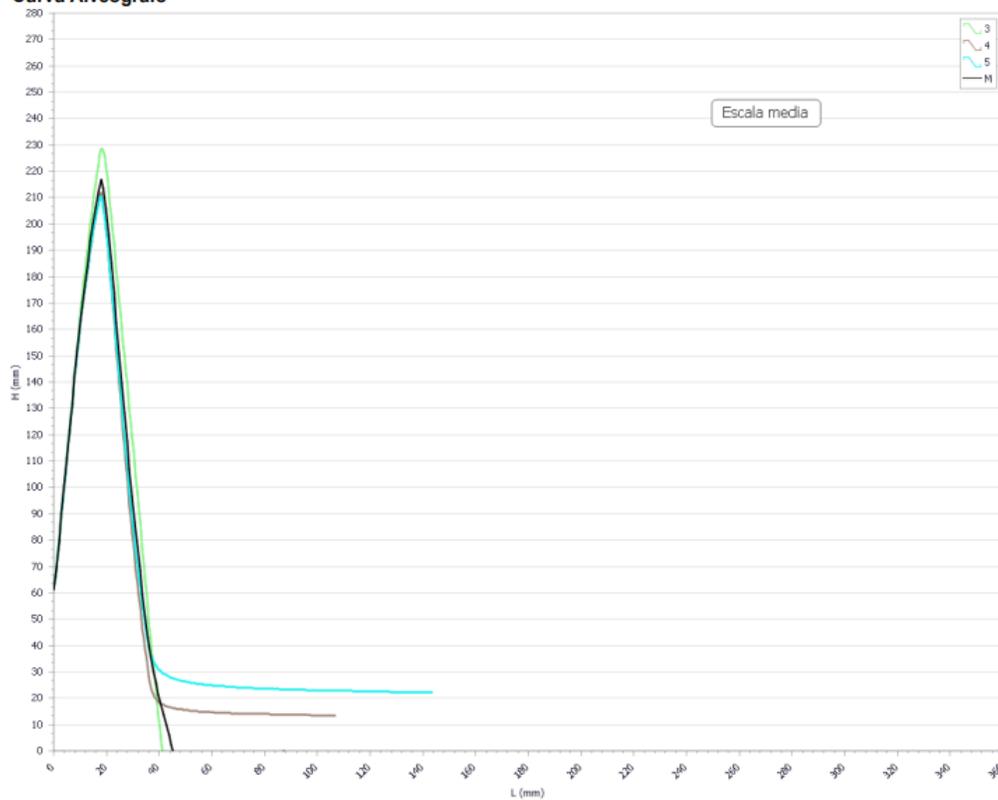
CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

Protocolo : Alveografo con amasado semi-auto HC	Fecha y hora del ensayo : 22/03/2022 11:22:13
Nombre de archivo : 2203220102[780]	Nombre de cliente : CHOPIN Technologies
Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL PATRON 1	Producto : Harina de trigo Industrial
Comentarios : MARZO DE 2022	S/N : 116

Temperatura	Parámetros	Resultados estándar
Agua : 21,8 °C Amasadora : 24 °C Cámara de reposo : 25 °C Cámara de Alveo : 18,8 °C	Higrometría : 55 % porcentaje Humedad : 13,61 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B15% H2O Cantidad de agua : 131,13 mL Peso de harina : 250 g	P : 239 mmH2O L : 86 mm G : 20,6 W : 131 10-4J P/L : 2,78 le : 10 %

Curva Alveógrafo



v : 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 4. Análisis alveográfico tratamiento 0 réplica 2



CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

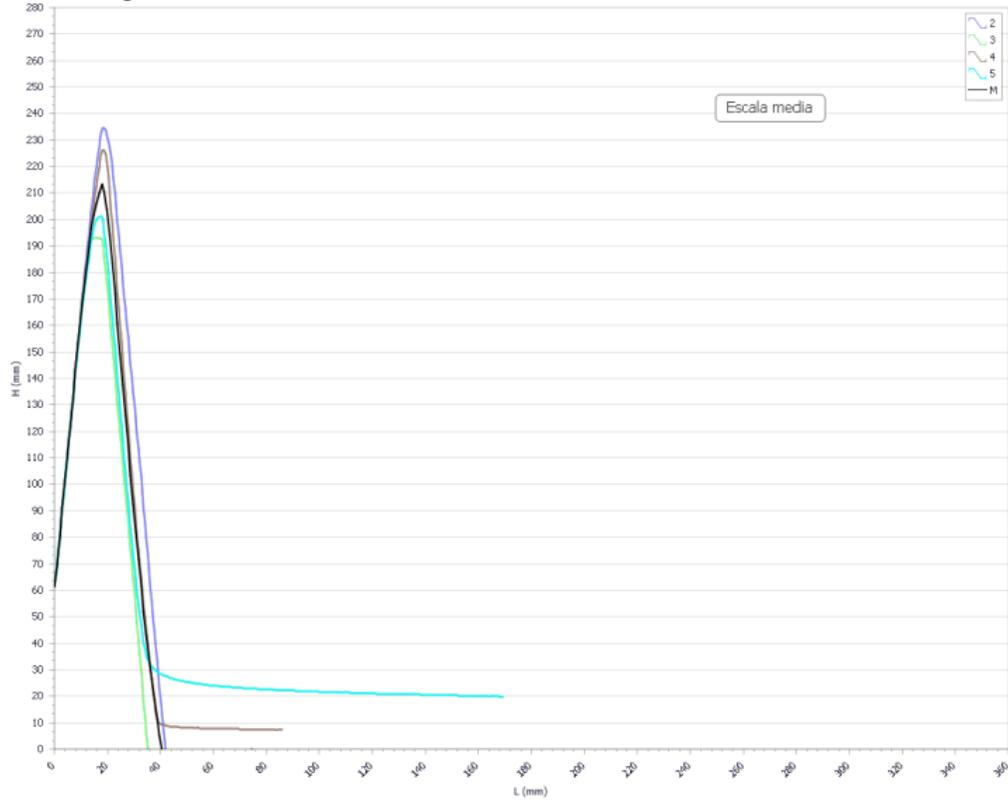
CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

Protocolo : Alveografo con amasado semi-auto HC	Fecha y hora del ensayo : 01/04/2022 8:52:01
Nombre de archivo : 2204010102[805]	Nombre de cliente : CHOPIN Technologies
Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL PATRON 3	Producto : Harina de trigo Industrial
Comentarios : MARZO DE 2022	S/N : 116

Temperatura	Parámetros
Agua : 21,2 °C	Higrometría : 58 % porcentaje
Amasadora : 24 °C	Humedad : 13,61 % porcentaje
Cámara de reposo : 25 °C	Hidratación : 50 % porcentaje
Cámara de Alveo : 19,3 °C	Base de hidratación : B15% H2O
	Cantidad de agua : 131,13 mL
	Peso de harina : 250 g

Resultados estándar
P : 235 mmH2O
L : 74 mm
G : 19,1
W : 121 10-4J
P/L : 3,18
le : 2,5 %

Curva Alveógrafo



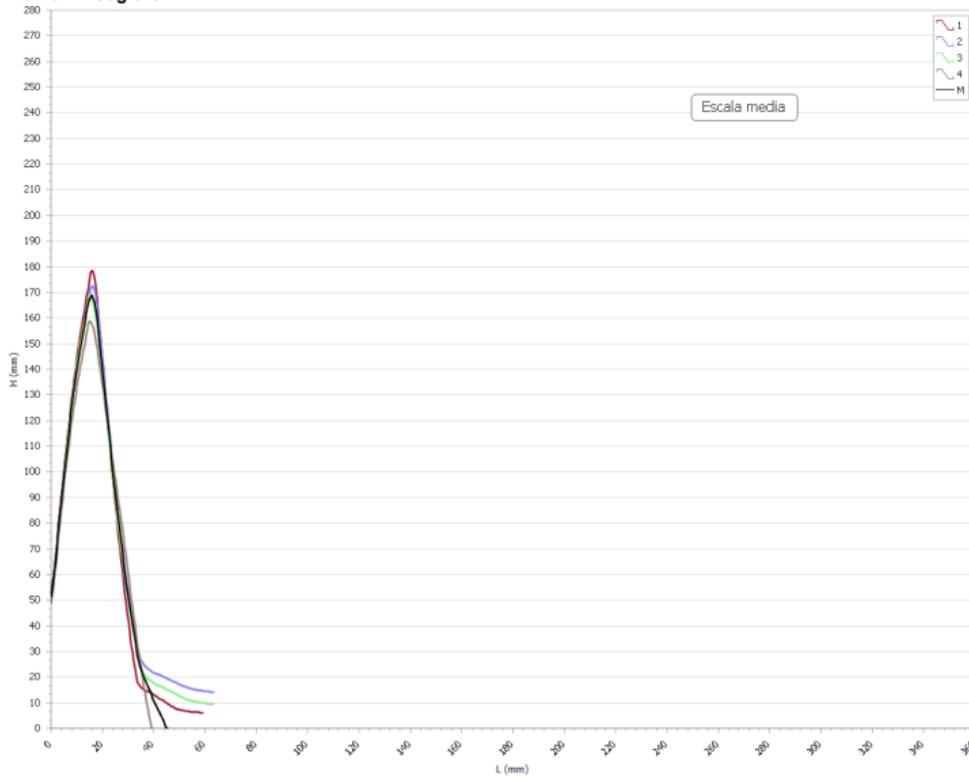
v : 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 5. Análisis alveográfico tratamiento 1 réplica 1

