UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación de la influencia del tiempo de fermentación de la masa madre en las propiedades sensoriales de un pan multicereal tipo Sourdough

---

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción: Proyecto de Investigación, previo a la obtención de Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de La Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Soraya Lissette Shambi Landa

Tutor: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato – Ecuador

Julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamente de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 23 de Junio del 2025.



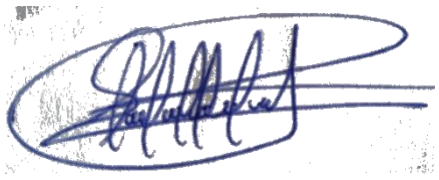
Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

0501873954

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Soraya Lissette Shambi Landa, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Soraya Lissette Shambi Landa

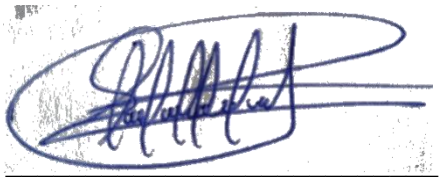
1804371860

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Soraya Lissette Shambi Landa

1804371860

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad e Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para consistencia firman:

Firmado electrónicamente por:
DIEGO MANOLO SALAZAR GARCES
Validar únicamente con FirmaEC

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
ALEXANDRA VIRGINIA LASCANO SUMBANA
Validar únicamente con FirmaEC

Mg. Alexandra Virginia Lascano Sumbana

1803338175

Firmado electrónicamente por:
HENRY ALBERTO SALINAS FREIRE
Validar únicamente con FirmaEC

Dr. Henry Alberto Salinas Freire

1802201861

Ambato, 01 de Julio del 2025

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación con alegría y dedicación es dedicado primeramente a Dios y la Virgen del Rosario de Agua Santa por guiarme en este arduo camino y brindarme la sabiduría para no rendirme ante las adversidades que día a día me han fortalecido.

Este trabajo de investigación está dedicado a mí Soraya Shambi, quien nunca se rindió pese a los momentos difíciles tanto personales como académicos que pase en lo largo de mi vida, por ser una persona fuerte, valiente y tener una gran perseverancia para alcanzar mis sueños.

A Luis y Delia, mis padres, quienes han sido el pilar fundamental a lo largo de esta maravillosa etapa. Agradezco infinitamente por haber confiado en mí, por motivarme, aconsejarme y brindarme su mano para ser mejor cada día, por no dejarme caer en mis momentos más vulnerables, por cada aliento llena de ilusión y nostalgia, por cada plato de comida en la mesa y el abrazo infinito de todos los días.

A mis hermanos Fernando, Estefanía y Ariel que siempre me han generado felicidad con su compañía, cada uno de ellos me han enseñado a ser fuerte y sobrellevar con la cabeza en alto y con una sonrisa los problemas, a no rendirme a pesar de los obstáculos que nos pone la vida, cuyo apoyo incondicional moralmente, a tener paciencia con mi carácter. A pesar de las discusiones, siempre habrá un perdón y estaremos juntos.

A mi tía Laura, por brindarme su cariño y motivarme a seguir con mi etapa universitaria con un consejo, por no darme la espalda a pesar de mis errores.

A todos mis familiares maternos, paternos, a mi abuelo, tíos, primos, que cada reunión familiar me brindaron su mano con un consejo de aliento para seguir en el camino, siempre manteniendo la ilusión de tener un profesional más en la familia.

A mi bebe que esta por nacer por ser parte fundamental e inspiradora para terminar mi etapa universitaria, por ser la alegría mas esperada en mi vida, por aferrarse a mi a pesar de las circunstancias que nos pone la vida cada día.

Soraya Shambi

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento con profunda emoción y un infinito amor a DIOS y a la Virgen del Rosario de Agua Santa por ser la intercesora para mi vida llena de Bendiciones, por darme salud, sabiduría y sobre todo paciencia para realizar este proyecto de titulación. Nunca me dejaron sola, por ayudarme a superar cada obstáculo que se ha presentado en este largo camino para lograr este sueño que se está haciendo realidad.

Agradezco infinitamente a mi tutora Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar por su invaluable apoyo, por su paciencia, dedicación y conocimientos los cuales han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo. Gracias a su compromiso con la enseñanza y pasión han dejado una huella en mi formación, por brindarme palabras de aliento, por la confianza puesta en mí y los consejos, que Dios le brinde salud.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, a los docentes que aportaron con su experiencia y conocimiento durante los 8 semestres, así mismo al personal que la conforma.

A mis padres, Luis Shambi y Delia Landa, quienes me apoyaron en toda la carrera, quienes día a día se esfuerzan y no se rinden para verme mejorar, además por brindarme sus consejos, su confianza, por ser cada uno de ellos mi mayor fortaleza, mi aliento de seguir superándome, por extenderme la mano, escucharme, apoyarme y no dejarme caer en los momentos mas vulnerables por sacarme adelante, siempre seré su niña, gracias padres por no dejarme sola.

A mis hermanos Fernando U., Estefanía S. y Joel S. por ser un apoyo emocional, darme un abrazo cuando más lo necesito, y sus palabras de aliento para no rendirme, por sacarme una sonrisa en mis días más tristes, por no dejarme rendir.

A mi abuelito Asencio Landa (papito Landa), por las alegrías, ocurrencias, anécdotas y consejos, han sido un pilar y una inspiración diaria. A mi tía Laura Landa, quien me ha brindado consejos, se ha preocupado día a día de como estoy.

A mis primas Katy, Bélgica, Julissa, Johana quienes cada día me brindaron un consejo, su apoyo en los momentos más duros, un momento de alegría. A mi primo Jorge Eras por siempre creer en mí, por alegrarme mis días con cada una de sus ocurrencias.

A mis amigas, Cynthia P., Xime A., Adriana V., Jessica T., Lore Z, Marco A., quienes me brindaron una amistad sincera, honesta, que me escucharon, aconsejaron y apoyaron en este largo camino y a D. B. quien me brindo una amistad y un apoyo incondicional.

LOS QUIERO A TODOS, DIOS LES BENDIGA

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO viii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS x
RESUMEN EJECUTIVO xi
ABSTRACT xii
CAPÍTULO I. - MARCO TEÓRICO 1
1.1. Antecedentes Investigativos 1
1.1.1. Justificación 1
1.1.2. Trigo 2
1.1.3. Panificación 3
1.1.3.1. Ingredientes de panificación 3
1.1.4. Masa madre 7
1.1.4.1. Tipos de masa madre 8
1.1.5. Parámetros de calidad de los panes 10
1.1.5.1. Valor nutritivo del pan 10
1.2. OBJETIVOS 11
1.2.1. Objetivo general 11
1.2.2. Objetivos específicos 11
CAPÍTULO II. – METODOLOGÍA 11
2.1. Materiales 11
2.2. Métodos 12
2.2.1. Elaboración de las formulaciones de pan tipo Sourdough utilizando masa madre fermentada mediante análisis sensorial y de textura 12
Desarrollo del pan tipo Sourdough y masa madre 12
Análisis sensorial 15
2.2.2. Evaluación de la composición proximal de la mejor formulación 16
Determinación del contenido de humedad 16

Determinación del contenido de proteína 16
Determinación del contenido de grasa 16
Determinación del contenido de cenizas 16
Determinación del contenido de carbohidratos 17
2.2.3. Evaluación del análisis microbiológico del producto final 17
CAPÍTULO III. – RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
3.1. Análisis y discusión de resultados 18
3.1.1. Elaboración de las formulaciones de pan tipo Sourdough utilizando masa madre fermentada mediante análisis sensorial y de textura 18
3.1.1.1. Desarrollo del pan tipo Sourdough y masa madre 18
3.1.1.2. Análisis sensorial 19
3.1.1.3. Análisis de textura 24
3.1.2. Evaluación de la composición proximal de la mejor formulación 26
3.1.3. Evaluación del análisis microbiológico del producto final 29
CAPÍTULO IV. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 32
4.1. Conclusiones 32
4.2. Recomendaciones 32
MATERIAL DE REFERENCIA 34
BIBLIOGRAFÍA 34
ANEXOS 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición aproximada de la harina de trigo refinada e integral 4
Tabla 2. Lista de las materias primas, material fungible, materiales de laboratorio y equipos utilizados en la investigación. 11
Tabla 3. Formulación de pan tipo Sourdough con inclusión de masa madre 13
Tabla 4. Tiempos de fermentación para cada muestra 14
Tabla 5. Resultados obtenidos del análisis de textura de las muestras 24
Tabla 6. Composición proximal del valor nutricional de la mejor formulación 27
Tabla 7. Valores obtenidos del análisis microbiológico de la mejor formulación 29

ÍNDICE DE FIGURAS

***Figura* 1**. Representación de la estructura del grano de trigo en cortes longitudinal y transversal. 3
***Figura* 2.** Diagrama de flujo de la elaboración de pan tipo Sourdough 14
Figura 3. Masa madre de 1 día de fermentación 18
Figura 4. Masa madre de 7 días de fermentación 18
Figura 5. Masa madre de 15 días de fermentación 19
Figura 6. Índice de aceptabilidad de las muestras, la muestra F2-S27 es el pan pan multicereal tipo Sourdough elaborado con masa madre de mayor aceptación. 20
Figura 7. Análisis sensorial de las muestras de pan multicereal tipo Sourdough, la muestra F2-S27 destaca en todos los atributos. 21

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, los consumidores prefieren alimentos naturales, nutritivos y con cualidades sensoriales atractivas. En este contexto, la masa madre ha recuperado su relevancia en la panificación debido a su capacidad para crear un ambiente microbiológico propicio al desarrollo de compuestos que mejoran el sabor, aroma, textura y apariencia del pan. Este estudio surge como respuesta a una necesidad del sector alimentario, centrándose en el uso de masa madre con diferentes tiempos de fermentación para elaborar pan multicereal tipo sourdough, con el objetivo de optimizar sus características sensoriales. Se elaboraron tres formulaciones de pan, cada una con masa madre fermentada durante distintos periodos (0, 7 y 15 días), las cuales fueron evaluadas mediante análisis sensorial y microbiológico. Los resultados demostraron que la formulación F2-S27 (7 días de fermentación) obtuvo la mayor aceptación (80%) en atributos como color, sabor y textura. Además, los análisis microbiológicos confirmaron la inocuidad del producto al no evidenciar presencia de microorganismos patógenos. En conclusión, el pan multicereal tipo sourdough formulado en este estudio se presenta como una opción alimenticia saludable y funcional, destacándose por su composición nutricional balanceada y sus características sensoriales positivas. El uso de masa madre contribuyó significativamente a incrementar la aceptabilidad del producto, al tiempo que generó mejoras tecnológicas relevantes, como una textura más agradable, mayor estabilidad durante el almacenamiento y mejor biodisponibilidad de nutrientes. Estos resultados respaldan su viabilidad como una propuesta innovadora dentro del sector de panificación artesanal orientada a una alimentación más saludable.

Palabras claves: masa madre, fermentación, panificación, nutrición, cereales.

ABSTRACT

Today, consumers prefer natural, nutritious foods with attractive sensory qualities. In this context, sourdough has regained its relevance in baking due to its ability to create a microbiological environment conducive to the development of compounds that improve the flavor, aroma, texture, and appearance of bread. This study arose in response to a need in the food sector, focusing on the use of sourdough with different fermentation times to produce multigrain sourdough bread, with the aim of optimizing its sensory characteristics. Three bread formulations were created, each with sourdough fermented for different periods (0, 7, and 15 days), which were evaluated through sensory and microbiological analysis. The results showed that formulation F2-S27 (7 days of fermentation) obtained the highest acceptance (80%) in attributes such as color, flavor, and texture. Furthermore, microbiological analyses confirmed the safety of the product, as no pathogenic microorganisms were found. In conclusion, the multigrain sourdough bread formulated in this study is presented as a healthy and functional food option, standing out for its balanced nutritional composition and positive sensory characteristics. The use of sourdough significantly contributed to increasing the product's acceptability, while also generating relevant technological improvements, such as a more pleasant texture, greater storage stability, and improved nutrient bioavailability. These results support its viability as an innovative proposal within the artisanal baking sector geared toward healthier eating.

Keywords: sourdough, fermentation, baking, nutrition, cereals

CAPÍTULO I. - MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Justificación

El creciente interés por productos saludables y de alta calidad está impulsando la demanda de panes multicereales tipo Sourdough, que son valorados no sólo por su contenido nutricional sino también por sus cualidades sensoriales únicas. Estos panes contienen una variedad de granos que aportan nutrientes como fibra, vitaminas y minerales, y su largo proceso de fermentación favorece la digestión y los sabores más complejos (Rehman, Paterson, & Piggott, 2006). Por otra parte estudiar el efecto del tiempo de fermentación en panes multicereales a base de levadura no solo podría mejorar la calidad sensorial de los panes sino también proporcionar una ventaja competitiva a los productores artesanales e industriales.

