

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Propiedades reológicas y físico químicas de pan con adición de harina de
maíz morado (*Zea mays*).**

Proyecto de investigación y desarrollo

Ricardo Paúl Campoverde Iza

**María Gabriela Vernaza Leoro, PhD.
Directora de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Quito, 06 de julio del 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Propiedades reológicas y físico químicas de pan con adición de harina de
maíz morado (*Zea mays*).**

Ricardo Paúl Campoverde Iza

Nombre del Director del Programa: Lucía Ramírez
Título académico: PhD
Director del programa de: Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Nombre del Decano del colegio Académico: Eduardo Alba
Título académico: PhD
Decano del Colegio: Colegio de Ciencias e Ingenierías

Nombre del Decano del Colegio de Posgrados: Hugo Burgos
Título académico: PhD

Quito, 06 de julio del 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombre del estudiante: Ricardo Paúl Campoverde Iza

Código de estudiante: 00323497

C.I.: 1718741828

Lugar y fecha: Quito, 06 de julio de 2022.

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Gabriela Vernaza por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, depositando su confianza en mí, e impartirme todas sus enseñanzas.

A Danny Navarrete por su colaboración en el análisis de resultados, así como también por su apoyo y consejos durante todo este tiempo.

A Lucía Ramírez, ya que siempre estuvo pendiente de mi trabajo, me ayudó a solucionar problemas, y compartió conmigo su entusiasmo.

También agradezco al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), al facilitar sus instalaciones en las que se desarrolló una parte fundamental de este proyecto.

RESUMEN

El maíz morado además de ser un cultivo culturalmente importante en América Central y del Sur, es una gramínea nutricionalmente atractiva por que además de aportar energéticamente con su almidón, contiene compuestos fenólicos y antocianinas, los cuales tienen un potencial funcional en la salud. El presente proyecto propone la adición de harina de maíz morado en la elaboración de pan de molde, en concentraciones de 8, 16 y 24%, tanto en su estado no germinado, como germinado, que es una etapa de cereales de alto interés por su actividad enzimática. Con estos factores de diseño, se realizó un experimento factorial 3x2 con 3 réplicas, evaluando las características reológicas de la masa mediante el equipo Mixolab, así como las características físico químicas del pan obtenido. Mediante ANOVA, se determinó que ambos factores tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en las variables de respuesta, con excepción de la humedad y actividad de agua A_w , para las cuáles solo influye la cantidad de maíz morado añadido. A partir de las ecuaciones obtenidas de estos análisis de varianza, se realizaron optimizaciones en el software Design Expert dirigidas hacia dos escenarios: la optimización de las características tecnológicas del pan (I), y la maximización del uso de harina de maíz morado (II). Se obtuvo que para el primer escenario (I) se debe usar máximo un 8% de harina de maíz morado no germinado, mientras que para el segundo (II) se debe usar máximo un 18% de esta. Incluso cuando la harina de maíz morado germinada presenta menor retrogradación y aumenta el volumen específico, la optimización obtenida no sugirió su uso, ya que reduce la absorción de agua y debilita a la red de proteínas y estabilidad del gluten. Finalmente, se realizó una evaluación sensorial donde se presentaron las formulaciones con los porcentajes de adición 8 y 18% de harina de maíz morado no germinado, además de un control sin esta harina de maíz. 78 jueces evaluaron las 3 muestras y se obtuvo de manera estadísticamente significativa ($p < 0.05$) un nivel de agrado mayor para el color del pan blanco control y la sensación en boca generada por el pan con ambos porcentajes de adición de maíz morado. Además, les fue indiferente el sabor de las muestras presentadas, sugiriendo que la adición de maíz morado no afecta al sabor del pan. Los resultados obtenidos de este proyecto, demuestran el potencial de uso que tiene la harina de maíz morado como aditivo en productos de panificación.

Palabras clave: maíz morado, germinación, reología de masas, panificación, optimización, evaluación sensorial.