			
CHOPIN Technologies 20 avenue Marcellin Berthelot 92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE +33 1 41 47 50 33		CHOPIN Technologies 20 avenue Marcellin Berthelot 92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE +33 1 41 47 50 33	
Protocolo : Alveografo con amasado semi-auto HC Nombre de archivo : 2203230102[785] Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL T1 HNA INT+10% MM 1 Comentarios : MARZO DE 2022		Fecha y hora del ensayo : 23/03/2022 16:36:38 Nombre de cliente : CHOPIN Technologies Producto : Harina de trigo Industrial S/N : 116	
Temperatura Agua : 19,6 °C Amasadora : 25 °C Cámara de reposo : 25 °C Cámara de Alveo : 19,8 °C	Parámetros Higrometría : 54 % porcentaje Humedad : 13,12 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B15% H2O Cantidad de agua : 133,29 mL Peso de harina : 250 g	Resultados estándar P : 186 mmH2O L : 45 mm G : 14,9 W : 249 10-4J P/L : 4,13 le : 6,9 %	

Curva Alveógrafo



v : 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 6. Análisis alveográfico tratamiento 1 réplica 2

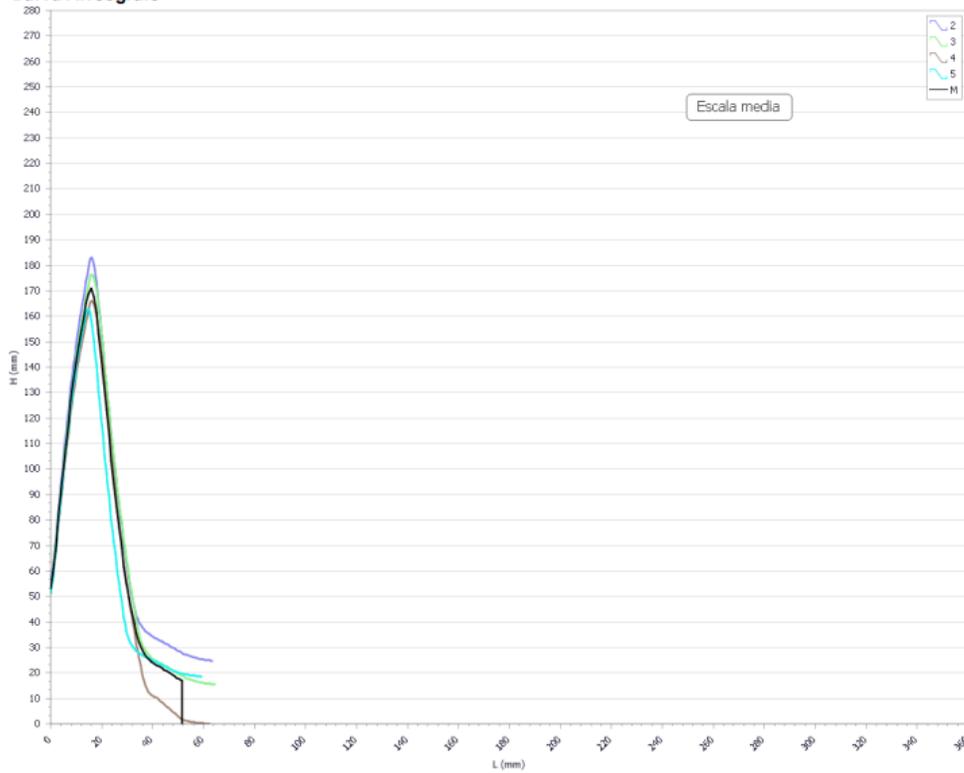
CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

Protocolo : Alveógrafo con amasado semi-auto HC	Fecha y hora del ensayo : 23/03/2022 16:54:18
Nombre de archivo : 2203230103[786]	Nombre de cliente : CHOPIN Technologies
Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL T1 HNA INT +10% MM DUPLICADO	Producto : Harina de trigo Industrial
Comentarios : MARZO DE 2022	S/N : 116

Temperatura	Parámetros	Resultados estándar
Agua : 19,7 °C Amasadora : 25 °C Cámara de reposo : 25,1 °C Cámara de Alveo : 20,6 °C	Higrometría : 53 % porcentaje Humedad : 13,12 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B15% H2O Cantidad de agua : 133,29 mL Peso de harina : 250 g	P : 188 mmH2O L : 51 mm G : 15,9 W : 271 10-4J P/L : 3,69 Ie : 14,2 %

Curva Alveógrafo



v : 1.1.2.0

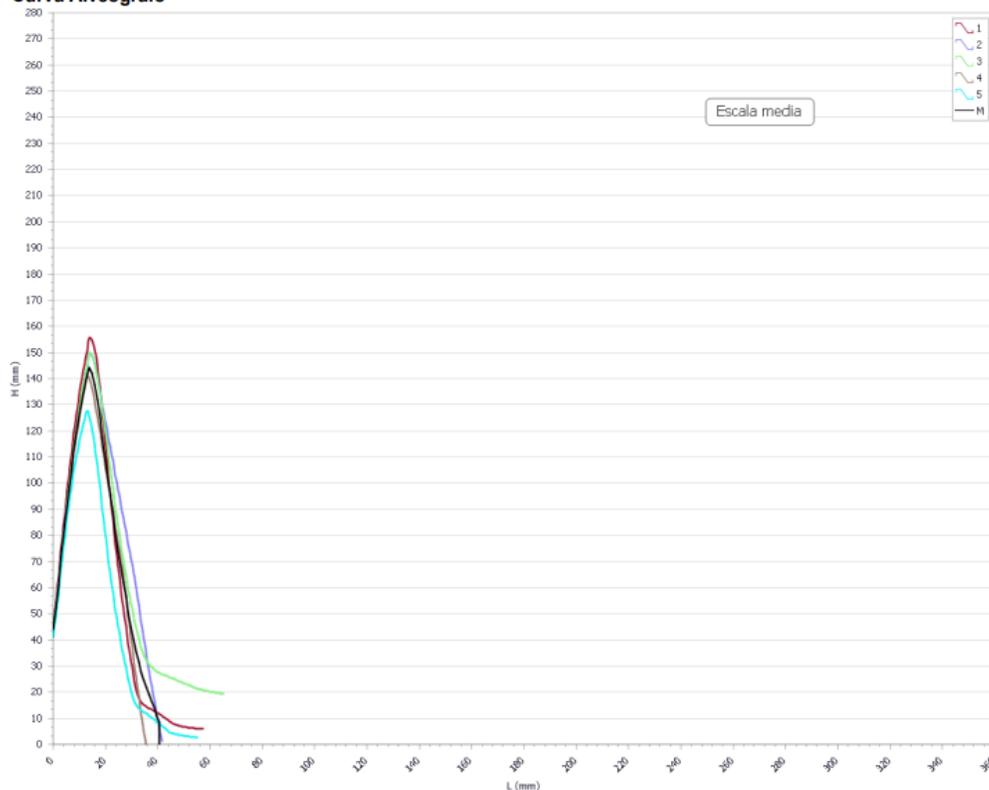
1 / 1

ANEXO 7. Análisis alveográfico tratamiento 2 réplica 1



CHOPIN Technologies 20 avenue Marcellin Berthelot 92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE +33 1 41 47 50 33		CHOPIN Technologies 20 avenue Marcellin Berthelot 92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE +33 1 41 47 50 33	
Protocolo : Alveografo con amasado semi-auto HC Nombre de archivo : 2203230104[787] Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL T2 HNA INT +15% MM 1 Comentarios : MARZO 2022		Fecha y hora del ensayo : 23/03/2022 17:11:48 Nombre de cliente : CHOPIN Technologies Producto : Harina de trigo Industrial S/N : 116	
Temperatura Agua : 19,6 °C Amasadora : 24,7 °C Cámara de reposo : 25,2 °C Cámara de Alveo : 20,2 °C	Parámetros Higrometría : 58 % porcentaje Humedad : 12,83 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B15% H2O Cantidad de agua : 134,57 mL Peso de harina : 250 g	Resultados estándar P : 159 mmH2O L : 40 mm G : 14 W : 211 10-4J P/L : 3,98 le : 7,6 %	

Curva Alveógrafo



v : 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 8. Análisis alveográfico tratamiento 2 réplica 2



CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

Protocolo : Alveógrafo con amasado semi-auto HC
Nombre de archivo : 2203230105[788]
Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL T2 HNA
INT +15% MM DUPLICADO
Comentarios : MARZO 2022

Fecha y hora del ensayo : 23/03/2022 17:28:15
Nombre de cliente : CHOPIN Technologies
Producto : Harina de trigo Industrial
S/N : 116

Temperatura

Agua : 19,8 °C
Amasadora : 25,1 °C
Cámara de reposo : 25,2 °C
Cámara de Alveo : 19,6 °C