La fermentación de la masa madre es un proceso que incide directamente en el desarrollo del sabor, textura y aroma característicos del pan. El pan de masa madre multicereal presenta una complejidad adicional debido a la combinación de distintos tipos de cereales, lo que introduce una mayor variabilidad en la interacción de la masa madre con sus ingredientes. Aunque la fermentación de la masa madre se ha estudiado en una variedad de contextos, existe una clara falta de investigación que aborde específicamente cómo el tiempo de fermentación afecta las propiedades sensoriales de los panes multicereales (Gómez-Ortiz, Orea-Lara, Hernández-Vargas, & Gómez-Ruíz, 2011). El conocimiento actual sobre la fermentación tradicional del pan no se puede aplicar directamente a los panes multicereales porque los granos adicionales (por ejemplo, centeno, avena, cebada, etc.) alteran la red de gluten desarrollada durante el amasado, el comportamiento de la masa y la actividad bacteriana durante la fermentación. Por lo tanto, la falta de una guía clara sobre los tiempos óptimos de fermentación puede generar variabilidad en la calidad del pan, impactando la experiencia del consumidor y limitando las oportunidades para la producción artesanal o una gran escala de pan de masa madre multicereal consistente y deseable (Montenegro & Rodríguez, 2023).

Al comprender mejor cómo se relaciona el tiempo de fermentación con los cambios en la textura, el sabor, el aroma y la apariencia, se pueden desarrollar procesos de producción

más eficientes y consistentes. Esto dará como resultado productos más atractivos para los consumidores que buscan un pan delicioso y saludable, mientras que los panaderos y la industria alimentaria podrán adaptarse con mayor precisión sus procesos para satisfacer estas expectativas. Además, esta investigación contribuirá a la literatura científica sobre el pan multicereal y la fermentación, proporcionando información valiosa para futuros estudios y desarrollos en la tecnología alimentaria.

1.1.2. Trigo

El trigo común (*Triticum aestivum L.)* es uno de los cereales más antiguos y fundamentales, perteneciente a la familia Gramineae y al género Triticum. Su grano posee gran relevancia agrícola debido al incremento en su producción en los últimos tiempos (Khalid, Hameed, & Farrukh, 2023). Se cultivan principalmente dos tipos de trigo: el trigo blando y el trigo duro; de estos, el trigo blando representa aproximadamente el 95 % de la producción mundial, mientras que el trigo duro constituye solo el 5 % restante (de Sousa et al., 2021). Este cereal es la base alimentaria de cerca del 36 % de la población global y aporta alrededor del 55 % de los carbohidratos y el 21 % de las calorías que se consumen a nivel mundial (Khalid, Hameed, & Farrukh, 2023).

La figura 1, ilustra la estructura del grano de trigo tanto en corte longitudinal como transversal:

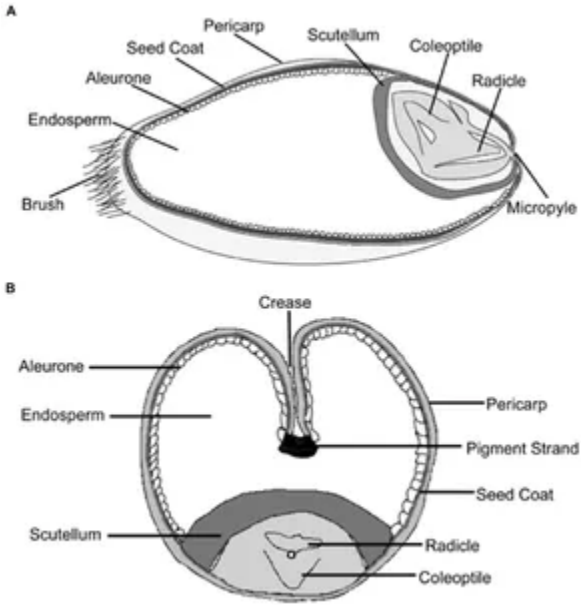


***Figura* 1**. Representación de la estructura del grano de trigo en cortes longitudinal y transversal.

Fuente: Khalid, Hameed & Farrukh (2023).

1.1.3. Panificación

La panificación se basa en el uso de trigo blando (*Triticum aestivum*), con aproximadamente el 70-80% de la producción de trigo destinada a la comercialización en forma de pan (Zhong et al., 2023). La tradición de hacer pan tiene sus orígenes en el continente asiático y se remonta a más de 14,400 años. Diversos factores, como el tipo de harina, la zona geográfica y variables ambientales que influyen en la fermentación de la masa, afectan significativamente las características del pan (Calvert et al., 2021). Desde la antigüedad, el pan ha sido uno de los alimentos más importantes para el ser humano (*Homo sapiens*). Su invención está vinculada a un accidente culinario mientras se intentaban elaborar otros productos. En la actualidad, aunque el pan sigue siendo un alimento de gran popularidad a nivel global, las técnicas de elaboración varían según la región, las tradiciones, la disponibilidad de materias primas y las condiciones económicas.

Se considera que la panificación es un procedimiento que se desarrolla en forma discontinua debido a las etapas y herramientas que se requieren. Una manera indirecta es el uso de la masa madre con el fin de elaborar pan. La calidad del producto está determinada por la clase de harina, el procedimiento y la formulación. El empleo de la masa madre dará como resultado una ligereza inicial, esto quiere decir que el pan tendrá características notorias en aroma y sabor (Bernabé, Llin, & Pérez, 2007).

1.1.3.1. Ingredientes de panificación

1.1.3.1.1. Harina

Se trata del producto finamente triturado, adquirido a partir de la molienda del grano de trigo maduro (*Triticum durum*), saludable, seco y limpio industrialmente. La harina aporta la estructura a los productos a través de su proteína, y en menor medida por los elementos amiláceos. El potencial de la harina de trigo duro para generar una red de gluten es significativo en la expansión de las masas con levaduras. Los panes con levadura se elaboran con harina fuerte, como la harina panificable, que posee suficiente

proteína (gliadinas y gluteninas) para la formación de una estructura glutínica coagulada. Es necesario un correcto crecimiento del gluten y una viscoelasticidad apropiada para retener el CO2 generado durante la fermentación de las levaduras. El componente amiláceo aporta a la estructura al ser gelatinizado, y también se transforma en azúcar, aportando nutrientes a las levaduras. El tacto de la harina de trigo debe ser suave, y al tomarla con la mano debe tener cuerpo, sin formar un conglomerado (Navarro Guerrero, 2014).

1.1.3.1.1.1. Clasificación según el grado de refinamiento

Durante el proceso de molienda del trigo para obtener harina con una tasa de extracción del 70 %, se produce una reducción significativa en el contenido de nutrientes, estimada entre el 60 % y el 80 % (Fernández-Canto et al., 2022).

En cuanto a la **harina refinada**, esta se obtiene al moler únicamente el endospermo del grano, eliminando el germen y el salvado, los cuales se separan y se destinan como subproductos. Este tipo de harina se caracteriza por tener entre un 80 % y 86 % de almidón, además de un bajo contenido de fibra dietética (Fernández-Canto et al., 2022).

Por otro lado, la **harina integral** conserva las partes anatómicas completas del grano de trigo: endospermo, germen y salvado. Es importante señalar que la proporción de salvado y germen puede variar dependiendo del cultivar y del genotipo del trigo. Las harinas integrales destacan por su mayor concentración de minerales, fibra y compuestos bioactivos (Gómez, Gutkoski, & Bravo-Núñez, 2020).

Tabla 1. Composición aproximada de la harina de trigo refinada e integral

g/ 100g	Harina refinada	Harina integral
Fibra	2,70	10,60
Hidratos de carbono	76,31	71,20
Lípidos	0,98	2,73
Proteína	10,33	15,10
Hierro	1,17	3,86
Magnesio	22	138
Calcio	15	38

Potasio	107	372
Fósforo	108	352

Fuente: (Gómez, Gutkoski, & Bravo-Núñez, 2020).

1.1.3.1.2. Levadura

Las levaduras representan un conjunto de hongos microscópicos unicelulares. Una especie específica, *Saccharomyces cerevisiae* (que se traduce como "hongo del azúcar de la cerveza"), tiene como objetivo la producción doble de cerveza y pan. La levadura es vista como el elemento biológico que se incorpora a la masa para conseguir su esponjosidad. La levadura fresca se encuentra viva, pero está inactiva y solo se pone en marcha al combinarla con un líquido caliente, como el agua o la leche. El estado inactivo de la levadura seca se mantiene hasta que se pone en marcha durante el proceso de fermentación. La levadura es un componente esencial en la elaboración del pan, ya que envuelve la masa con bolsas de aire, disminuyendo así la cantidad de materia sólida por unidad de volumen. Por lo tanto, provocan que el pan sea menos grueso, más leve y suave (Navarro Guerrero, 2014).

El término "levadura" se refiere, esencialmente, a un grupo de hongos unicelulares que pueden presentar hifas y/o pseudohifas, aunque estas no siempre están presentes. Las levaduras cuentan con una fase sexual perfecta, conocida como teleomorfa, y una fase asexual que ocurre mediante gemación, proceso en el que se forma una protuberancia llamada yema.

En este contexto, las levaduras pueden clasificarse según su fase sexual. Sin embargo, existen algunas a las que aún no se les ha identificado una fase sexual y solo se conocen por su fase anamorfa. Estas son denominadas "yeastlike" o levaduras con forma similar a levadura, y se reproducen exclusivamente mediante gemación.

- Levaduras industriales o cultivadas
- Levaduras naturales
- Levaduras falsas
- Levaduras vinícolas

(Coronel, 2015).

1.1.3.1.3. Azúcar

El azúcar contribuye a nutrir la levadura, intensificar su activación y a impulsar su crecimiento para que la fermentación ocurra en el menor periodo posible. El azúcar funciona como un color tostado en la corteza de los panes con levadura, gracias a la reacción de pardeamiento provocada por Maillard. Asiste en el proceso de endurecimiento del pan hecho en horno, dado que mantiene la humedad. El azúcar eleva la temperatura en la que el almidón y las proteínas de la harina se gelatinizan, lo que facilita la expansión de las proteínas y el incremento de su volumen (Navarro Guerrero, 2014).

1.1.3.1.4. Sal

La sal es un componente añadido para potenciar el gusto del pan y regular el crecimiento del gluten. Es un elemento imprescindible en los panes leudados ya que demora la actividad de la levadura. Por lo tanto, no se debe añadir exceso ni debe ser incorporada directamente a la levadura. La sal permite que la masa se despliegue de manera regulada y uniforme, lo que resulta en un pan perfectamente levado y uniforme. Las células de levadura se deshidratan, regulan su crecimiento y la producción de CO2 se dilatan adecuadamente sin romperse. Si se emplea escasa sal, el pan se endurece con mayor rapidez, pero si se utiliza excesivamente, la corteza se endurecerá de manera desmedida (Navarro Guerrero, 2014).

1.1.3.1.5. Líquidos

Se utilizan como disolvente para la disolución de varios componentes de recetas como sal, azúcar y levadura. El líquido es imprescindible para hidratar las proteínas de la harina, el almidón y las células de levadura. Es imprescindible la hidratación de las gliadinas y gluteninas para la creación de gluten; también es imprescindible la hidratación del almidón para la gelatinización. El agua facilita el inicio del desarrollo de las células de levadura (o la formación de gemación). La temperatura del líquido utilizado es crucial, puesto que es el único elemento que puede modificar la temperatura de la masa. Debe ser caliente (tibio) o caliente al tacto (38°C); si es excesivamente caliente, podría dañar la levadura y si es excesivamente frío, podría postergar su actividad. Si se incorpora un

volumen reducido de agua, la masa se desarrolla de manera incorrecta en el horno, mientras que un exceso provoca que la masa sea pegajosa y se afloje, resultando en un pan aplanado (Navarro Guerrero, 2014).

La dureza del agua se clasifica en función de la concentración de carbonato de calcio ($CaCO_3$), medida en partes por millón (ppm) o grados de dureza:

- **Agua blanda**: Contiene menos de 50 ppm.
- **Agua moderadamente dura**: Presenta entre 50 y 150 ppm.
- **Agua dura**: Su contenido de minerales oscila entre 150 y 300 ppm.
- **Agua muy dura**: Excede los 300 ppm.

En la panificación, se sugiere emplear agua con dureza moderada, preferentemente entre 100-150 ppm, ya que esta proporciona un equilibrio adecuado para fortalecer el gluten y mantener un buen control sobre la fermentación (Navarro Guerrero, 2014).

1.1.3.1.6. Grasas

El código alimentario los caracteriza como aquellos productos cuyo elemento principal es la materia grasa procedente de animales, vegetales o sus combinaciones, y que poseen como componentes esenciales los glicéridos de los ácidos grasos. Los productos horneados que contienen grasas y aceites se hacen más suaves al revestir las proteínas de la harina en la masa, y físicamente obstaculizan el desarrollo de la estructura de la proteína. Las grasas y aceites incrementan la flexibilidad del pan por un periodo más prolongado, contribuyendo a evitar el proceso de envejecimiento. Además, mejoran la conservación de los productos horneados y elevan el valor nutricional del pan. Las grasas aportan un gusto al pan. Pese a que un exceso de grasa demora la actividad de la levadura (Navarro Guerrero, 2014).