ABSTRACT

Purple or blue corn is a culturally important crop in Central and South America. Moreover, it is a nutritionally attractive cereal because of its high-energy starch, phenolic compounds, and anthocyanins, which have potential as functional compounds for use in human health. Giving the attention in germinated cereals due to its enzymatic activity, the present project proposes the addition of purple corn flour, testing its non-germinated and germinated grain at 8, 16, and 24% concentrations. With these design factors, a 3x2 factorial experiment with 3 replicates was carried out, evaluating the dough rheological characteristics by Mixolab. The physical-chemical characteristics of the bread obtained were analyzed as well. ANOVA analysis determined that both factors have a statistically significant effect ($p < 0.05$) on the response variables, except for moisture and water activity (A_w), for which only the amount of added purple corn had a significant effect. The equations obtained from ANOVA were used to simulate two scenarios in the Design Expert software: the optimization of the technological characteristics of the bread (I) and the maximization of purple corn flour in the mix (II). For the first scenario (I), a maximum of 8% of non-germinated purple corn was suggested. Meanwhile, for the second scenario (II), a maximum of 18% was used. Even when germinated purple corn flour allows less retrogradation and a higher specific volume, the simulation did not suggest its use since it reduces water absorption and weakens the protein network and gluten stability. Finally, a sensorial test was carried out with 3 different bread formulations: 8 and 18% of non-germinated purple corn flour addition and a control bread without any corn flour. 78 judges evaluated the 3 samples and stated, with a $p < 0.05$, that they liked the white color of the control bread and the sensation in the mouth generated by the bread with both 8 and 18% purple corn. They reported no significant acceptability for the taste of the samples, suggesting that adding purple corn flour does not affect the bread taste. The results from this project demonstrate the potential use of purple corn flour as an additive in bread-making.

Keywords: purple corn, germination, dough rheology, baking, optimization, sensorial test.

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	5
Resumen	6
Abstract	7
Tabla de contenido	8
Índice de Tablas.....	9
Índice de Figuras	10
Introducción.....	11
El maíz.....	11
El maíz morado	13
La germinación en cereales	15
Objetivos	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos.....	18
Metodología y diseño de la investigación	19
Material	19
Diseño experimental.....	20
Métodos.....	21
Resultados y discusión	25
Análisis de reología de masas	29
Análisis físico químicos	41
Optimización	46
Evaluación sensorial.....	49
Validación del modelo de optimización	51
Conclusiones	54
Referencias	55
Índice de anexos.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinación de factores y niveles para la elaboración de mezcla de harinas.....	20
Tabla 2. Formulación para pan de molde.....	22
Tabla 3. Métodos y equipos empleados en análisis físico químicos.....	22
Tabla 4. Promedios y desviaciones estándar obtenidos para los parámetros Absorción de Agua, Tiempo de Desarrollo (DDT), Amplitud y Estabilidad.....	25
Tabla 5. Promedios y desviaciones estándar obtenidos para los parámetros C2, C2-C1, C3, C4, C4-C3 y C5.....	25
Tabla 6. Promedios y desviaciones estándar obtenidos para los parámetros Volumen Específico, Humedad, Actividad de Agua, Diferencia de pH al Leudar y pH de Pan Horneado.....	26
Tabla 7. Requisitos de ANOVA para parámetros reológicos y físico químicos.....	27
Tabla 8. Valores p para el efecto de los dos factores sobre las variables de respuesta.....	28
Tabla 9. Ecuaciones del efecto que tiene el porcentaje de adición de maíz morado en los parámetros evaluados, tanto para maíz morado germinado como no germinado.....	46
Tabla 10. Variables de entrada para los escenarios: Características Tecnológicas Óptimas del Pan (I) y Maximización de la Adición del Maíz Morado (II).....	48
Tabla 11. Valores p obtenidos del ANOVA para los factores frente a los atributos evaluados en la evaluación sensorial.....	50
Tabla 12. Comparación de medias de los atributos evaluados cada una de las formulaciones de pan.....	50
Tabla 13. Análisis físico químicos de los panes optimizados.....	52
Tabla 14. Comparación de valores teóricos con valores reales para los parámetros físico químicos del pan elaborado con un 8% de maíz morado.....	53
Tabla 15. Comparación de valores teóricos con valores reales para los parámetros físico químicos del pan elaborado con un 18% de maíz morado.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de interacción de efectos para el parámetro Absorción de Agua.....	30
Figura 2. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el parámetro Tiempo de desarrollo (DDT).....	31
Figura 3. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro Estabilidad.....	32
Figura 4. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el parámetro Amplitud.....	33
Figura 5. Hidrólisis del enlace 1-4 α del almidón por amilasas.....	34
Figura 6. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C2.....	35
Figura 7. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el parámetro C2-C1.....	36
Figura 8. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C3.....	37
Figura 9. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C4.....	38
Figura 10. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C4-C3.....	39
Figura 11. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C5... ..	40
Figura 12. Gráfica de interacción de factores sobre el Volumen Específico.....	41
Figura 13. Gráfica del efecto del porcentaje de maíz morado sobre los parámetros (a) Humedad y (b) Actividad de Agua A_w	43
Figura 14. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el descenso del pH después de la fermentación.....	44
Figura 15. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el pH en el pan ya horneado.....	45