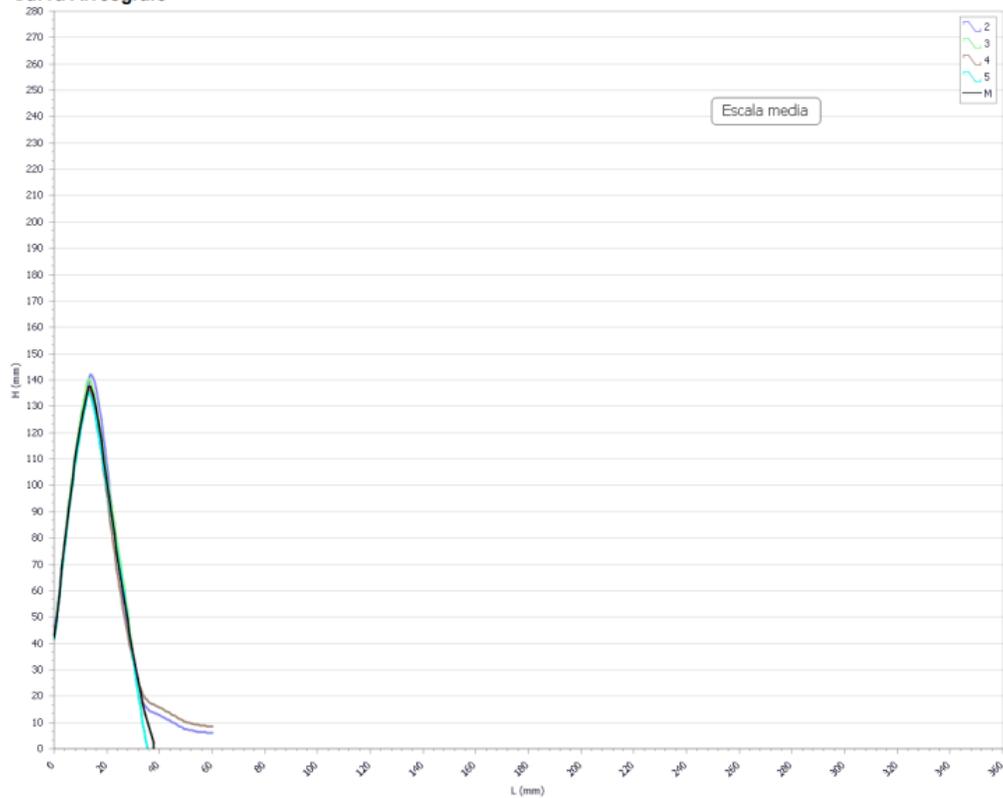
Parámetros

Higrometría : 51 % porcentaje
Humedad : 12,83 % porcentaje
Hidratación : 50 % porcentaje
Base de hidratación : B15% H2O
Cantidad de agua : 134,57 mL
Peso de harina : 250 g

Resultados estándar

P : 151 mmH2O
L : 38 mm
G : 13,7
W : 193 10-4J
P/L : 3,97
Ie : 0 %

Curva Alveógrafo



v : 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 9. Análisis alveográfico tratamiento 3 réplica 1.



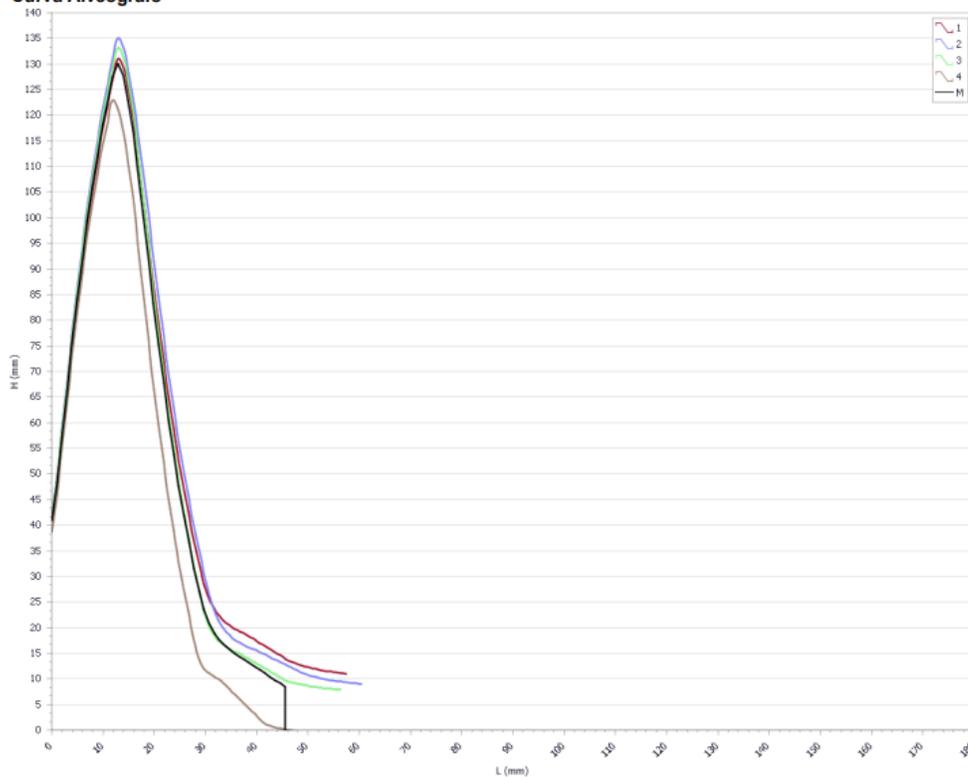
CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

Protocolo : Alveografo con amasado semi-auto HC	Fecha y hora del ensayo : 29/03/2022 15:41:31
Nombre de archivo : 2203290101[794]	Nombre de cliente : CHOPIN Technologies
Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL T3 HNA INT +20 MM 1	Producto : Harina de trigo Industrial
Comentarios : MARZO DE 2022	S/N : 116

Temperatura	Parámetros	Resultados estándar
Agua : 20,4 °C Amasadora : 24 °C Cámara de reposo : 25 °C Cámara de Alveo : 18,8 °C	Higrometría : 52 % porcentaje Humedad : 12,6 % porcentaje Hidratación : 50 % porcentaje Base de hidratación : B 15% H2O Cantidad de agua : 135,59 mL Peso de harina : 250 g	P : 143 mmH2O L : 45 mm G : 14,9 W : 176 10-4J P/L : 3,18 le : 9,5 %

Curva Alveógrafo



v : 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 10. Análisis alveográfico tratamiento 3 réplica 2



CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

CHOPIN Technologies
20 avenue Marcellin Berthelot
92390, Villeneuve-la-Garenne, FRANCE
+33 1 41 47 50 33

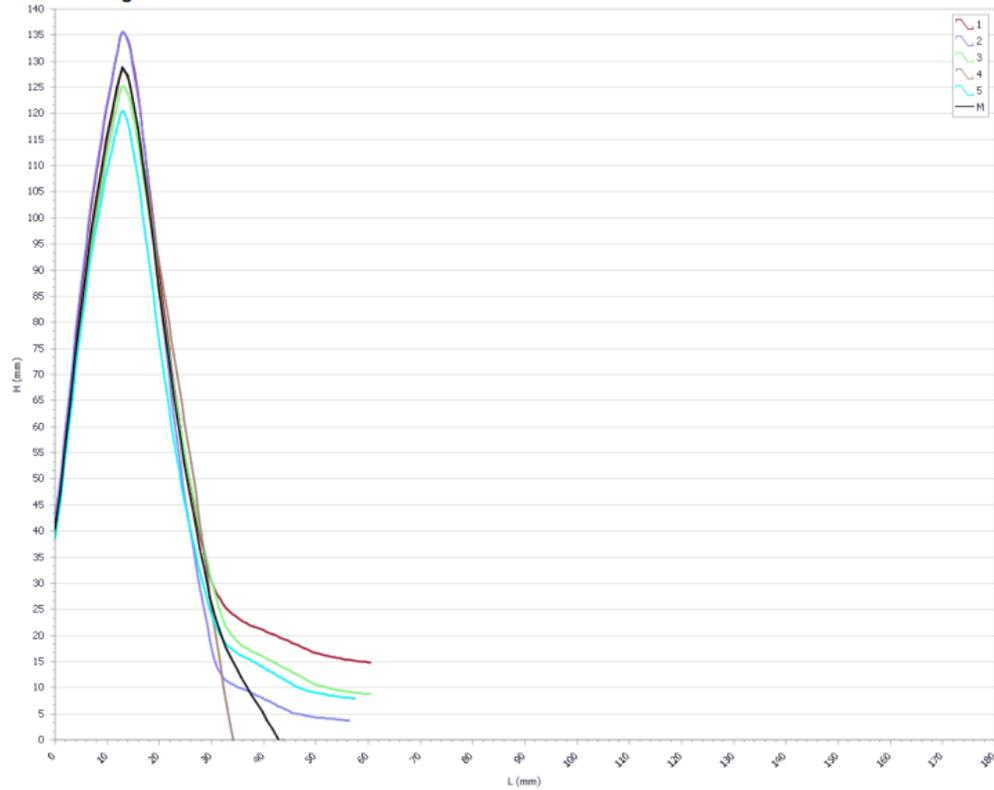
Protocolo : Alveografo con amasado semi-auto HC	Fecha y hora del ensayo : 29/03/2022 15:57:17
Nombre de archivo : 2203290102[795]	Nombre de cliente : CHOPIN Technologies
Nombre de ensayo : PALMIRA HARINA INTEGRAL T3 HNA INT + 20% MM DUPLICADO	Producto : Harina de trigo Industrial
Comentarios : MARZO 2022	S/N : 116

Temperatura	Parámetros
Agua : 19,8 °C	Higrometría : 51 % porcentaje
Amasadora : 24,6 °C	Humedad : 12,6 % porcentaje
Cámara de reposo : 25 °C	Hidratación : 50 % porcentaje
Cámara de Alveo : 19,7 °C	Base de hidratación : B15% H2O
	Cantidad de agua : 135,59 mL
	Peso de harina : 250 g

Resultados estándar

P : 142 mmH2O
L : 43 mm
G : 14,6
W : 174 10-4J
P/L : 3,3
le : 4,2 %

Curva Alveógrafo



v: 1.1.2.0

1 / 1

ANEXO 11. Análisis Farinográfico tratamiento 0 réplica 2

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL PATRÓN-1

Method: AACC

Date: 25/03/2022 07:23:46 a.m.