1.1.4. Masa madre

La masa madre es un producto ancestral utilizado como iniciador natural en la panificación, que se presenta como una alternativa a los fermentos químicos y la levadura. Consiste en una mezcla de agua y harina, cuya fermentación ocurre gracias a los microorganismos nativos presentes en la harina. Este proceso puede desarrollarse de

manera espontánea o controlada mediante la incorporación de cultivos iniciadores (Suárez, 2024).

Por otra, para obtener una masa madre de alta calidad se recomienda emplear harina de grano entero, ya que es rica en nutrientes como vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, tocoferoles y esteroles. Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las propiedades únicas de la masa madre. En particular, la fermentación llevada a cabo por las bacterias ácido-lácticas (BAL) tiene un impacto directo en las características distintivas de los productos finales. Estas bacterias se originan en la harina, la masa, otros ingredientes utilizados y el entorno donde se lleva a cabo el proceso de fermentación (Suárez, 2024).

El uso de masa madre en la producción de pan facilita la obtención de productos panificados de alta calidad, ya que el proceso de fermentación de probióticos, ácidos orgánicos, enzimas y compuestos antifúngicos. El desarrollo del gusto en el pan con la incorporación de masa madre se basa en varios elementos, en primer lugar en la fermentación, la oxidación de las grasas y la cocción. De igual manera, las bacterias ácido-lácticas (BAL) en la masa madre o en combinación con la levadura elevan los niveles de compuestos aromáticos (Canesin & Cazarin, 2021).

1.1.4.1. Tipos de masa madre

Según Lau et al., (2021), una clasificación de la masa madre, es la siguiente:

- La poolish madre, también conocida como masa madre tipo 0, tiene un periodo de fermentación breve a temperatura ambiente (<30°C). Los microorganismos autóctonos (BAL) se propagan, generando ácidos orgánicos (ácido láctico y acético). Es esencial para este tipo de masa madre establecer cultivos iniciadores (Lau et al., 2021).
- La masa madre tipo I, también conocida como masa tradicional, se compone de agua y harina que requiere fermentación durante largos periodos de tiempo a temperatura ambiente. Se componen de comunidades microbianas competentes presentes en la harina empleada (Lau et al., 2021).

La principal diferencia radica en el tiempo de fermentación y los microorganismos que intervienen en el proceso. La poolish madre tiene una fermentación más rápida y controlada, mientras que la masa madre tradicional depende de los microorganismos naturales de la harina y requiere un período de fermentación más extenso.

- La masa madre tipo II, también conocida como masa de estado semilíquido, necesita la adición de cultivo iniciador (BAL), con un periodo de fermentación de dos a cinco días a una temperatura superior a 30°C. Durante el proceso de fermentación, se generan ácidos orgánicos (Lau et al., 2021).
- La masa madre de tipo III, similar a la de tipo II, se distingue por su liofilización para simplificar su uso (Lau et al., 2021). La fermentación se lleva a cabo durante 24-72 h a una temperatura superior a 30 °C en una única fase.

- **Fermentación**

La fermentación es un proceso de cambio natural que busca potenciar la preservación, gusto (sabor) y consistencia (textura) de los alimentos (Ribet et al., 2023). El proceso de fermentación provoca la acidificación de la masa madre, lo que afectará las características reológicas de la misma. La acidificación y la creación de sabores son las transformaciones metabólicas significativas que ocurren. En el proceso de fermentación se generan: alcoholes, aldehídos, ésteres y cetonas; camino primordial de compuestos orgánicos volátiles que alteran la fragancia del pan (Akamine, Mansoldo, & Vermelho, 2023).

Los elementos claves que afectan la fermentación son el tiempo y la temperatura, pues determinarán las reacciones características de la fermentación. A largo plazo de fermentación, la producción de compuestos beneficiosos se potencia (Ramos et al., 2021). La temperatura de fermentación es el elemento de mayor importancia, puesto que influirá directamente en el ritmo de acidificación y en la composición de los microorganismos presentes en la masa.

- **Ventajas de la fermentación**

Durante el proceso de fermentación, se disminuyen oligosacáridos, disacáridos, monosacáridos y polioles que pueden fermentarse (Akamine, Mansoldo, & Vermelho, 2023).. La masa madre otorga al producto final atributos reológicos perceptibles en

aspectos como textura, miga, dureza, aroma, masticabilidad, elasticidad, entre otros (Arora et al., 2021).

1.1.5. Parámetros de calidad de los panes

El sabor inigualable de un pan de trigo se atribuye a tres elementos: el sabor de la harina de trigo, los derivados de la levadura de la fermentación microbiana, y las reacciones provocadas por el calor durante el proceso de cocción. El pan tiene ciertos atributos que determinan su calidad. El peso debe incrementarse para generar una hogaza elevada, cuyo interior debe ser homogéneo en términos de porosidad y firme y elástico al contacto. La corteza debe presentar un tono dorado de café y ser crujiente y frágil (Navarro Guerrero, 2014).

1.1.5.1. Valor nutritivo del pan

Los alimentos elaborados con cereales suministran carbohidratos complejos, el mejor recurso de energía de uso gradual para nuestro organismo. Normalmente, estos alimentos son bajos en grasa y aportan fibra. Los alimentos elaborados con cereales aportan vitaminas (en particular las tres vitaminas B fundamentales: tiamina, rivoflavina y niacina) y hierro. La relevancia primordial del pan reside en su aporte energético (900 - 1000 kJ/100g) en forma de carbohidratos (40 - 45% de carbohidratos disponibles); adicionalmente, es importante resaltar su aportación de aproximadamente un 8% - 9% de proteínas, además de grandes cantidades de minerales y vitaminas. El consumo de gran cantidad de pan, ofrece ciertos beneficios como:

- Efecto laxante
- Disminución del peso
- Resistencia muscular
- Disminución en la concentración de colesterol

(Navarro Guerrero, 2014).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del tiempo de fermentación de la masa madre en las propiedades sensoriales de un pan multicereal tipo *Sourdough*.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la mejor formulación de pan multicereal elaborado a partir de una masa madre mediante análisis sensorial y de textura.
- Evaluar la composición proximal de la mejor formulación.
- Realizar un análisis microbiológico del producto final.

CAPÍTULO II. – METODOLOGÍA

2.1.Materiales

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y se llevó a cabo en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. En la Tabla 2, se enlistan los ingredientes, material fungible, materiales de laboratorio y equipos que se utilizaron durante la investigación. La investigación se centró en aspectos claves relacionados con el tema propuesto.

Tabla 2. Lista de las materias primas, material fungible, materiales de laboratorio y equipos utilizados en la investigación.

Material	Cantidad
Ingredientes	
Harina fuerte	2 kg
Harina de trigo integral	3 kg
Harina de avena	1 kg
Harina de quinua	1 kg
Leche en polvo	400 g
Levadura	500 g
Sal	1 kg

Aceite	100 ml
Agua	200 ml
Azúcar	1 kg
Semillas (chía, sésamo, linaza)	3 kg
Materiales fungibles	
Platos desechables	50 unidades
Vasos desechables	50 unidades
Servilletas	50 unidades
Toallas absorbentes	10 unidades
Materiales de laboratorio	
Bowl	1
Bolillos	1
Bandejas	3
Mesas de trabajo	1
Equipos	
Balanza de precisión digital	1
Refrigerador	1
Cámara de leudado	1
Horno rotatorio	1
Batidora industrial	1
Mixolab	1
Texturómetro Brookfield	1

Fuente: Elaboración propia

2.2.Métodos

2.2.1. Elaboración de las formulaciones de pan tipo Sourdough utilizando masa madre fermentada mediante análisis sensorial y de textura

Desarrollo del pan tipo Sourdough y masa madre

La elaboración del pan multicereal comenzó con la selección de ingredientes, como harinas (trigo, avena, quinua) y semillas (chía, sésamo y linaza), cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en la norma INEN 616. Posteriormente, se elaboró la

masa madre tipo esponja siguiendo la metodología de Gallegos & Caranqui (2023), con las modificaciones pertinentes, lo que favoreció el crecimiento de levaduras y bacterias ácido-lácticas, y podría haber mejorado las características organolépticas y nutricionales del producto.

En la **tabla 3** se presenta la formulación del pan tipo Sourdough con la inclusión de masa madre.

Tabla 3**.** Formulación de pan tipo Sourdough con inclusión de masa madre

INGREDIENTES	PESO FINAL
Masa madre	
Harina fuerte	600 g
Levadura	70 g
Agua	390 ml
Pan Multicereal	
Harina integral	1 kg
Harinas (trigo, avena, quinua)	200 g (66.67 g cada una)
Leche en polvo	50 g
Azúcar	100 g
Sal fina	20 g
Aceite	100 ml
Agua	350 ml
Semillas remojadas (chía, sésamo, linaza)	100 g
Masa madre (esponja)	200 g

Fuente: Modificado de Gallegos & Caranqui (2023); Jerez (2022).

El pan tipo sourdough fue elaborado en el laboratorio de Cereales de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. La Figura 1, presenta el procedimiento que se llevó a cabo durante su desarrollo.

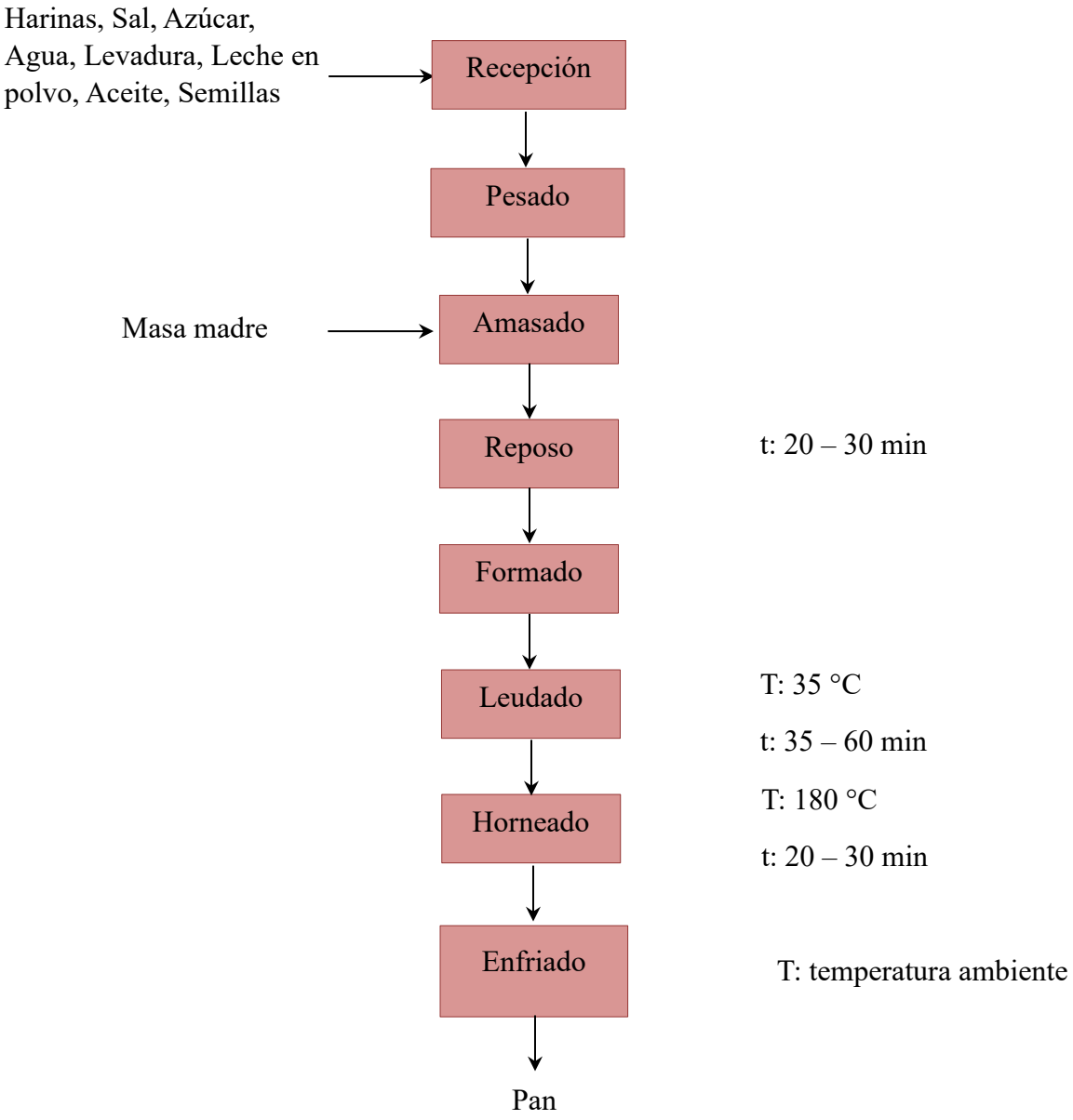


***Figura* 2.** Diagrama de flujo de la elaboración de pan tipo Sourdough

Fuente: Modificado por **Shambi**, a partir de **Gallegos & Caranqui (2023); Jerez (2022).**

Además, este estudio se llevó a cabo utilizando un diseño completamente aleatorizado, donde la variable independiente correspondió al tiempo de fermentación de la masa madre, mientras que las características organolépticas representaron la variable dependiente (**Tabla 4**).