INTRODUCCIÓN

El maíz

El maíz es considerado el tercer grano más cultivado en el mundo, después del trigo y el arroz, correspondiéndole más del 5% de las áreas cultivadas a nivel global (FAO, 2018). Es así que, en entre el año 2020 y 2021 se registró una producción de maíz de más de 1120 millones de toneladas métricas, siendo los principales productores Estados Unidos, China y Brasil (WAP, 2022). Esta especie es de gran interés agronómico, al tener una alta tasa de actividad fotosintética y un elevado potencial de producción de carbohidratos por unidad de área por día (García & Serna, 2019); razón por la cual es uno de los cultivos base para la alimentación y consumo, además de usarse para fermentación en la obtención de bio-combustibles (Khodarahmpour, 2012).

Se ha determinado que el centro de origen del maíz, es la actual área de México, dónde la planta denominada como teosinte, habría sido domesticada hace más de 8000 años (Staller, 2009). Se sugiere que una vez cultivado, los indígenas americanos de la región iniciaron los primeros cruces de individuos teosintes, y no fue hasta varios miles de años después que, obtuvieron mazorcas de 12, 14 y 16 filas de granos (García & Serna, 2019). Fue así como el maíz pasó a ser un componente importante en la alimentación de las culturas de América Central, de manera que era llevado a dónde migraban estas poblaciones humanas, expandiendo su cultivo a través de los Andes (Pedreschi & Cisneros, 2007).

Se sugiere que, desde pequeñas culturas precolombinas, hasta el Imperio Inca, también habían incorporado al maíz dentro de su dieta, y además, este fue parte importante de su cultura y economía, al usar sus mazorcas como moneda en actividades de trueque (Perry et al., 2006). El maíz se cultivo con tal frecuencia y extensión en el área andina que, países como Perú, han

llegado a ser centros de diversidad del maíz (Bedoya et al., 2017). De hecho, al analizar especímenes de Ecuador, Perú, Chile, Bolivia y Argentina, se han registrado hasta 146 variedades de maíz en los Andes, cantidad que es mayor a las 98 variedades descritas en Mesoamérica (Salvador & Clerici, 2020).

Perteneciente a la familia de las gramíneas, el maíz es una planta que crece en forma de tallo sin ramificaciones, extendiéndose desde 1 hasta 4 metros de altura, con hojas que puede llegar hasta los 90 centímetros de largo (Blake, 2015). En una misma planta de maíz se presentan flores tanto masculinas como femeninas, siendo estas últimas, las que se convierten en mazorcas de tamaño variable que pueden albergar desde 16 hasta 30 filas de semillas o granos, lo cual le permite obtener desde 600 a 1000 semillas por cada individuo (Sammán et al., 2022).

El endospermo es la parte del grano de maíz de dónde se obtiene la mayor cantidad de almidón (Alves, 2019). Dado que este último influye en las características presentes en la harina de maíz, se lo ha usado para clasificar diferentes variedades, tal es el caso del maíz ceroso, el cual se encuentra compuesto por más de un 97% de amilopectina (Narváez et al., 2007). Esto difiere del 70% de amilopectina y 30% de amilosa encontrando comúnmente en el maíz duro, que está conformado en su mayoría por gránulos de almidón pequeños que contienen bajos niveles de humedad (Kaul et al., 2019). En contraste, se establece que los gránulos de un almidón suave son grandes, y corresponden al maíz harinoso, el cual tiene una mayor extensión de cultivo en las zonas Andinas como de Centroamérica, y siendo este el que presenta una variedad de colores que además del amarillo, presentan tonos rojos, azules y negros (Narváez et al., 2007).

El maíz morado

En la región andina, la variedad de maíz que presenta una coloración morada o negruzca en su mazorca, es culturalmente relevante ya que, su harina es la base para la elaboración de bebidas típicas como la chicha morada en Perú, y la colada morada en Ecuador (Armijos et al., 2018; Guerrero et al., 2021). En esta última, se sugiere que los pueblos nativos del Ecuador la usaban para evocar la sangre, mientras que los españoles la mantuvieron para representar el luto en las celebraciones que conmemoran a los difuntos, tradición que se mantiene hasta la fecha (Mateos, 2017). De hecho, estudios antropológicos afirman que en el territorio ecuatoriano el maíz morado se usa principalmente para la elaboración de estas *coladas*, mientras que culturalmente no es frecuente su uso para la elaboración de productos de panificación, repostería, ni tampoco es se ha extraído colorantes de estas mazorcas para textiles o similares (Albala, 2011; Armijos et al., 2018; Warrior, 2015).