Mixer: 300 g Speed: 63 1/min

Consistency 498 FU with waterabsorption 72,0 %

Operator:

Moisture content: 13,6 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):

72,0%

Waterabsorption (corrected to 14,0 %):

71,5%

Development time:

11,5min

Stability:

10,1min

Toleranceindex (MTI):

37FU

Time to breakdown:

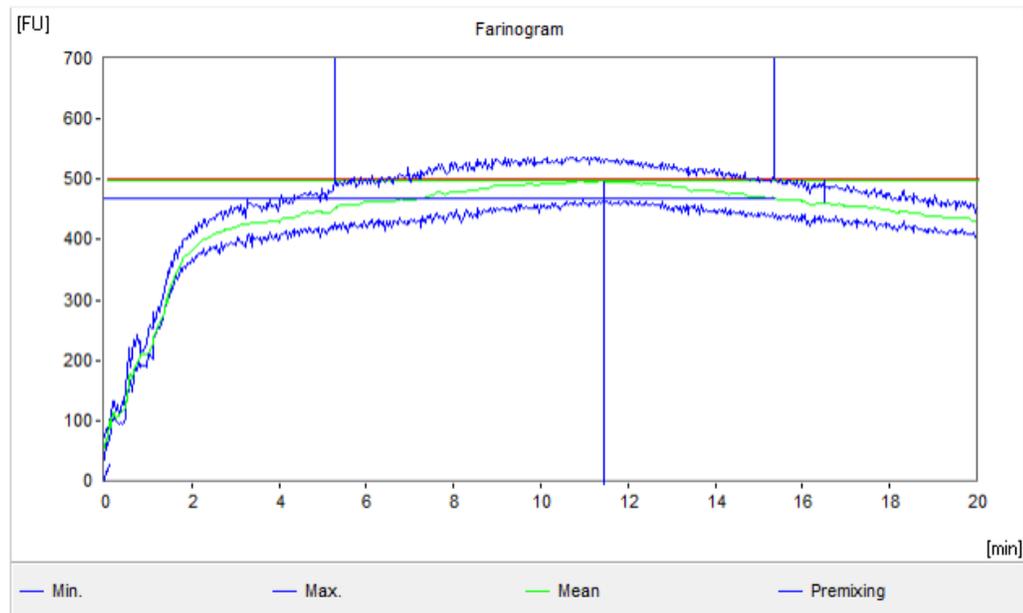
15,4min

Farinograph quality number:

154

Remarks:

PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL PATRÓN -1

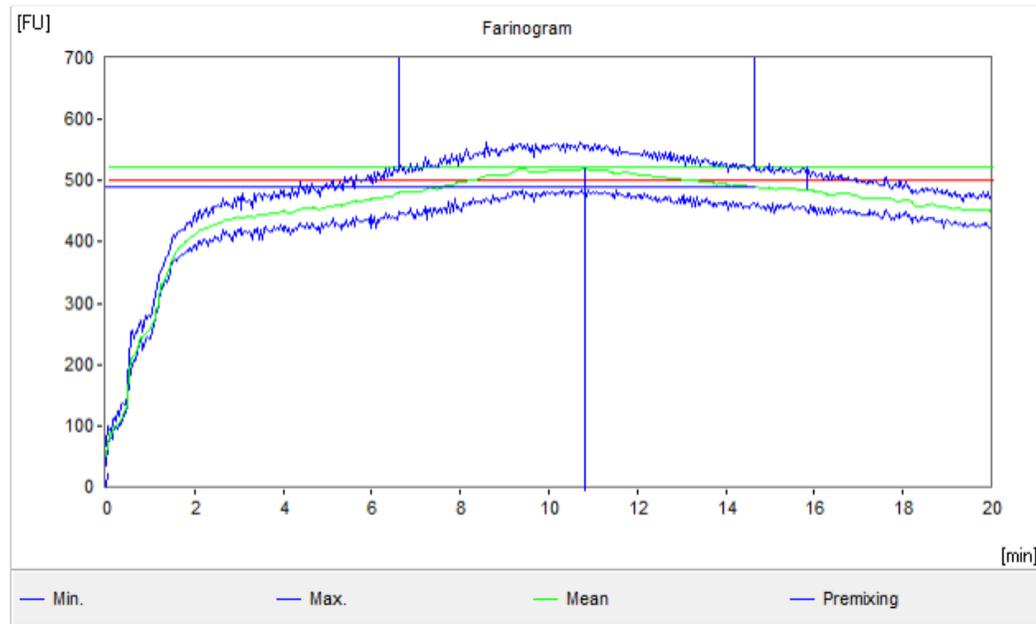


ANEXO 12. Análisis Farinográfico tratamiento 0 réplica 2

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL PATRÓN-2
Method: AACC
Date: 25/03/2022 04:55:30 p.m. Operator:
Mixer: 300 g Speed: 63 1/min Moisture content: 13,6 %
Consistency 520 FU with waterabsorption 72,0 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):	72,5%
Waterabsorption (corrected to 14,0 %):	72,0%
Development time:	10,8min
Stability:	8,0min
Toleranceindex (MTI):	36FU
Time to breakdown:	14,7min
Farinograph quality number:	147
Remarks:	PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL PATRÓN-2



ANEXO 13. Análisis Farinográfico tratamiento 1 réplica 1

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 10% MM (T1) - 1

Method: AACC

Date: 25/03/2022 03:43:39 p.m.

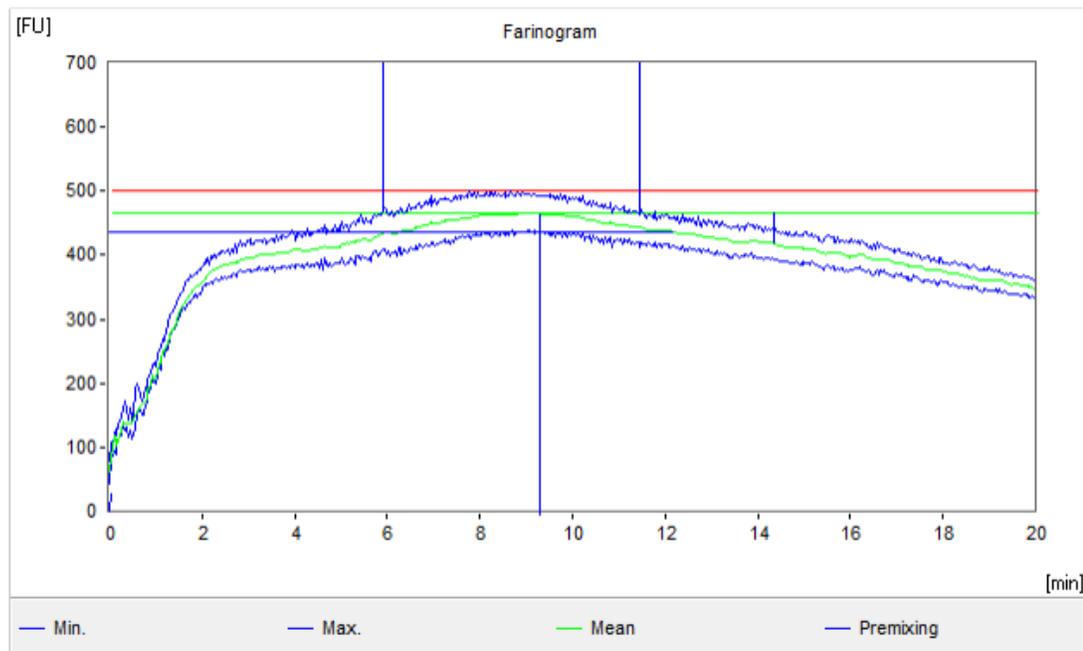
Mixer: 300 g Speed: 63 1/min

Consistency 466 FU with waterabsorption 72,4 %

Operator:

Moisture content: 13,1 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):	71,6%
Waterabsorption (corrected to 14,0 %):	70,5%
Development time:	9,3min
Stability:	5,5min
Toleranceindex (MTI):	48FU
Time to breakdown:	12,2min
Farinograph quality number:	122
Remarks:	PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 10% MM (T1) -1