Tabla 4. Tiempos de fermentación para cada muestra

Muestras	Tiempo de fermentación (días)
T1	0
T2	7
T3	15

Elaborado por: Shambi (2025).

- **Hipótesis nula (H_0):**

El tiempo de fermentación de la masa madre no tiene un efecto significativo sobre las características organolépticas del pan multicereal tipo sourdough.

- **Hipótesis alternativa (H_1):**

El tiempo de fermentación de la masa madre tiene un efecto significativo sobre las características organolépticas del pan multicereal tipo sourdough.

Análisis sensorial

El análisis sensorial fue llevado a cabo por un panel de 20 catadores semi-entrenados, en la sala de cata de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Se utilizaron hojas de cata para valorar color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general.

Análisis de textura

El análisis de textura se llevó a cabo en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL), siguiendo la metodología descrita en el manual del texturómetro Brookfield CT3. Para este propósito, se empleó una sonda Ta11/1000, específica para pan. En el software del equipo se ingresaron parámetros como una carga de activación de 0,07 N, velocidad de prueba de 2,00 mm/seg y el porcentaje de deformación de 18%. De esta manera, se obtuvieron valores correspondientes a dureza en los ciclos 1 y 2, elasticidad y masticabilidad. Es importante señalar que la evaluación se realizó por triplicado para garantizar la reproducibilidad de los resultados (Garcia-Hernandez, Roldan-Cruz, Vernon-Carter, & y Alvarez-Ramirez, 2022).

2.2.2. Evaluación de la composición proximal de la mejor formulación

Determinación del contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad se realizó mediante el método de secado en estufa. Este procedimiento consistió en pesar una muestra inicial del pan y someterla posteriormente a un secado en estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, lo que indicó la completa evaporación del agua presente. El porcentaje de humedad se calculó a partir de la diferencia de peso antes y después del secado, conforme a la norma AOAC 925.10.

Determinación del contenido de proteína

La determinación del contenido de proteína se llevó a cabo mediante el método Kjeldahl, el cual permitió cuantificar el nitrógeno total presente en la muestra. El procedimiento consistió en digerir la muestra con ácido sulfúrico, seguido de una destilación para liberar el amoníaco, que fue recogido en una solución de ácido bórico y posteriormente titulado para determinar su concentración. A partir del contenido de nitrógeno total, se calculó el porcentaje de proteína utilizando un factor de conversión estándar (6.25), basado en la norma AOAC 2001.11

Determinación del contenido de grasa

La determinación del contenido de grasas se realizó mediante el método Soxhlet. Este procedimiento consistió en extraer las grasas de la muestra utilizando un disolvente orgánico. La muestra fue colocada en un aparato Soxhlet, donde el disolvente recirculó continuamente sobre ella, permitiendo la extracción de los lípidos. Posteriormente, el disolvente fue evaporado y se cuantificó la cantidad de grasa extraída. Este método fue empleado por su eficacia y precisión en la obtención de resultados confiables sobre el contenido graso en productos alimenticios, conforme a lo establecido en la norma AOAC 2003.06.

Determinación del contenido de cenizas

La determinación de cenizas se llevó a cabo mediante el método de calcinación en mufla a 550 °C, conforme a la norma AOAC 923.03. Durante este proceso, la muestra fue sometida a altas temperaturas hasta que todo el material orgánico se quemó, quedando únicamente

los minerales. El residuo mineral obtenido se pesó y este valor se expresó como el porcentaje de cenizas presente en la muestra. Este análisis resultó especialmente relevante para evaluar el contenido mineral del pan, incluyendo elementos esenciales como calcio, fósforo y magnesio.

Determinación del contenido de carbohidratos

En lugar de efectuar un análisis directo de los carbohidratos, su contenido fue calculado por diferencia, restando al 100 % los porcentajes de humedad, proteínas, grasas y cenizas. Este método, ampliamente utilizado en la industria alimentaria, está respaldado por la norma AOAC 920.49. El cálculo por diferencia resultó ser una técnica eficiente que permitió obtener una estimación precisa del contenido de carbohidratos, los cuales, en el caso del pan, corresponden principalmente al almidón.

2.2.3. Evaluación del análisis microbiológico del producto final

El análisis microbiológico se realizó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL). Para ello, se utilizaron métodos estandarizados que incluyeron el empleo de medios de cultivo selectivos y diferenciales, junto con condiciones de incubación controladas, lo que permitió una detección precisa y confiable de los microorganismos de interés, tales como aerobios mesófilos, coliformes, Salmonella spp., Escherichia coli, así como mohos y levaduras, respaldado por la norma AOAC.

CAPÍTULO III. – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Elaboración de las formulaciones de pan tipo Sourdough utilizando masa madre fermentada mediante análisis sensorial y de textura

3.1.1.1.Desarrollo del pan tipo Sourdough y masa madre

Para la elaboración de la masa madre se utilizó una mezcla de harina integral y harina de fuerza, junto con agua y levadura en proporciones definidas. La harina fue previamente pesada y mezclada con el agua y la levadura dentro de un frasco, el cual se selló herméticamente y se almacenó a temperatura ambiente. La masa madre fue refrescada cada 24 horas con el fin de cumplir con los tiempos de fermentación establecidos: 15 días, 7 días, 1 día y 0 días.



Figura 3. Masa madre de 1 día de fermentación



Figura 4. Masa madre de 7 días de fermentación



Figura 5. Masa madre de 15 días de fermentación

En las figuras 3, 4 y 5 se muestran las masas madres obtenidas tras distintos periodos de fermentación. De acuerdo con Palla et al. (2020), durante este proceso los microorganismos presentes en la masa madre producen metabolitos secundarios como vitaminas, antioxidantes, polioles, compuestos bioactivos y compuestos aromáticos entre ellos, aldehídos, ésteres y cetonas. Además, se generan dióxido de carbono y etanol. Todos estos compuestos contribuyen a mejorar tanto la calidad nutricional como las características organolépticas del producto final.

Posteriormente, para la elaboración del pan multicereal tipo Sourdough, se pesaron los siguientes ingredientes: harina de trigo blanca, harina de trigo integral, azúcar, sal, leche en polvo, aceite, harinas de quinua, avena, semillas (chía, sésamo, linaza) y agua. Es importante señalar que la levadura se utiliza únicamente en la elaboración de la masa madre. A continuación, se mezclaron los ingredientes con la masa madre y se amasó la mezcla durante aproximadamente 15 minutos. Se formaron panes de 180 g, 170 g y 150 g. Posteriormente, se colocaron en la cámara de leudado durante aproximadamente 70 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se iniciará el proceso de horneado, que durará 25 minutos. Finalmente, los paneles se dejaron enfriar y se almacenaron en fundas termoselladas. En un estudio realizado por Cardinali et al. (2023), se señala que el uso de masa madre en la elaboración del pan contribuye a una mayor suavidad y favorece un aumento en el volumen del producto final.

3.1.1.2.Análisis sensorial

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial, presentados en la Figura 6, evidencian que la muestra identificada con el código F2-S27 (pan elaborado con masa madre

fermentada durante 7 días) se destacó en todas las características evaluadas: color, sabor, textura y aceptabilidad general. Estos resultados sugieren que un tiempo de fermentación de siete días proporciona un equilibrio adecuado entre desarrollo de compuestos sensoriales y características físicas agradables para el consumidor.

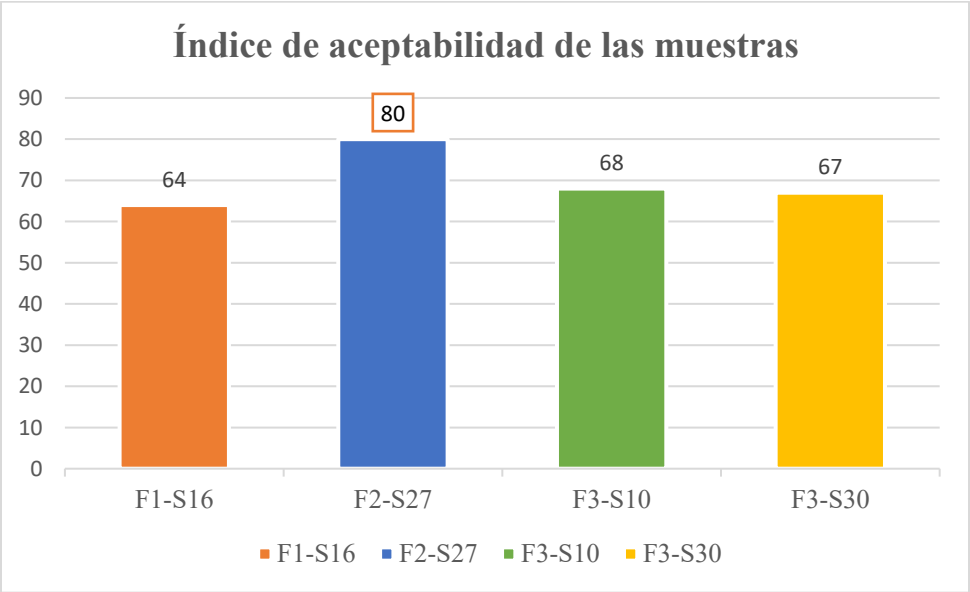


Figura 6. Índice de aceptabilidad de las muestras, la muestra F2-S27 es el pan pan multicereal tipo Sourdough elaborado con masa madre de mayor aceptación.

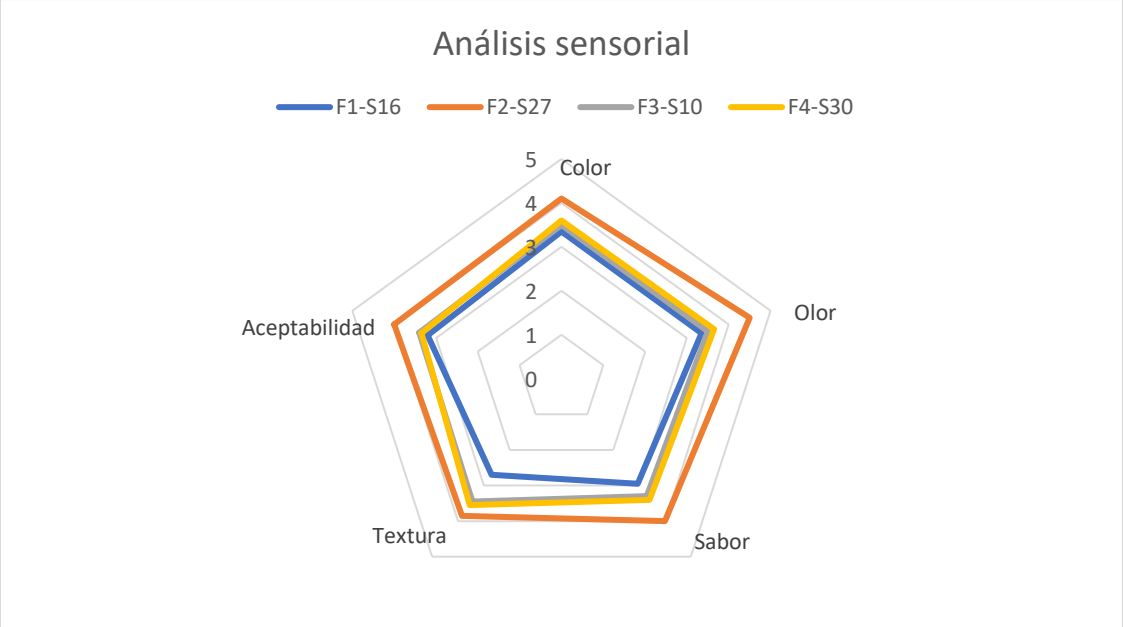


Figura 7. Análisis sensorial de las muestras de pan multicereal tipo Sourdough, la muestra F2-S27 destaca en todos los atributos.

Ruiz-Capillas & Herrero (2021) destacan que el análisis sensorial constituye una herramienta clave para determinar la aceptación o el rechazo de un alimento, ya que permite evaluar, mediante los sentidos de un panel entrenado, características como la textura, el sabor, la apariencia, entre otras propiedades. En los resultados obtenidos se observa una preferencia significativa por la muestra F2-S27, la cual supera a las muestras F1-S16 y F3-S10, incluyendo al blanco (Figuras 6 y 7). Esta preferencia podría atribuirse al sabor distintivo que aporta la masa madre, el cual intensifica las propiedades organolépticas del pan. Además, se evidencia que un tiempo de fermentación de siete días es suficiente para obtener una textura agradable en el producto final.