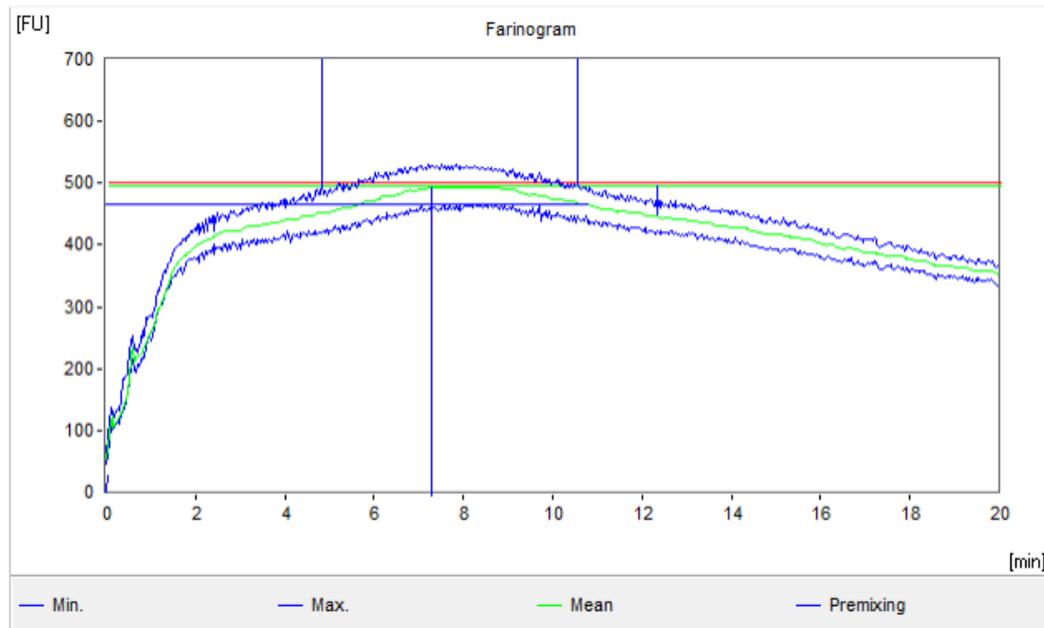


ANEXO 14. Análisis Farinográfico tratamiento 1 réplica 2

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 10% MM (T1)-2
Method: AACC
Date: 25/03/2022 04:22:28 p.m. Operator:
Mixer: 300 g Speed: 63 1/min Moisture content: 13,1 %
Consistency 495 FU with waterabsorption 71,1 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):	71,0%
Waterabsorption (corrected to 14,0 %):	69,9%
Development time:	7,3min
Stability:	5,7min
Toleranceindex (MTI):	49FU
Time to breakdown:	10,8min
Farinograph quality number:	108
Remarks:	PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 10% MM (T1)-2

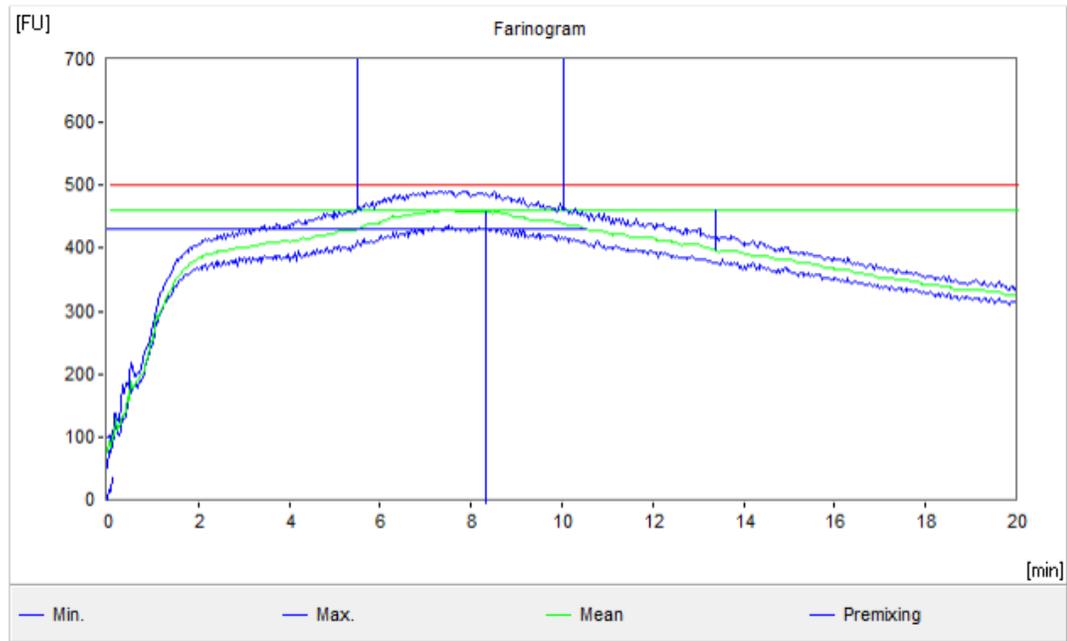


ANEXO 15. Análisis Farinográfico tratamiento 2 réplica 1

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 15% MM (T2)-1
Method: AACC
Date: 28/03/2022 11:15:31 a.m. Operator:
Mixer: 300 g Speed: 63 1/min Moisture content: 12,8 %
Consistency 460 FU with waterabsorption 71,0 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):	70,0%
Waterabsorption (corrected to 14,0 %):	68,6%
Development time:	8,4min
Stability:	4,5min
Toleranceindex (MTI):	63FU
Time to breakdown:	10,6min
Farinograph quality number:	106
Remarks:	PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 15% MM (T2)-1



ANEXO 16. Análisis Farinográfico tratamiento 2 réplica 2

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 15% MM (T2)-2

Method: AACC

Date: 28/03/2022 11:44:56 a.m.

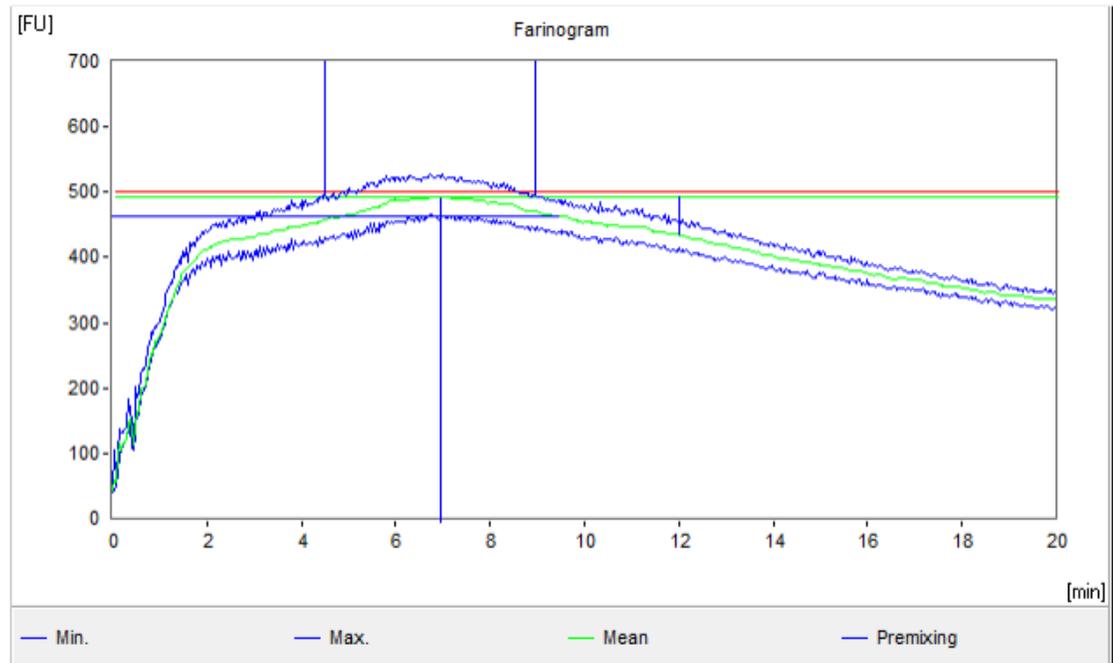
Operator:

Mixer: 300 g Speed: 63 1/min

Moisture content: 12,8 %

Consistency 494 FU with waterabsorption 69,7 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):	69,5%
Waterabsorption (corrected to 14,0 %):	68,1%
Development time:	7,0min
Stability:	4,5min
Toleranceindex (MTI):	60FU
Time to breakdown:	9,5min
Farinograph quality number:	95
Remarks:	PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 15% MM (T2)-2



ANEXO 17. Análisis Farinográfico tratamiento 3 réplica 1

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 20% MM (T3)-1

Method: AACC

Date: 28/03/2022 02:17:18 p.m.

Mixer: 300 g Speed: 63 1/min

Consistency 490 FU with waterabsorption 69,3 %

Operator:

Moisture content: 12,6 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):

69,1%

Waterabsorption (corrected to 14,0 %):

67,5%

Development time:

6,8min

Stability:

3,9min

Toleranceindex (MTI):

86FU

Time to breakdown:

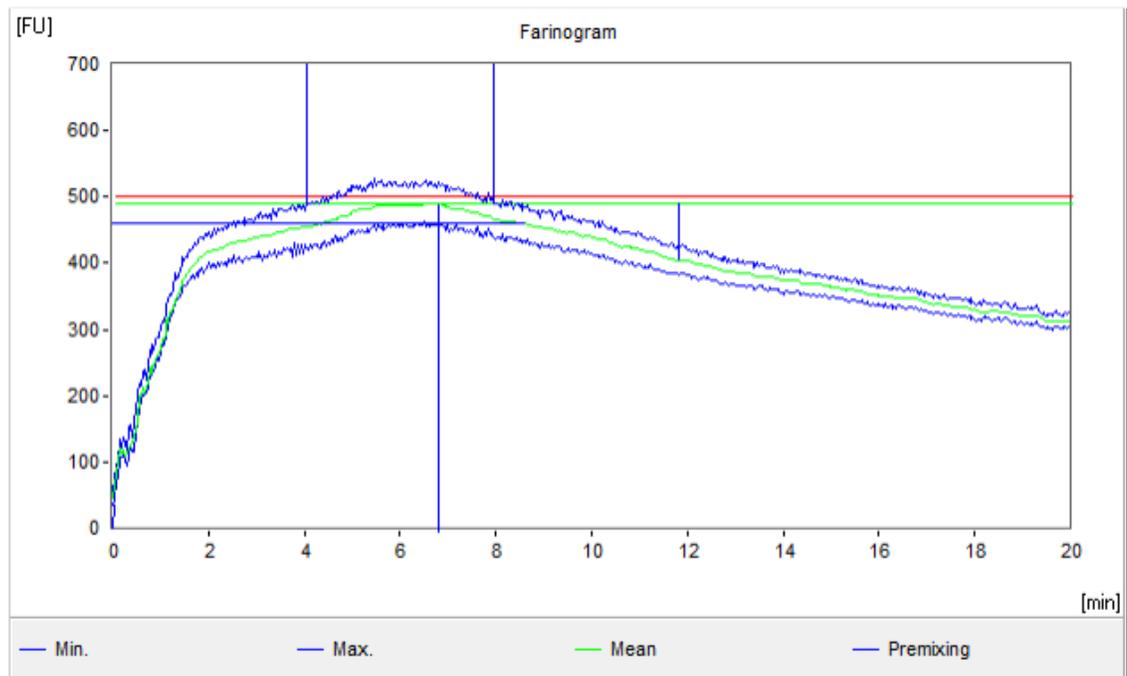
8,6min

Farinograph quality number:

86

Remarks:

PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 20% MM (T3)-1



ANEXO 18. Análisis Farinográfico tratamiento 3 réplica 2

Brabender® Farinograph

Sample: PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 20% MM (T3)-2

Method: AACC

Date: 28/03/2022 02:51:37 p.m.

Mixer: 300 g Speed: 63 1/min

Consistency 493 FU with waterabsorption 69,1 %

Operator:

Moisture content: 12,6 %

Waterabsorption (corrected for 500 FU):

68,9%

Waterabsorption (corrected to 14,0 %):

67,3%

Development time:

6,4min

Stability:

4,4min

Toleranceindex (MTI):

75FU

Time to breakdown:

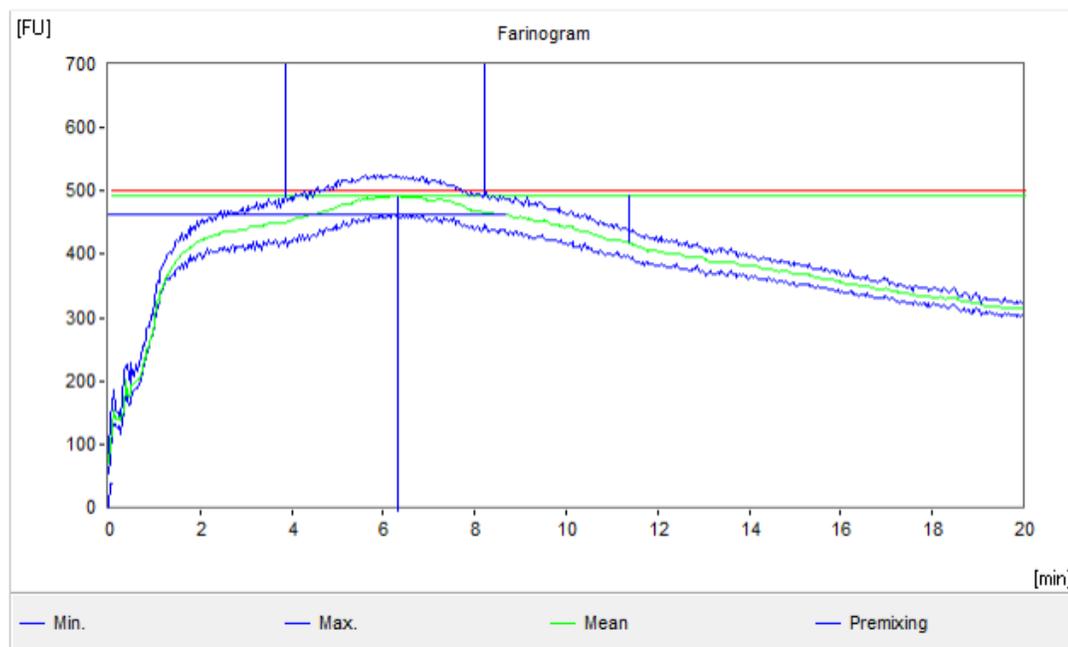
8,7min

Farinograph quality number:

87

Remarks:

PRUEBAS HENRY HARINA INTEGRAL + 20% MM (T3)-2



ANEXO 19. Análisis sensorial del Pan con inclusión de masa fermentada

PANEL SENSORIAL MUESTRAS DE PAN

Nombre: _____
Fecha: ___/___/___ Género M___ F___

El grupo de estudiantes del programa de Ing. agroindustrial le suministrará 4 muestras de muestras de pan integral, con el fin de solicitarle de manera respetuosa la calificación de cada uno de los parámetros presentados a continuación, si tiene dudas sobre la evaluación, por favor, diríjase al encargado de la prueba; tenga en cuenta en desarrollar la encuesta en el orden indicado.

APARIENCIA

Observe cada una de las muestras de pan en el orden indicado y evalúe la escala de color marrón en la corteza con una escala de 1 a 5, siendo 1 el color marrón de menor intensidad y 5 el color marrón más intenso, **evite asignar la misma calificación a dos muestras.**

Nota: guíese con la muestra de pan blanco para la calificación de las muestras objeto de análisis

Muestra A _____
Muestra B _____
Muestra C _____
Muestra D _____

observe la miga de cada una de las muestras de pan en el orden indicado y asigne un valor de 1 a 5 del tono de color crema de la miga, siendo 1 el color crema de menor intensidad y 5 el color crema más intenso, **evite asignar el mismo número a dos muestras.**

Nota: guíese con la muestra de pan blanco para la calificación de las muestras objeto de análisis.

Muestra A _____
Muestra B _____
Muestra C _____
Muestra D _____

AROMA

Según lo percibido en el aroma de las muestras pan integral, marque con una X el aroma sobresaliente en cada una de las muestras, asegúrese de marcar hasta un máximo de 2 opciones.

	A	B	C	D
Olor a trigo/salvado	_____	_____	_____	_____
Olor a pan horneado	_____	_____	_____	_____
Olor a caramelo	_____	_____	_____	_____
Olor a fermento	_____	_____	_____	_____

TEXTURA

Manipule cada una de las muestras de pan integral y marque con una X el parámetro característico que se percibe en cada muestra.

	A	B	C	D
Duro	_____	_____	_____	_____
Suave	_____	_____	_____	_____
Esponjoso	_____	_____	_____	_____
Flexible	_____	_____	_____	_____

SABOR

Pruebe cada una de las muestras de pan integral y marque con una X el sabor característico que se percibe en cada muestra. Marque máximo dos opciones por cada una de las muestras.

	A	B	C	D
Acido	_____	_____	_____	_____
Dulce	_____	_____	_____	_____
Salado	_____	_____	_____	_____
Amargo	_____	_____	_____	_____

De acuerdo a lo percibido en cada una de las evaluaciones de las muestras de pan integral, indique en una escala de 1 a 5 el grado de preferencia de cada muestra, siendo 1 la calificación más baja y 5 la calificación más alta **evite asignar la misma calificación a dos muestras.**

Muestra A	_____
Muestra B	_____
Muestra C	_____
Muestra D	_____

Autorizo el uso de la información suministrada para uso en evaluación de diseño experimental del presente trabajo de investigación; además, autorizo el uso de la información con fines de publicación. Para constancia firmo el formato de recolección de datos.