- **Color**

En la Figura 7 se presentan los resultados correspondientes a la variable color, evaluada mediante la escala hedónica. La muestra F2-S27 (pan elaborado con masa madre fermentada durante 7 días) obtuvo la puntuación más alta con un valor de 4,1, seguida por la muestra F3-S10 (pan con masa madre de 15 días de fermentación), que alcanzó un valor de 3,5. Estos resultados podrían estar asociados a una mayor liberación de azúcares reductores como consecuencia del incremento en el tiempo de fermentación, lo cual

intensifica la reacción de Maillard durante las etapas finales del horneado. Este proceso genera melanoidinas, responsables del color característico del pan, así como compuestos aromáticos presentes en la corteza (Troadec et al., 2022).

Por otro lado, la muestra F1-S16 (pan elaborado con masa madre sin fermentación previa, es decir, 0 días) obtuvo un índice de aceptabilidad de 3,35, siendo el valor más bajo registrado en la evaluación del color. Sin embargo, cabe destacar que ninguna de las muestras evaluadas recibió calificaciones inferiores a 3 puntos en la escala hedónica, lo que indica que, en términos de color, todas fueron consideradas agradables por los catadores.

- **Olor**

En la Figura 7 se observa que la muestra con mayor puntuación en la evaluación del atributo olor corresponde a F2-S27 (pan elaborado con masa madre fermentada durante 7 días), con un valor de 4,5, seguida por la muestra F2-S10 (masa madre de 15 días de fermentación). Ambas puntuaciones se ubican dentro del rango de aceptación positiva en la escala hedónica, correspondientes a las categorías “me gusta” y “me gusta mucho”. Estos resultados coinciden con lo señalado por Katsi et al. (2021), quienes afirman que la masa madre, al tratarse de un fermento natural, contiene bacterias ácido lácticas y levaduras nativas de la harina, siendo estas últimas responsables de la generación de compuestos aromáticos que enriquecen el perfil sensorial del pan.

En contraste, la muestra F2-S16 (pan elaborado con masa madre sin fermentación previa, es decir, 0 días) obtuvo la puntuación más baja en este atributo, con un valor de 3,35. Esta menor aceptabilidad podría estar relacionada con la ausencia de un proceso de acidificación, lo cual limita la producción de compuestos aromáticos característicos durante la fermentación.

- **Sabor**

En relación con el atributo sabor, en la Figura 7 se observa que la muestra F2-S27 (pan elaborado con masa madre fermentada durante 7 días) obtuvo la puntuación más alta, con un valor de 4, seguida por la muestra F2-S10 (masa madre de 15 días), que alcanzó un valor de 3,3 en la escala hedónica. Estos resultados podrían estar relacionados con el

proceso de acidificación propio de la masa madre, durante el cual se forma ácido acético, compuesto vinculado con el desarrollo del sabor característico del pan elaborado mediante fermentación natural (Limbad et al., 2020).

Por otra parte, la muestra F2-S16 (pan elaborado con masa madre sin fermentación previa, es decir, 0 días) ocupó el tercer lugar con una puntuación de 2,95 siendo el valor más baja en cuanto a las dos muestras anteriores.

- **Textura**

En la Figura 7 se observa que la muestra F2-S27 (pan elaborado con masa madre fermentada durante 7 días) obtuvo la calificación más alta en cuanto al atributo textura, con un valor de 3,85en la escala hedónica, lo que la posiciona como una muestra aceptable para los evaluadores. Le sigue la muestra F2-S10 (masa madre de 15 días), que alcanzó una puntuación de 3,45. Según lo indicado por Mariotti et al. (2017), la textura ideal del pan está influenciada por el contenido proteico de la harina, ya que las proteínas contribuyen a la viscoelasticidad de la masa. No obstante, la calidad de estas proteínas se evidencia cuando se logra un encapsulamiento eficiente del gas producido durante el leudado, lo cual incrementa el volumen del pan y mejora su suavidad. En este proceso, la cantidad y calidad del fermento biológico juegan un papel determinante. Por último, la muestra F2-S16 (pan elaborado con masa madre sin fermentación previa, es decir, 0 días) obtuvo una calificación de 2,7, siendo la más baja en este atributo. Este resultado se puede atribuir a la ausencia de fermentación, lo que impidió el proceso de leudado. Sin embargo, a pesar de su menor puntuación, la muestra no fue rechazada por completo por el panel de catadores.

- **Aceptabilidad**

En la Figura 6 se observa que la muestra con el mayor índice de aceptabilidad corresponde a F2-S27 (7 días de fermentación), destacó con un 80 % de aceptabilidad, superando a F1-S16 (64%) y F3-S10 (68%). Los atributos mejor evaluados fueron olor (4.5/ 5) y textura (3.85/5). Cabe destacar que todos los valores obtenidos son positivos, ya que superan tanto el 50 %, lo que sugiere que todas las formulaciones evaluadas fueron

bien recibidas sensorialmente y, por tanto, son aptas para el consumo sin restricciones desde el punto de vista de la aceptación sensorial.

3.1.1.3.Análisis de textura

En la Tabla 5 se presentan los valores promedio correspondientes a los parámetros de dureza, elasticidad y masticabilidad de las distintas muestras analizadas.

Tabla 5. Resultados obtenidos del análisis de textura de las muestras

Muestra	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Masticabilidad (Mj)
F1-S16	62,27 ± 24,13	15,11 ± 11,10	628,9 ± 509,7
F2-S27	45,92 ± 6,83	11,32 ± 0,32	334,2 ± 54,0
F3-S10	59,27 ± 17,06	11,26 ± 0,38	405,6 ± 94,8

Nota: Los datos obtenidos es el promedio de tres replicas realizadas en el texturómetro Brookfield para cada uno de los tratamientos.

Fuente: elaboración propia

- **Dureza**

La dureza es un parámetro fundamental en la evaluación de la textura del pan, ya que representa la fuerza máxima requerida durante el primer bocado (Adamczyk et al., 2021). En la Tabla 5 se observa que no existen diferencias significativas en los valores de dureza entre las muestras las muestras F1-S16 y F3-S10, las cuales se ubican dentro de un rango similar.

La muestra F1-S16 presentó el mayor valor de dureza (62,27 ± 24,13 N), seguida por la muestra F3-S10 (59,27 ± 17,06 N), mientras que la menor dureza se registró en la muestra F2-S27 (45,92 ± 6,83 N). Estos resultados sugieren que un mayor tiempo de fermentación favorece el desarrollo de una textura más suave en el pan, probablemente debido a la mayor actividad de levaduras y bacterias ácido lácticas, las cuales generan compuestos responsables de la producción de dióxido de carbono (CO_2) y la acidificación de la masa. Estos procesos mejoran la expansión de la miga y reducen su firmeza. Por el contrario, la elevada dureza observada en la muestra F3-S16 podría deberse a un tiempo de fermentación insuficiente, lo que impide el desarrollo de una estructura alveolar adecuada y da lugar a una miga más compacta. Asimismo, el contenido de fibra presente en las

harinas integrales utilizadas en todas las formulaciones pudo haber contribuido al aumento de la dureza, ya que las partículas de salvado interfieren con la formación de la red de gluten y disminuyen la capacidad de retención de gas, generando una miga más densa y menos aireada. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cardinali et al. (2023), quien afirma que tiempos de fermentación más prolongados tienden a disminuir la dureza del pan elaborado con masa madre, especialmente en productos que incorporan cereales integrales, donde la textura se ve considerablemente influenciada por el tipo y duración del proceso fermentativo.

- **Elasticidad**

La elasticidad representa la capacidad del pan para recuperar su forma original tras ser comprimido, y se determina midiendo la altura que retoma el producto entre la primera y la segunda compresión (Hernández-Aguilar et al., 2021). En la tabla 5 se evidencia que la muestra F1-S10 presentó el valor más alto de elasticidad (15,11 ± 11,10 mm), mientras que F2-S27 (11,32 ± 0,32 mm) y F3-S16 (11,26 ± 0,38 mm) obtuvieron resultados inferiores, aunque similares entre ellas. Estos datos indican que tiempos de fermentación más cortos, como en el caso de F1-S10, pueden favorecer una mayor retención de gases y una red de gluten más flexible, siempre que la actividad microbiológica no comprometa la integridad de las proteínas estructurales. En contraste, los valores menores observados en F2-S27 y F3-S16 podrían estar asociados a procesos fermentativos más prolongados, los cuales, si bien pueden potenciar aspectos como el sabor y la acidez, también pueden perjudicar la elasticidad de la miga si no se controlan adecuadamente variables como la hidratación o el riesgo de sobrefermentación. Esta situación es aún más crítica en productos elaborados con harinas integrales, dado que el contenido de fibra interfiere en la formación y estabilidad de la red de gluten, reduciendo así la capacidad de recuperación elástica del pan.

- **Masticabilidad**

La masticabilidad es un parámetro fundamental en el análisis sensorial instrumental del pan, ya que refleja la cantidad total de energía necesaria para fragmentar el alimento hasta que esté listo para ser deglutido (Hernández-Aguilar et al., 2021). Este atributo integra aspectos como la dureza, la cohesividad y la elasticidad, y guarda una estrecha relación

con la experiencia del consumidor en términos de facilidad para masticar y aceptar el producto. De acuerdo con los datos obtenidos, la muestra F1-S16 presentó el valor más elevado de masticabilidad (628,9 ± 509,7 Mj), seguida por la muestra F3-S10 (405,6 ± 94,8 Mj), mientras que la muestra F2-S27 obtuvo el valor más bajo (334,2 ± 54,0 Mj) (ver tabla 5). Estos resultados sugieren que F1-S16, elaborada con masa madre con menor tiempo de fermentación, requería mayor esfuerzo masticatorio, posiblemente debido a una miga más densa como resultado de una menor generación de gases o una fermentación poco activa. Por el contrario, el menor valor registrado en F2-S27 podría estar relacionado con una textura interna más blanda y porosa, que facilitaría la desintegración del pan en la boca. Esto se debería a una fermentación más eficiente, con una mayor producción de gas y ácidos orgánicos por parte de los microorganismos presentes en la masa madre, lo cual favorece una estructura más aireada. En conjunto, estos hallazgos indican que el tiempo de fermentación tiene un impacto significativo en la masticabilidad del pan, y que encontrar un balance adecuado en este parámetro es esencial para obtener una textura más aceptable desde el punto de vista del consumidor.

- **Comprobación de hipótesis**

A partir del análisis de los resultados y considerando un nivel de significancia del 5% (α = 0.05), se llevó a cabo la comprobación de las hipótesis formuladas. Los datos estadísticos evidenciaron diferencias significativas en las características sensoriales del pan multicereal tipo sourdough en relación con el tiempo de fermentación de la masa madre.

En consecuencia, se descarta la hipótesis nula (H_0) y se ratifica la hipótesis alternativa (H_1), lo que indica que el tiempo de fermentación de la masa madre afecta significativamente las cualidades organolépticas del pan multicereal. Estos resultados destacan la relevancia de ajustar adecuadamente el proceso fermentativo para mejorar la aceptación y calidad sensorial del producto final.

3.1.2. Evaluación de la composición proximal de la mejor formulación

En la industria alimentaria, la realización de análisis proximal es fundamental para asegurar la calidad y seguridad de los panes multicereales elaborado. La Tabla 6 muestra

los resultados de los análisis proximales correspondientes a la formulación óptima F2-S27. Estos análisis fueron realizados por duplicado en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, garantizando la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 6. Composición proximal del valor nutricional de la mejor formulación

Nutriente	Porcentaje (%)
Humedad	26.5
Proteína	11.4
Grasa	7.66
Cenizas	2.78
Carbohidratos	44

Nota: Los datos del porcentaje es el promedio de las dos replicas que se realizó para cada nutriente.

Fuente: elaboración propia

- **Humedad**

La humedad registrada (26,5 %) está por debajo del límite máximo establecido por la norma INEN 099:2012 para panes comunes e integrales, el cual se sitúa en 38 % (INEN I. E., 2012). Esta menor proporción de agua podría atribuirse a la fermentación prolongada propia de las masas madre, así como a las características del horneado y de las harinas empleadas. Cabe resaltar que un menor contenido de humedad puede favorecer la vida útil del producto, ya que disminuye la actividad de agua y, por tanto, la posibilidad de desarrollo microbiano (Gómez et al., 2013).

- **Proteína**

En cuanto al contenido proteico (11,4 %), se encuentra dentro del rango adecuado en comparación con panes tradicionales, que generalmente contienen entre 8 % y 12 %, dependiendo del tipo de harina utilizada (Renzetti & Arendt, 2009). Diversos estudios señalan que la fermentación con masa madre puede incrementar la biodisponibilidad de aminoácidos esenciales y mejorar la digestión de las proteínas, lo que representa un valor añadido desde el punto de vista nutricional (De Vuyst & Vancanneyt, 2007).

- **Grasa**

Respecto al contenido de grasa (7,66 %), se evidencia un valor considerablemente mayor al observado en panes convencionales, los cuales suelen contener entre 1 % y 3 % (Moroni et al., 2011). Este aumento puede explicarse por la inclusión de ingredientes ricos en lípidos, como frutos secos, semillas oleaginosas o aceites vegetales, habituales en la formulación de panes multicereales. A su vez, un mayor contenido graso puede mejorar atributos sensoriales como la textura, el sabor y la sensación en boca (Corsetti & Settanni, 2007).