Firma

12. BIBLIOGRAFÍA

- Association of Analytical Communities AOAC 920.39. (2005). Method 920.39: Crude Fat in Feeds, Cereal Grains and Forages.
- Association of Analytical Communities AOAC 930.15. (2005). Method 930.15: Moisture Determination. <https://doi.org/10.7868/s0044450213010210>
- Association of Analytical Communities AOAC 942.05. (2005). Method 942.05: Ash in Feed and Food.
- Association of Analytical Communities AOAC 960.52. (1990). Method 960.52: Microchemical Determination Of Nitrogen-MicroKjeldahl Method.
- Association of Analytical Communities AOAC 991.43. (2005). AOAC 991.43: Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fiber in Foods.
- Aguirre, E. (2020). Evaluación del efecto de la masa madre elaborada a partir de harina de trigo (*Triticum aestivum*), harina de centeno (*Cecale cereale*) y harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) en el pan francés. *Dirección General de Investigación*, 1–93. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14615/Moran_Pau_car_Estrés_académico_apoyo%0Asocial1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arici, M., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Sagdic, O., & Durak, M. Z. (2018). Biodiversity and technological properties of yeasts from Turkish sourdough. *Food Science and Biotechnology*, 27(2), 499–508. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0282-0>
- Abedfar, A., & Sadeghi, A. (2019). Response surface methodology for investigating the effects of sourdough fermentation conditions on Iranian cup bread properties. *Heliyon*, 5(10), e02608. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02608>
- Ahmad, S., Manzoor, M., Shah, A., & Mumtaz, A. (2021). Gluten-free Bread Technology. In *Gluten-free Bread Technology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73898-3>
- Akemi Anticona, L. (2012). *comparación físico-química y reológica de harinas: trigo (triticum aestivum), centeno (secale cereale) y triticale (x triticosecale) en elaboración de pan*. 511, 7995788.
- Babin, P., Della Valle, G., Chiron, H., Cloetens, P., Hoszowska, J., Pernot, P., Réguerre, A. L., Salvo, L., & Dendievel, R. (2006). Fast X-ray tomography analysis of bubble growth and foam setting during breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 43(3), 393–397. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.12.002>
- Barros, J. H. T., Montenegro, F. M., & Steel, C. J. (2022). Characterization and regeneration potential of vital wheat gluten treated with non-thermal plasma. *Journal of Cereal Science*, 104(October 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103402>
- Beltrão Martins, R., Garzón, R., Peres, J. A., Barros, A. I. R. N. A., Raymundo, A., & Rosell, C. M. (2022). Acorn flour and sourdough: an innovative combination to improve gluten free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 248(6), 1691–1702. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-03996-y>
- Bi, Q., Hong, T., Mei, X., Xu, X., & Xu, D. (2023). Effect of high-molecular weight dextran-enriched sourdough fermented using *Leuconostoc mesenteroides* ATCC 8293 on bread quality and gluten. *Food Bioscience*, 53(May), 102777.

- <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102777>
- Biel, W., Jaroszewska, A., Stankowski, S., Sobolewska, M., & Kępińska-Pacelik, J. (2021). Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. *European Food Research and Technology*, 247(6), 1525–1538. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03729-7>
- Boyaci Gunduz, C. P., Agirman, B., Gaglio, R., Franciosi, E., Francesca, N., Settanni, L., & Erten, H. (2022). Evaluation of the variations in chemical and microbiological properties of the sourdoughs produced with selected lactic acid bacteria strains during fermentation. *Food Chemistry: X*, 14(May), 100357. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100357>
- Brandolini, A., Hidalgo, A., & Plizzari, L. (2010). Storage-induced changes in einkorn (*Triticum monococcum* L.) and breadwheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) flours. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.11.013>
- Calvo Carrillo, M. de la C., López Méndez, O. X., Carranco Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum* spp) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Biotecnia*, 22(3), 116–124. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1227>
- Cardinali, F., Garofalo, C., Reale, A., Boscaino, F., Osimani, A., Milanović, V., Taccari, M., & Aquilanti, L. (2022). Liquid sourdough from stone-ground soft wheat (*Triticum aestivum*) flour: Development and exploitation in the breadmaking process. *Food Research International*, 161(July). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111796>
- Carocho, M., Morales, P., Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, E., Heleno, S., Rodrigues, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. *Food Chemistry*, 310(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125954>
- Çetin-Babaoğlu, H., Arslan-Tontul, S., & Akın, N. (2020). Effect of immature wheat flour on nutritional and technological quality of sourdough bread. *Journal of Cereal Science*, 94(February). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103000>
- Chavan, R. S., & Chavan, S. R. (2011). Sourdough Technology-A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(3), 169–182. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00148.x>
- Cizeikiene, D., Jagelaviciute, J., Stankevicius, M., & Maruska, A. (2020). Thermophilic lactic acid bacteria affect the characteristics of sourdough and whole-grain wheat bread. *Food Bioscience*, 38(October), 100791. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100791>
- Codină, G. G., Sarion, C., & Dabija, A. (2021). Effects of dry sourdough on bread-making quality and acrylamide content. *Agronomy*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy11101977>
- Cruz, C. A. (2019). Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de maca (*Lepidium peruvianum*) en el contenido proteico y la aceptabilidad general del pan integral. *Universidad Privada Antenor Orrego*. <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/5785%0Ahttp://repositorio.upao.edu.pe/>

bitstream/upaorep/5488/1/RE_IND.ALIM_RICARDO.NAZCA_CONCENTRACION
.DE.STEVIA_DATOS.PDF

- Dan, H., Gu, Z., Li, C., Fang, Z., Hu, B., Wang, C., Chen, S., Tang, X., Ren, Y., Wu, W., Zeng, Z., & Liu, Y. (2022a). Effect of fermentation time and addition amount of rice sourdoughs with different microbial compositions on the physicochemical properties of three gluten-free rice breads. *Food Research International*, *161*(March), 111889. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111889>
- Dan, H., Gu, Z., Li, C., Fang, Z., Hu, B., Wang, C., Chen, S., Tang, X., Ren, Y., Wu, W., Zeng, Z., & Liu, Y. (2022b). Effect of fermentation time and addition amount of rice sourdoughs with different microbial compositions on the physicochemical properties of three gluten-free rice breads. *Food Research International*, *161*(March), 111889. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111889>
- Das, S., Pegu, K., & Arya, S. S. (2021). Functional sourdough millet bread rich in dietary fibre -an optimization study using fuzzy logic analysis. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *26*(August), 100279. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100279>
- Falciano, A., Romano, A., García Almendárez, B. E., Regalado-González, C., Di Pierro, P., & Masi, P. (2022). Effect of the refreshment on the liquid sourdough preparation. *Italian Journal of Food Science*, *34*(3), 99–104. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v34i3.2217>
- Fang, L., Wang, W., Dou, Z., Chen, J., Meng, Y., Cai, L., & Li, Y. (2023). Effects of mixed fermentation of different lactic acid bacteria and yeast on phytic acid degradation and flavor compounds in sourdough. *Lwt*, *174*(June 2022), 114438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114438>
- Freire Factos, V. M. (2019). *ELABORACIÓN DE PANES CON FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEINAS*. 2018–2019.
- FU, L., TIAN, J. chun, SUN, C. ling, & LI, C. (2008). RVA and Farinograph Properties Study on Blends of Resistant Starch and Wheat Flour. *Agricultural Sciences in China*, *7*(7), 812–822. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60118-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60118-2)
- Garcia, M., Riu-Aumatell, A., López-Tamames, M., & Tamames, E. (2021). Influence of Process Parameters on Sourdough Microbiota, Physical Properties and Sensory Profile. *Food Reviews International*, *39*(1), 334–348. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1906698>
- Gh, S., Wxud, W. H., Do, H. R., Gh, U., Vdofklfkdv, H. Q., Sduwlu, H. D., Wlodsld, G. H., & Frq, U. (2010). análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*oreochromis sp.*) / analysis of the properties of texture during the storage of sausage made from red tilapia (*oreochromis sp.*) / analise da. *rev.bio.agro*, *8*(2), 46–56. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00296-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00296-5)
- Gidari - Gounaridou, C., Nouska, C., Hatzikamari, M., Kotsiou, K., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2023). Impact of dry sourdough based on a fermented chickpea starter on quality characteristics and shelf life of gluten-free bread. *Food Bioscience*, *53*(January), 102780. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102780>
- Gobbetti, M., & Gänzle, M. (2023). Handbook on sourdough biotechnology. In *Handbook*

- on *Sourdough Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5425-0>
- Goesaert, H., Slade, L., Levine, H., & Delcour, J. A. (2009). Amylases and bread firming – an integrated view. *Journal of Cereal Science*, *50*(3), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.04.010>
- Golshan Tafti, A., Peighamardoust, S. H., Behnam, F., Bahrami, A., Aghagholizadeh, R., Ghamari, M., & Abbas Rafat, S. (2013). Effects of spray-dried sourdough on flour characteristics and rheological properties of dough. *Czech Journal of Food Sciences*, *31*(4), 361–367. <https://doi.org/10.17221/183/2012-cjfs>
- González, A., Alvis, A., & Arrázola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomoea Batatas Lam*) fritos por inmersión. Parte 1: Textura. *Informacion Tecnologica*, *26*(1), 95–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011>
- Gu, M., Hong, T., Ma, Y., Xi, J., Zhao, Q., Xu, D., Jin, Y., Wu, F., & Xu, X. (2022). Effects of a commercial peptidase on rheology, microstructure, gluten properties of wheat dough and bread quality. *Lwt*, *160*(September 2021), 113266. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113266>
- Haghighata, M. L., Honarvarb, M., & Moorakic, N. (2022). Investigating the possibility of producing bread enriched with activated carbon and brown sugar and its physical, chemical and sensory properties. *Building and Environment*, *11*, 109181. <https://doi.org/10.1016/j.jjgfs.2023.100733>
- He, Y., Lin, Y. L., Chen, C., Tsai, M. H., & Lin, A. H. M. (2019). Impacts of Starch and the Interactions Between Starch and Other Macromolecules on Wheat Falling Number. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *18*(3), 641–654. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12430>
- Hu, Y., Sjoberg, S. M., Chen, C., Hauvermale, A. L., Morris, C. F., Delwiche, S. R., Cannon, A. E., Steber, C. M., & Zhang, Z. (2022). As the number falls, alternatives to the Hagberg–Perten falling number method: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *21*(3), 2105–2117. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12959>
- ISO/DIS 3093. (2009). *Wheat, rye and their flours, durum wheat and durum wheat semolina — Determination of the falling number according to Hagberg-Perten*.
- ISO 21415. (2015). *Wheat and wheat flour — Gluten content Part 2: Determination of wet gluten and gluten index by mechanical means*.
- ISO 27971. (2015). *Cereals and cereal products Common wheat (*Triticum aestivum* L.) Determination of alveograph properties of dough at constant hydration from commercial or test flours and test milling methodology*.
- ISO 5530-1. (2013). *Wheat flour — Physical characteristics of doughs — Part 1: Determination of water absorption and rheological properties using a farinograph*.
- Keçeli, A., Kaplan Evlice, A., Pehlivan, A., Şanal, T., & Zencirci, N. (2021). Bread-making properties of einkorn wheat (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum*) and its suitability for whole wheat bread production. *Cereal Research Communications*, *49*(4), 625–637. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00146-0>
- Lancetti, R. (2017). *Desarrollo de masas madre y evaluación de propiedades reológicas y*