- **Ceniza**

El valor de cenizas (2,78 %) está dentro del rango típico de los panes integrales o enriquecidos con cereales completos, donde estos niveles pueden alcanzar hasta 3 % (Katina et al., 2005). Este parámetro representa la fracción mineral del alimento, y puede incrementarse por el uso de harinas poco refinadas, así como por la acción de las enzimas microbianas que favorecen la liberación de minerales como hierro, calcio y zinc (Gobbetti et al., 2014).

- **Carbohidratos**

Finalmente, el contenido de carbohidratos (44 %) es levemente inferior al que se suele reportar en panes estándar, donde oscila entre el 50 % y el 60 % ([USDA], 2020). Esta disminución puede deberse al mayor aporte de proteínas y grasas, así como a la utilización de azúcares y almidones por parte de los microorganismos durante la fermentación alcohólica y láctica de la masa madre (Hammes & Gänzle, 1998).

En síntesis, el perfil nutricional del pan elaborado con masa madre resulta equilibrado y cumple con los requisitos normativos vigentes, a la vez que presenta ventajas frente a productos industriales. Además, el uso de una fermentación prolongada no solo mejora sus propiedades organolépticas, sino que también aporta beneficios nutricionales, posicionando a este tipo de pan como una opción funcional y atractiva para los consumidores actuales.

3.1.3. Evaluación del análisis microbiológico del producto final

Los análisis correspondientes al análisis microbiológico para el tratamiento F2-S27 fueron realizados en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos "LACONAL". Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores obtenidos del análisis microbiológico de la mejor formulación

Técnica	Resultados	Unidad	Método utilizado
Aerobios mesófilos	$1,7X10^2$	UFC/g	PE03-7.2-MB AOAC 990.12.Ed. 22, 2023
Coliformes	<10	UFC/g	PE01-7.2-MB AOAC R.I.: 110402.Ed. 22, 2023
E. coli	<10	UFC/g	PE01-7.2-MB AOAC R.I.: 110402.Ed. 22, 2023
Salmonella	No detectado	En 25 g	PE08-7.2-MB AOAC 2014.01.Ed. 22, 2023
Mohos	<10	UPM/g	PE-02-7.2-MB AOAC 997.02.Ed. 22, 2023
Levaduras	90 (e)	UPL/g	PE-02-7.2-MB

	AOAC 997.02.Ed. 22, 2023

Nota: Las unidades, UPM/g significa unidades propagadas de mohos/gramos; UPL/g significa unidades propagadas de levaduras/ gramos

Fuente: Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos "LACONAL"

El recuento de microorganismos aerobios mesófilos fue de 1.7×10^2 UFC/g, una cifra considerablemente inferior al límite máximo de 1×10^5 UFC/g establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1334:2012 para productos de panadería listos para su consumo (NEN, 2012). Este bajo recuento microbiológico refleja condiciones higiénicas adecuadas durante el proceso de elaboración, así como una posible acción antimicrobiana derivada de los compuestos generados en la fermentación.

En relación con los coliformes totales y Escherichia coli, ambos mostraron valores inferiores a 10 UFC/g, cumpliendo así con los parámetros establecidos (<100 UFC/g), lo que evidencia prácticas sanitarias apropiadas durante la manipulación e implementación del proceso productivo. Por otra parte, conforme a lo estipulado por la norma NTE INEN 6579:2014, confirma la inocuidad microbiológica del pan elaborado presenciando una ausencia de Salmonella en 25 g de muestra (INEN, 2014).

Respecto a los mohos (<10 UPM/g) y levaduras (90 UPL/g), ambos se ubicaron dentro de los márgenes considerados aceptables para productos de panadería. La literatura científica ha señalado que la fermentación con masa madre puede reducir de forma significativa la proliferación de microorganismos alterantes como mohos y levaduras, gracias a la producción de compuestos como ácidos orgánicos, bacteriocinas y péptidos antimicrobianos generados por las bacterias lácticas y levaduras presentes en la masa madre (Lattanzi et al., 2019; Pautz et al., 2021).

A nivel local, Muñoz et al. (2021) realizaron un estudio en panaderías de Ambato, Ecuador, donde los panes convencionales registraron recuentos de mohos y levaduras superiores a 10^3 UFC/g, mientras que los productos fermentados con masa madre presentaron niveles considerablemente menores (<10^2 UFC/g), similares a los obtenidos en la presente investigación.

CAPÍTULO IV. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se desarrollaron tres formulaciones de pan multicereal tipo Sourdough utilizando masa madre. El volumen de los panes aumentó en relación directa con el tiempo de fermentación de la masa madre, empleada como agente leudante en cada formulación.
- La formulación que obtuvo el mayor nivel de aceptación en el análisis sensorial fue la F2-S27, correspondiente al pan elaborado con masa madre fermentada durante 7 días, alcanzando un 80 % de aceptabilidad. Esta muestra destacó especialmente en atributos como color, sabor y textura, superando significativamente a las demás. Las características sensoriales observadas se vieron favorecidas por la liberación de compuestos precursores durante la fermentación, así como por la acción de las levaduras, responsables de la formación de compuestos aromáticos. Por otro lado, la textura se vio influenciada por las proteínas presentes en la harina, las cuales contribuyen a la viscoelasticidad de la masa.
- Se observó una variación en la dureza de las muestras, siendo los panes elaborados con masa madre tipo poolish los que mostraron mayor dureza. Esto se relaciona con que en fermentaciones más prolongadas el pan tiende a tener una textura más suave. De igual forma, en cuanto a elasticidad, las muestras F2-S27 y F3-S16 presentaron valores bajos, lo que indica procesos con insuficiente leudado. Por otro lado, la muestra F2-S27 mostró el mejor nivel de masticabilidad según la percepción del consumidor.
- De acuerdo a los resultados de los análisis proximales y microbiológicos obtenidos demuestran que el pan multicereal tipo sourdough analizado cumple con los estándares establecidos por las normativas ecuatorianas y se alinea con los hallazgos de estudios recientes. La utilización de masa madre no solo mejora las propiedades sensoriales del producto, sino que también representa una estrategia eficaz para prolongar la vida útil y mejorar la seguridad microbiológica del pan.

4.2.Recomendaciones

- A partir de los hallazgos alcanzados en esta investigación, se propone como una línea de estudio prometedora la experimentación con diferentes tipos de masa madre,

especialmente aquellas formuladas con cultivos iniciadores específicos. Esta propuesta no solo contribuiría a una mayor comprensión de los procesos fermentativos involucrados, sino que también favorecería el desarrollo de innovaciones orientadas a mejorar la calidad sensorial y la estabilidad del pan elaborado.

- Asimismo, se aconseja evaluar tiempos de fermentación más extensos, ya que estos podrían intensificar propiedades sensoriales positivas, como una miga más tierna, un perfil de sabor más desarrollado y una mejor percepción por parte del consumidor. Tales ajustes en el proceso de panificación podrían ser determinantes para crear productos más atractivos y con valor agregado en el mercado.
- De igual manera, se considera pertinente ampliar el análisis hacia componentes nutricionales del pan multicereal, incorporando la evaluación de aminoácidos, contenido de gluten, fibra alimentaria, entre otros. Esta información aportaría significativamente al diseño de alimentos funcionales, respondiendo así a las necesidades actuales de consumidores interesados en productos más nutritivos y naturales.
- Finalmente, se motiva a los futuros investigadores a seguir profundizando en esta temática, ya que la elaboración de pan mediante masa madre constituye un campo multidisciplinario que integra conocimientos científicos con prácticas tradicionales e innovadoras. Explorar este ámbito representa una valiosa oportunidad para contribuir tanto al desarrollo tecnológico como a la valorización de la identidad alimentaria y al fortalecimiento del sector panadero nacional.

MATERIAL DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

[USDA], U. D. (2020). *FoodData Central.* Obtenido de https://fdc.nal.usda.gov/

Adamczyk, G., Ivanišová, E., Kaszuba, J., Bobel, I., Khvostenko, K., Chmiel, M., & Falendysh, N. (2021). *Quality assessment of wheat bread incorporating chia seeds. Foods, 10(10), 1–10.* Obtenido de doi.org/10.3390/foods10102376

Akamine, I. T., Mansoldo, F. R., & Vermelho, A. B. (2023). *Probiotics in the Sourdough Bread Fermentation: Current Status. Fermentation, 9(2).* Obtenido de doi.org/10.3390/fermentation9020090

Arora, K., Ameur, H., Polo, A., Cagno, R. D., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2021). *Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. Trends in Food Science and Technology, 108(November 2020), 71–83.* . Obtenido de doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008

Bernabé, C., Llin, M. L., & Pérez, C. (2007). *Introducción La Masa Madre: El Secreto Del Pan. [Monográfico tecnología para pastelería y panadería 1, 46–62]*. Obtenido de https://www.indespan.com/wp-content/uploads/2019/09/art.-tecnicos-1.pdf

Calvert, M. D., Madden, A. A., Nichols, L. M., Haddad, N. M., Lahne, J., Dunn, R. R., & McKenney, E. A. (2021). *A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. PeerJ, 9, 1–37.* Obtenido de doi.org/10.7717/peerj.11389

Canesin, M. R., & Cazarin, C. (2021). *Nutritional quality and nutrient bioaccessibility in sourdough bread. Current Opinion in Food Science, 40, 81-86.* Obtenido de doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.007

Cardinali, F., Garofalo, C., Taccari, M., Osimani, A., Polverigiani, S., Milanović, V., . . . Aquilanti, L. (2023). *Development of sourdough bread from rollmilled and stone-ground soft (Triticum aestivum) wheat flours milled to different extraction rates. European Food Research and Technology, 0123456789.* Obtenido de doi.org/10.1007/s00217-023-04409-4

Cardinali, F., Garofalo, C., Taccari, M., Osimani, A., Polverigiani, S., Milanović, V., . . . Aquilanti, L. (2023). *Development of sourdough bread from rollmilled and stone-ground soft (Triticum aestivum) wheat flours milled to different extraction rates. European Food Research and Technology, 0123456789.* Obtenido de doi.org/10.1007/s00217-023-04409-4

Coronel, D. (2015). *Aislamiento e identificación de taxa de levaduras presentes en el fruto de mortiño (Vaccinium floribundum) con capacidad fermentativa y resistencia alcohólica*. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8867/1/UPS-QT06534.pdf

Corsetti, A., & Settanni, L. (2007). *Lactic acid bacteria in sourdough fermentation. Food Research International, 40(5), 539–558.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.11.001

De Vuyst, L., & Vancanneyt, M. (2007). *Biodiversity and identification of sourdough lactic acid bacteria. Food Microbiology, 24(2), 120–127.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.006

Fernández-Canto, M., García-Gómez, M., Boado-Crego, S., Vázquez-Odériz, M., Muñoz-Ferreiro, M., Lombardero-Fernández, M., . . . Romero-Rodríguez, M. (2022). *Element Content in Different Wheat Flours and Bread Varieties. Foods, 11(20), 1–13*. Obtenido de doi.org/10.3390/foods11203176

Gallegos, C., & Caranqui, V. (2023). *Análisis del efecto de la concentración y del tiempo de fermentación de agua de ciruela pasa (Prunus doméstica) sobre las características de calidad de pan de masa madre.[Universidad de Guayaquil]*. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/67083/1/BINGQ-GS-23P17.pdf

Garcia-Hernandez, A., Roldan-Cruz, C., Vernon-Carter, E. J., & y Alvarez-Ramirez, J. (2022). *Effects of leavening agent and time on bread texture and in vitro starch digestibility. Journal of Food Science and Technology, 59(5), 1922–1930.* Obtenido de doi.org/10.1007/s13197-021-05206-1

Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., & Rizzello, C. (2014). *Sourdough lactobacilli and celiac disease. Food Microbiology, 37, 44–53.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.013

Gómez, M., Gutkoski, L., & Bravo-Núñez, Á. (2020). *Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(6), 3241–3265.* Obtenido de https://doi.org/10.1111/1541-4337.12625

Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E., & Oliete, B. (2013). *Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. LWT - Food Science and Technology, 50(2), 545–549.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.015

Gómez-Ortiz, S., Orea-Lara, G., Hernández-Vargas, V., & Gómez-Ruíz, D. (2011). *COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA MEZCLA DE MASA MADRE Y DIRECTA DE HARINAS FUERTES. DIRECTORA GENERAL, 37*. Obtenido de https://web.archive.org/web/20180510130604id_/http://www.ciidirdurango.ipn.mx/Documents/Revista%20Vidsupra/VSV3N1.pdf#page=40

Hammes, W., & Gänzle, M. (1998). *Sourdough breads and related products. In B. J. B. Wood (Ed.), Microbiology of Fermented Foods (Vol. 1, pp. 199–216). Springer.*

Hernandez-Aguilar, C., Dominguez-Pacheco, A., Valderrama-Bravo, C., Cruz-Orea, A., Martínez Ortiz, E., Ivanov, R., & Ordonez-Miranda, J. (2021). *Photoacoustic characterization of wheat bread mixed with Moringa oleifera. Current Research in Food Science, 4(July), 521–531.* Obtenido de doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.008

INEN. (2014). *NTE INEN 6579:2014. Detección de Salmonella spp. Método horizontal.*

INEN, I. E. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 099:2012. Pan. Requisitos. Quito, Ecuador.*

Jerez, C. D. (2022). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PAN EN LA PANIFICADORA "NOVAPAN" DEL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI*. Obtenido de https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/3778/1/JEREZ%20CRUZ%20DANYELI%20LISBETH%20B21%20.pdf

Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K. (2005). *Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. LWT - Food Science and Technology, 39(5), 479–491*. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.03.002

Katsi, P., Kosma, I., Michailidou, S., Argiriou, A., Badeka, A., & Kontominas, M. (2021). *Characterization of Artisanal Spontaneous Sourdough Wheat. Foods, 10, 635.* Obtenido de doi.org/doi.org/10.3390/foods10030635 Academic

Khalid, A., Hameed, A., & Farrukh, M. (2023). *Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality*. Obtenido de 10.3389/fnut.2023.1053196

Lattanzi, A., Minervini, F., & De Angelis, M. (2019). *Antifungal activity of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs. Applied and Environmental Microbiology, 85(3), e01902-18.* Obtenido de https://doi.org/10.1128/AEM.01902-18

Lau, W., Chong, A. Q., Chin, N. L., Talib, R. A., & Basha, R. K. (2021). *Sourdough microbiome comparison and benefits. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 9(7).* Obtenido de https://doi.org/10.3390/microorganisms9071355

Limbad, M., Maddox, N., Hamid, N., & Kantono, K. (2020). *Sensory and physicochemical characterization of sourdough bread prepared with a coconut water kefir starter. Foods, 9(9).* Obtenido de doi.org/10.3390/foods9091165

Mariotti, M., Cappa, C., Picozzi, C., Tedesco, B., Fongaro, L., & Lucisano, M. (2017). *Compressed Yeast and Type I Gluten-Free Sourdough in Gluten-Free Breadmaking. Food and Bioprocess Technology, 10(5), 962–972.* . Obtenido de doi.org/10.1007/s11947-017-1861-z

Montenegro, C. S., & Rodríguez, C. I. (2023). *APLICACIÓN DE LA MASA MADRE EN LA PANADERÍA TRADICIONAL DEL CANTÓN IBARRA*. Obtenido de https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14213/2/02%20LGAS%20074%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf

Moroni, A., Dal Bello, F., & Arendt, E. (2011). *ourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue?. Food Microbiology, 27(6), 749–756.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.12.012

Muñoz, J., Paredes, L., & Ibarra, M. (2021). *Análisis microbiológico de panes comerciales y artesanales en panaderías de la ciudad de Ambato. Revista Científica Agroindustrial, 8(2), 55–63.*

Navarro Guerrero, M. E. (2014). *"ELABORACIÓNDE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONADO CON INULINA" "ELABORACIÓNDE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONAD "ELABORACIÓNDE UN PRODUCTO DE PANIFICACIÓN ADICIONADO CON INULINA"*. Obtenido de https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/288c0a08-f79a-4548-aab6-51833b1c99e1/content

NEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1334:2012. Productos de panadería. Requisitos microbiológicos.* Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec

Palla, M., Blandino, M., Grassi, A., Giordano, D., Sgherri, C., Quartacci, M., . . . Agnolucci, M. (2020). *Characterization and selection of functional yeast strains during sourdough fermentation of different cereal wholegrain flours. Scientific Reports, 10(1), 1–15*. Obtenido de doi.org/10.1038/s41598-020-69774-6

Pautz, L., May, A., Schieber, A., & Hinrichs, J. (2021). *Production of antifungal compounds by sourdough lactic acid bacteria: Potential application for clean label bread. Food Microbiology, 99, 103826.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103826

Ramos, L., Alonso-Hernando, A., Martínez-Castro, M., Morán-Pérez, J. A., Cabrero-Lobato, P., Pascual-Maté, A., . . . Mujico, J. R. (2021). *Sourdough Biotechnology Applied to Gluten-Free Baked Goods: Rescuing the Tradition. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 10(7)*. Obtenido de doi.org/10.3390/foods10071498

Rehman, S., Paterson, A., & Piggott, J. (2006). *Flavour in sourdough breads: a review. Trends in Food Science & Technology*. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.03.006

Renzetti, S., & Arendt, E. (2009). *Effects of proteases on the baking quality of gluten-free breads. Journal of Cereal Science, 50(1), 33–43.* Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.02.004

Ribet, L., Dessalles, R., Lesens, C., Brusselaers, N., & Durand-Dubief, M. (2023). *Nutritional benefits of sourdoughs: A systematic review. Advances in Nutrition, 14(1), 22–29. d*. Obtenido de doi.org/10.1016/j.advnut.2022.10.003

Rosell, C. M. (2011). *The Science of Doughs and Bread Quality. In Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. Elsevier Inc.* . Obtenido de doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7

Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. (2021). *Sensory analysis and consumer research in new product development. Foods, 10(3), 2–5.* Obtenido de doi.org/10.3390/foods10030582

Sousa, T. d., Ribeiro, M., Sabença, C., & Igrejas, G. (2021). *The 10,000-Year Success Story of Wheat.Foods,20,2124.* Obtenido de doi.org/doi.org/10.3390/foods10092124

Suárez, P. D. (2024). *Efecto del tiempo de fermentación de la masa madre sobre las características organolépticas del pan tipo tapado*. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/924bc2de-df38-40f7-8d22-1eb3afe0aae9/content

Troadec, R., Nestora, S., Niquet-Léridon, C., Marier, D., Jacolot, P., Sarron, E., . . . Jouquand, C. (2022). *Effect of leavening agent on Maillard reaction and the bifidogenic effect of traditional French bread. In Food Chemistry (Vol. 393).* Obtenido de doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133387

Zhong, Y., Chen, Y., Mingsheng, P., Hengtong, R., Jiayu, S., Chen, Y., . . . Jiang, y. (2023). *Insights into the Functional Components in Wheat Grain: Spatial Pattern, Underlying Mechanism and Cultivation Regulation.* Obtenido de Plants, 12(11).: doi.org/10.3390/plants12112192

ANEXOS

Anexo 8. Formulaciones posteriores al leudado



Anexo 9. Panes posteriores al horneado



Anexo 10. Proceso de horneado



Anexo 11. Aplicación de la evaluación sensorial



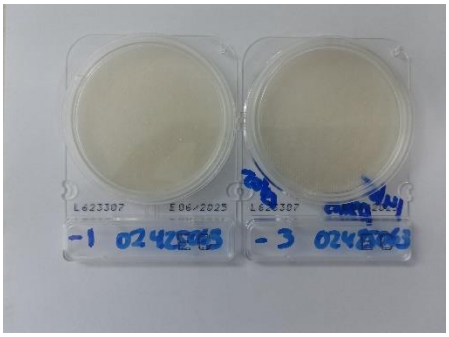
Anexo 12. Proceso posterior al análisis microbiológico del mejor tratamiento (F2-S27).

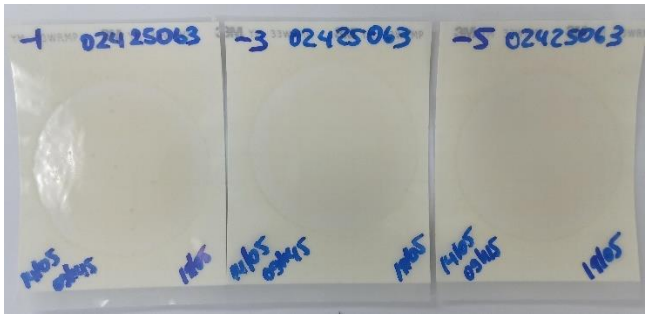












Anexo 13. La determinación de grasa del mejor tratamiento (F2-S27).



Anexo 14. La determinación de ceniza del mejor tratamiento (F2-S27).



Anexo 15. La ficha de catación para la elaboración de pan multicereal tipo Sourdough

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA

CARRERA DE ALIMENTOS

TEMA: "EVALUACION DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE FERMENTACION DE LA MASA MADRE EN LAS PROPIEDADES SENSORIALES DE UN PAN MULTICEREAL TIPO SOURDOUGH"

Nombre:	**Fecha:**

INSTRUCCIONES: Las muestras de nuggets deben consumirse en orden a la codificación que se evidencia en la hoja de catación, debe marcar con una X en la sección que describa de mejor manera cada atributo.

RECOMENDACION: Después de consumir una muestra tomar un sorbo de agua.

Atributo	**Escala**	**S16**	**S27**	**S10**	**S30**
COLOR	Me gusta mucho				
	Me gusta				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta				
	Me disgusta mucho				
OLOR	Me gusta mucho				
	Me gusta				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta				
	Me disgusta mucho				
SABOR	Me gusta mucho				
	Me gusta				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta				
	Me disgusta mucho				
TEXTURA	Me gusta mucho				
	Me gusta				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta				
	Me disgusta mucho				
ACEPTABILIDAD	Me gusta mucho				
	Me gusta				
	No me gusta ni me disgusta				
	Me disgusta				
	Me disgusta mucho				

OBSERVACIONES:

.....

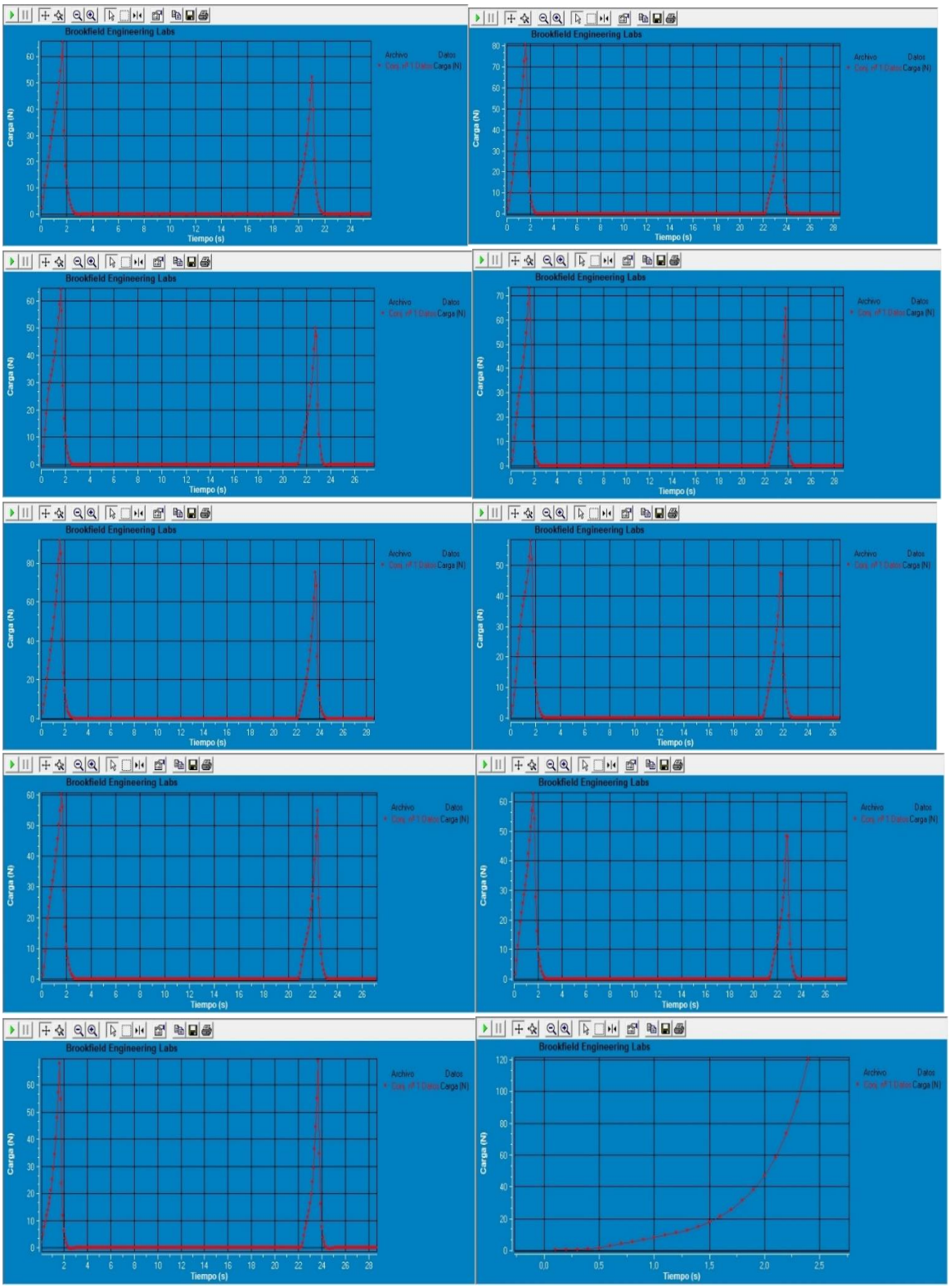
.....