- tecnológicas de panificados*. 61.
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/5467/LancettiRomina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leroy, F., De Winter, T., Adriany, T., Neysens, P., & De Vuyst, L. (2006). Sugars relevant for sourdough fermentation stimulate growth of and bacteriocin production by *Lactobacillus amylovorus* DCE 471. *International Journal of Food Microbiology*, *112*(2), 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.05.016>
- Li, H., Hu, S., & Fu, J. (2022). Effects of acetic acid bacteria in starter culture on the properties of sourdough and steamed bread. *Grain and Oil Science and Technology*, *5*(1), 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2021.11.003>
- Ma, S., Wang, Z., Guo, X., Wang, F., Huang, J., Sun, B., & Wang, X. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges—A review. *Food Chemistry*, *360*(May), 130038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>
- Mehfooz, T., Mohsin Ali, T., Arif, S., & Hasnain, A. (2018). Effect of barley husk addition on rheological, textural, thermal and sensory characteristics of traditional flat bread (chapatti). *Journal of Cereal Science*, *79*, 376–382. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.11.020>
- Mutwali, N. I. A., Mustafa, A. I., Gorafi, Y. S. A., & Mohamed Ahmed, I. A. (2016). Effect of environment and genotypes on the physicochemical quality of the grains of newly developed wheat inbred lines. *Food Science and Nutrition*, *4*(4), 508–520. <https://doi.org/10.1002/fsn3.313>
- Nie, A., Qi, X., Hong, T., Jin, Y., Fan, H., Xu, X., & Xu, D. (2023). Extending shelf life of fresh noodles with nisin producer *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* fermented sourdough and characteristic changes during storage. *Food Control*, *151*(October 2022), 109818. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109818>
- Nogueira, A. C., Kussano, J. T., & Steel, C. J. (2015). Sourdough reduces sodium in wheat flour doughs. *International Journal of Food Science and Technology*, *50*(12), 2621–2629. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12932>
- Olaerts, H., Vandekerckhove, L., & Courtin, C. M. (2018). A closer look at the bread making process and the quality of bread as a function of the degree of preharvest sprouting of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Cereal Science*, *80*, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.03.004>
- Perez, P., & Garcia, R. (2013). *Evaluación del comportamiento reológico de ds muestras de harina de trigo (Triticum aestivum L) acondicionada con mezcla de fibras comerciales universidad nacional abierta y a distancia unad escuela de ciencias basicas tecnologia e ingeniería duitama 201*. https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1532/1/Evaluación_del_comportamiento_reológico_de_dos_muestras_de_harina_de_trigo_%28triticum_aestivum_1%29_acondicionada_con_mezcla_de_fibras_comerciales.pdf
- Pico, J., Reguilón, M. P., Bernal, J., & Gómez, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads. *Journal of Cereal Science*, *86*(January), 92–101.

- <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.014>
- Ponce Ramírez, J. C., Málaga Juárez, J. A., Huamani Huamani, A. L., & Chuqui Diestra, S. R. (2016). Optimización de la concentración de la alfa-amilasa y lactosuero en el mejoramiento de las características tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan francés. *Agroindustrial Science*, 6, 185–194.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products - A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>
- Reale, A., Di Stasio, L., Di Renzo, T., De Caro, S., Ferranti, P., Picariello, G., Addeo, F., & Mamone, G. (2021). Bacteria do it better! Proteomics suggests the molecular basis for improved digestibility of sourdough products. *Food Chemistry*, 359(April), 129955. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129955>
- Rodríguez, G., Avellaneda, S., Pardo, R., Villanueva, E., & Aguirre, E. (2018). Bread loaf enriched with extruded cake from sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Chemistry, rheology, texture and acceptability. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 199–208. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.04>
- Rodríguez Toro, M. (2022). Potencial de las harinas compuestas y su comportamiento reológico y sensorial en panificación. *Braz Dent J.*, 33(1), 1–12.
- Różyło, R., Rudy, S., Krzykowski, A., Dziki, D., Siastała, M., & Polak, R. (2016). Gluten-Free Bread Prepared with Fresh and Freeze-Dried Rice Sourdough-Texture and Sensory Evaluation. *Journal of Texture Studies*, 47(5), 443–453. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12180>
- SAGARPA. (2006). *INFORME DE LA CALIDAD DEL TRIGO (CICLO OTOÑO-INVIERNO 2005/2006)*.
- Sarabhai, S., Tamilselvan, T., & Prabhasankar, P. (2021). Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: It's effect on quality, textural, rheological and pasting properties. *Lwt*, 137(October 2020), 110365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365>
- Sectorial. (2022). *Industria Panificadora*. 1–1. <https://www.sectorial.co/informativa-industria-panificadora-y-de-pastas>
- Selene, C., & Gutiérrez, C. (2018). análisis a nivel laboratorio de las harinas procesadas que permita el aseguramiento de calidad conforme a las especificaciones requeridas en la industria harinera de chiapas.
- Siepmann, F. B., Ripari, V., Waszczynskyj, N., & Spier, M. R. (2018). Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 242–270. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1968-2>
- Téllez-Díaz, A. Y., Díaz-Ruiz, G., Ramírez-Gilly, M., Wachter, C., & Tecante, A. (2019). Chemical and rheological description of pozol dough fermentation inoculated with *Streptococcus infantarius* subsp. *infantarius* 25124 and *Lactobacillus plantarum* A6. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 5(1), 9–18. <http://biocoreopen.org/articles/Chemical-and-Rheological-Description-of-Pozol-Dough-Fermentation-Inoculated-with-Streptococcus-Infantarius-Subsp-Infantarius-25124-and-Lactobacillus-Plantarum-A6.pdf>
- Thiele, C., Grassl, S., & Gänzle, M. (2004). Gluten Hydrolysis and Depolymerization

- during Sourdough Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1307–1314. <https://doi.org/10.1021/jf034470z>
- Tomić, J., Dapčević-Hadnađev, T., Škrobot, D., Maravić, N., Popović, N., Stevanović, D., & Hadnađev, M. (2023). Spontaneously fermented ancient wheat sourdoughs in breadmaking: Impact of flour quality on sourdough and bread physico-chemical properties. *Lwt*, 175(October 2022). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114482>
- Tozatti, P., Güldiken, B., Fleitas, M. C., Chibbar, R. N., Hucl, P., & Nickerson, M. T. (2020). The interrelationships between wheat quality, composition, and dough rheology for a range of Western Canadian wheat cultivars. *Cereal Chemistry*, 97(5), 1010–1025. <https://doi.org/10.1002/cche.10324>
- Vargas, E. (2016). Evaluación de la calidad funcional y sensorial en cultivares de *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* y ssp. *spelta* en cultivo ecológico. *Universidad Politécnica De Madrid*, 9–15. http://oa.upm.es/39452/1/MARIA%7B_%7DEUGENIA%7B_%7DVARGAS.pdf
- Verdonck, C., De Bondt, Y., Pradal, I., Bautil, A., Langenaeken, N. A., Brijs, K., Goos, P., De Vuyst, L., & Courtin, C. M. (2023). Impact of process parameters on the specific volume of wholemeal wheat bread made using sourdough- and baker's yeast-based leavening strategies. *International Journal of Food Microbiology*, 396(March). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110193>
- Voinea, A., Stroe, S. G., & Codină, G. G. (2020). The effect of sodium reduction by sea salt and dry sourdough addition on the wheat flour dough rheological properties. *Foods*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/foods9050610>
- Wang, S., Austin, P., & Bell, S. (2011). It's a maze: The pore structure of bread crumbs. *Journal of Cereal Science*, 54(2), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.05.004>
- Xu, D., Yin, Y., Ali, B., Zhang, Y., Guo, L., & Xu, X. (2019). Isolation of yeast strains from Chinese liquor Daqu and its use in the wheat sourdough bread making. *Food Bioscience*, 31(April), 100443. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100443>
- Yin, Y., Wang, J., Yang, S., Feng, J., Jia, F., & Zhang, C. (2015). Protein Degradation in Wheat Sourdough Fermentation with *Lactobacillus plantarum* M616. *Interdisciplinary Sciences – Computational Life Sciences*, 7(2), 205–210. <https://doi.org/10.1007/s12539-015-0262-0>
- Yusufoğlu, B., Yaman, M., & Karakuş, E. (2022). Glycemic evaluation of some breads from different countries via in vitro gastrointestinal enzymatic hydrolysis system. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.34920>
- Zhang, G., Chatzifragkou, A., Charalampopoulos, D., & Rodriguez-Garcia, J. (2023). Effect of defatted melon seed residue on dough development and bread quality. *Lwt*, 183(May), 114892. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114892>