.....

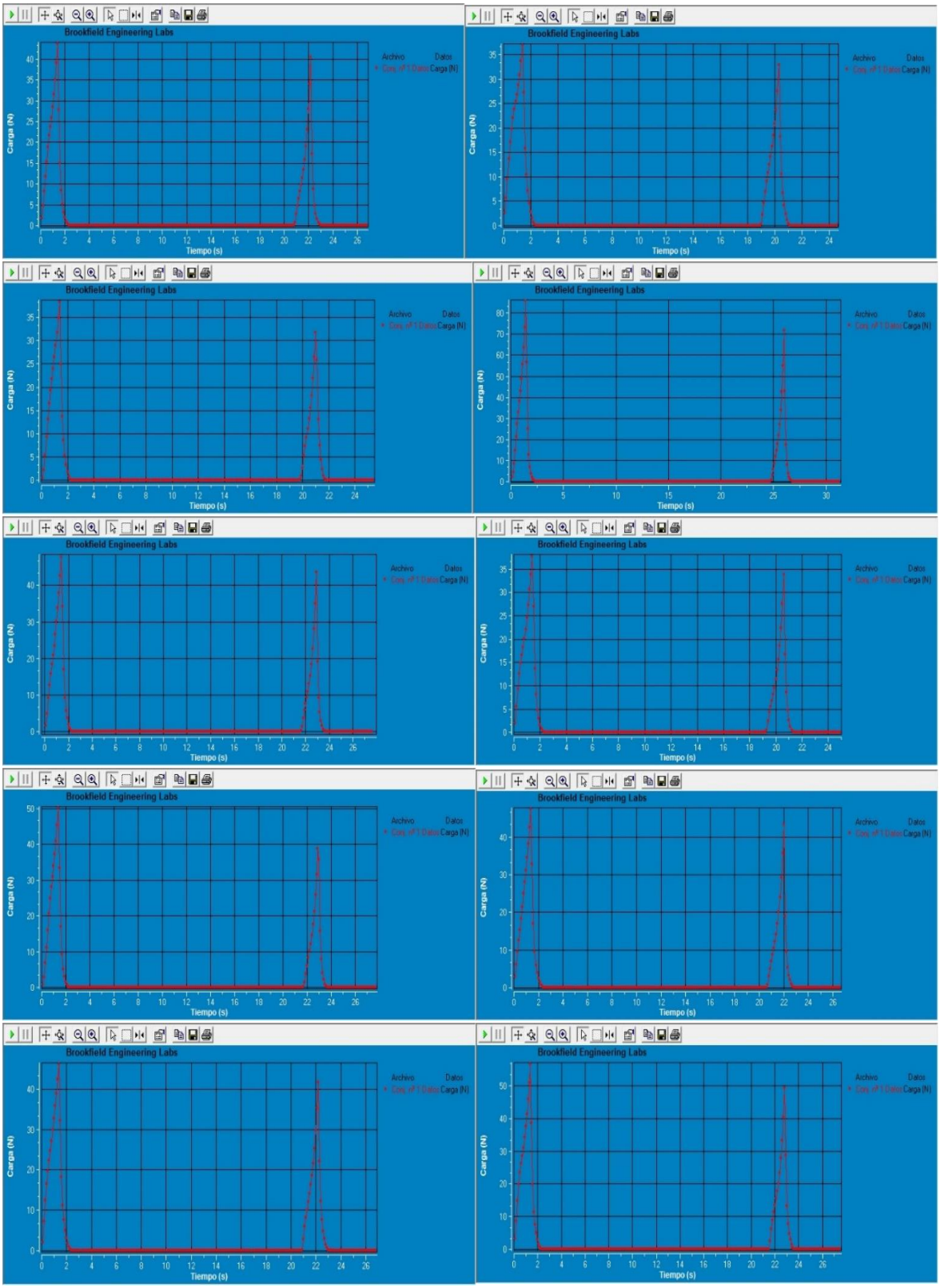
¡Gracias por su colaboración!

Anexo 16. Determinación de la mejor formulación por análisis de textura

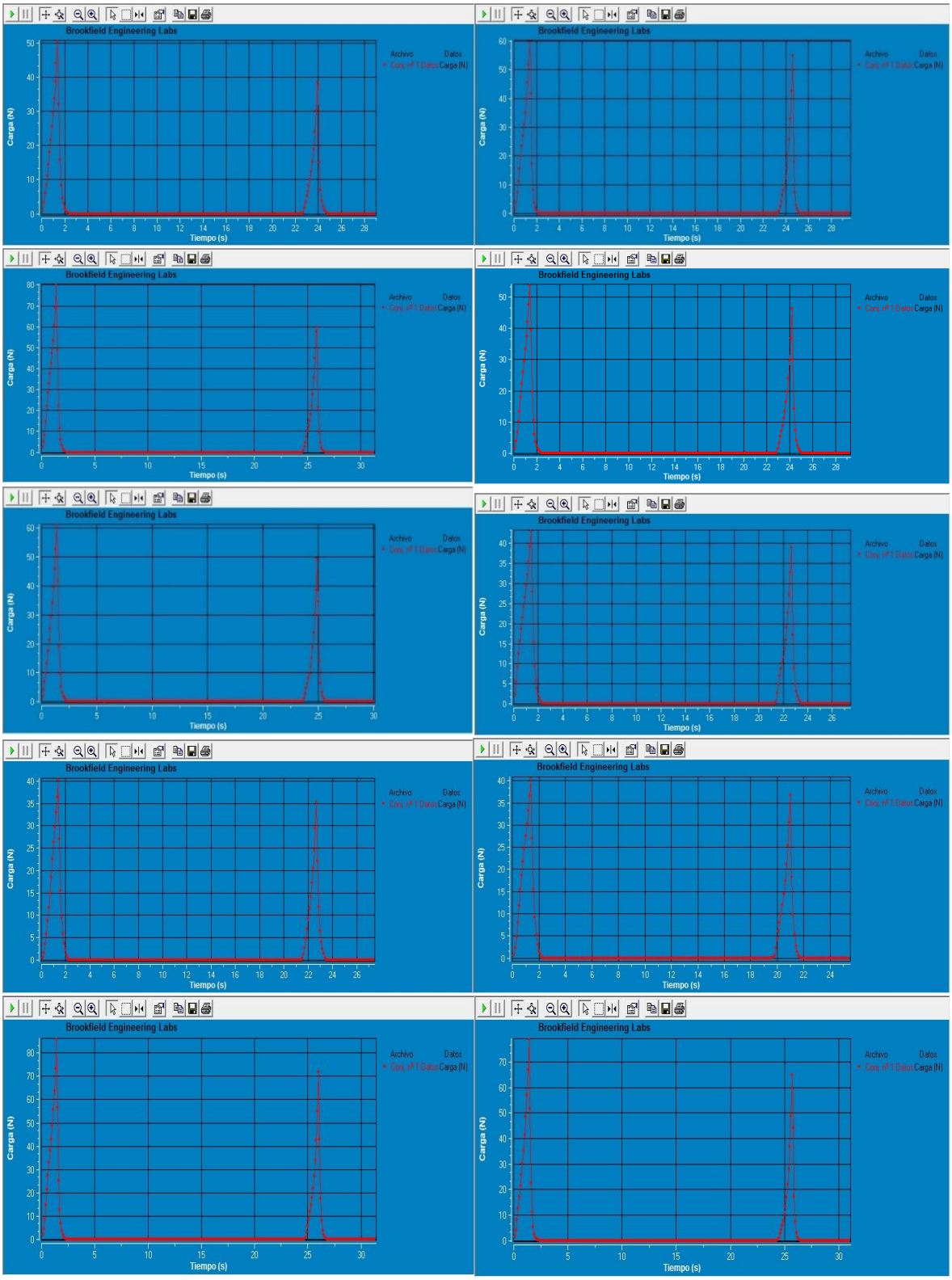
Muestra 1 (S16)



Muestra 2 (S27)



Muestra 3 (S10)



Anexo 17. Certificado de los análisis de laboratorio

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

LACONAL

"Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE con acreditación N°: SAE LEN 10-008"

01605

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 25-024			R01-7.8 03
Solicitud Nº: 25-024			Pág.:1 de 2
Fecha recepción: 14 de mayo de 2025		Fecha de ejecución de ensayos: 14 al 27 de mayo de 2025	
Información del cliente:			
Empresa:		C.I./RUC: 1804371860	
Representante: Soraya Shambi		Tlf: 0999093148	
Dirección: Ambato		Email: sshambi1860@uta.edu.ec	
Ciudad: Ambato			
Descripción de las muestras:			
Producto: Pan multicereal		Peso / Volumen: 200g	
Marca comercial: n/a		Tipo de envase: funda plástica	
Lote: n/a		No de muestras: cuatro	
F. Elb.: n/a		F. Exp.: n/a	
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:		Almac. en Lab: 30 días	
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:		Muestreo por el cliente: 12 de mayo de 2025	

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Pan multicereal tipo sourdough masa 1	02425060	Ninguno	*Textura			
			Dureza (Ciclo 1)	Brookfield	N	62,27
			Deformación según dureza		mm	12,95
			Deformación recuperable		mm	8,03
			Adhesividad		mJ	0,4
			Dureza (Ciclo 2)		N	53,46
			Elasticidad		mm	15,11
			Indice Elasticidad		adimensional	1,01
			Firmeza		N	36,81
			Masticabilidad		mJ	628,9
			Indice Masticabilidad		N	42,11
Pan multicereal tipo sourdough masa 2	02425061	Ninguno	*Textura			
			Dureza (Ciclo 1)	Brookfield	N	45,92
			Deformación según dureza		mm	12,55
			Deformación recuperable		mm	7,9
			Adhesividad		mJ	0,2
			Dureza (Ciclo 2)		N	40,73
			Elasticidad		mm	11,32
			Indice Elasticidad		adimensional	0,89
			Firmeza		N	29,54
			Masticabilidad		mJ	334,2
			Indice Masticabilidad		N	26,35

DIRECTOR DE CALIDAD

UTA

Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los chasquis y Río Payamino
Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador
(593) 32400987 ext. 5517; 5518 http://laconal.uta.edu.ec laconal@uta.edu.ec

Certificado No: 25-024

Pan multicereal tipo sourdough masa 3	**02425062**	**Ninguno**	*Textura			
			Dureza (Ciclo 1)	Brookfield	**N**	**59,27**
			Deformación según dureza		**mm**	**12,54**
			Deformación recuperable		**mm**	**8,17**
			Adhesividad		**mJ**	**0,2**
			Dureza (Ciclo 2)		**N**	**49,68**
			Elasticidad		**mm**	**11,26**
			Indice Elasticidad		**adimensional**	**0,89**
			Firmeza		**N**	**36,01**
			Masticabilidad		**mJ**	**405,6**
			Indice Masticabilidad		**N**	**32,04**
pan multicereal tipo sourdough	**02425063**	**Ninguno**	Cenizas, Gravimetria	PE01-7.2-FQ . AOAC Ed. 22, 2023 923.03	**%**	**2,78**
			Proteína total total, Kjeldhal	PE03-7.2-FQ . AOAC Ed. 22, 2023 2001.11	**%(Nx6,25)**	**11,4**
			*Humedad, Gravimetria	PE02-7.2-FQ. AOAC Ed. 22, 2023 925.10	**%**	**26,5**
			*Grasa	PE13-7.2-FQ. AOAC Ed. 22, 2023 2003.06	**%**	**7,66**
			Fibra dietética total, Gravimetrico-enzimática	AOAC 985.29. Ed. 22, 2023	**%**	**7,63**
			*Carbohidratos Totales, Cálculo	Cálculo	**%**	**44**
			Aerobios Mesófilos, Petrifilm	PE03-7.2-MB AOAC 990.12. Ed. 22, 2023	**UFC/g**	**$1,7X10^2$**
			Coliformes Totales, Compact Dry	PE01-7.2-MB AOAC R.I.: 110402. Ed. 22, 2023	**UFC/g**	**<10**
			E. Coli, Compact Dry	PE01-7.2-MB AOAC R.I.: 110402. Ed. 22, 2023	**UFC/g**	**<10**
			Salmonella, Petrifilm	PE08-7.2-MB AOAC 2014.01 Ed. 22, 2023	**En 25 g**	**No Detectado**
			Mohos, Petrifilm	PE-02-7.2-MB AOAC 997.02. Ed. 22, 2023	**UPM/g**	**<10**
			Levaduras, Petrifilm	PE-02-7.2-MB AOAC 997.02. Ed. 22, 2023	**UPL/g**	**90 (e)**

Conds. Ambientales: 21.3°C; 54,2%HR

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE
El resultado marcado con (e) es valor estimado de contaje, en la dilución más baja

Ing. Gladys Risueño
Directora de Calidad

Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si

Fecha de emisión del certificado: 29 de mayo de 2025

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".