Tanto en el maíz morado, como en las otras variedades de maíces pigmentados, su coloración se debe a la presencia de compuestos fitoquímicos, los cuales son producto del metabolismo secundario de la planta (López et al., 2009). Se lo determina así ya que sus productos no se consideran primordiales para la nutrición de la planta, sin embargo, son una respuesta al estrés abiótico o biótico en el que se desarrolla la planta (Heinonen, 2009). En el caso de los Andes, debido a factores como las altas elevaciones, baja cantidad de nubes, y una delgada capa de ozono, se ha descrito que esta zona es expuesta niveles extremos de radiación ultravioleta UV-B (Cabrol et al., 2014). Al ser esta el área característica dónde se encuentra el maíz morado, se sugiere que la producción de compuestos flavonoides como antocianinas y flavonoles son una respuesta adaptativa al estrés por la intensa radiación y bajas temperaturas de los Andes (Martínez et al., 2014).

En el caso del maíz morado, se sugiere que la intensa coloración oscura se debe en su mayor parte a antocianinas presentes en la tusa, pericarpio y capa aleurona (Villacrés et al., 2019). Entre estos compuestos se encuentran principalmente la antocianina cianidina-3- β -glucosídica seguida de la pelargonidina-3-glucosídica, la peonidina-3-glucosídica, y sus correspondientes formas maltonadas (Pedreschi & Cisneros, 2007; Mattioli et al., 2020). Las antocianinas, además de ser son compuestos que protegen a las plantas contra la radiación, también se les ha atribuido una variedad de actividades biológicas para el ser humano, como antimutagénicas, anticancerígenas, antioxidantes, antiinflamatorias, además de propiedades cardío y vaso protectoras (Xu et al., 2021; Francavilla & Joye, 2021).

El maíz morado también es sujeto de estudio por su contenido de otros compuestos bioactivos entre ellos carotenoides, flavonoides, y compuestos fenólicos como los ácidos ferúlico, clorofénico y caféico (López et al., 2009; Žilić et al., 2012; Salvador & Clerici, 2020). En Ecuador, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, realizó un estudio comparativo de los compuestos antioxidantes en la variedad de maíz morado *Sangre de Cristo* y la variedad mejorada *INIAP-199*, determinando que esta última presenta fenoles, antocianinas y carotenoides totales en mayor cantidad, con valores de 276,24 mg.100g⁻¹, 241,97 mg.100g⁻¹, y 281,42 ug.100g⁻¹, respectivamente en el grano crudo (Villacrés et al, 2019). Es así que, esta variedad de maíz es de interés para su incorporación en matrices alimentarias, aunque se ha determinado que dependiente del procesamiento del grano, estos pueden perder alrededor del 50% de estos compuestos activos (Villacrés et al, 2019), probablemente porque son sensibles a cambios de pH, elevadas temperaturas y la exposición constante a la luz (Hocine et al., 2018).

Además de los compuestos mencionados, el maíz morado presenta diferencias en su almidón en comparación al maíz blanco (Mansilla et al., 2020). Al realizar un análisis del

tamaño de los gránulos de almidón, se determinó que el almidón de maíz azul está compuesto por una fracción de gránulos pequeños ($< 10 \mu\text{m}$) 10% mayor que la presente en el maíz blanco, lo cual se evidencia en el endospermo maíz blanco al ser este más vítreo en comparación al endospermo harinoso del maíz morado (Utrilla et al., 2010). Esto también se ve reflejado en el contenido de amilosa, el cual es menor para el maíz morado en aproximadamente un 4%, comparándolo con el maíz blanco, lo cual se considera consecuente ya que según Shinde et al., los gránulos de almidón de mayor tamaño contienen una mayor cantidad de amilosa (Shinde et al., 2003). Esta diferencia tendría su origen desde la biosíntesis del almidón en cada una de estas variedades, que provocaría una diferencia en parámetros como la temperatura de gelatinización, los cuales son importantes para su uso en la industria de panificación y repostería (Utrilla et al., 2010).

La germinación en cereales

La germinación es un proceso en el que las semillas inician su desarrollo hacia una plántula, para lo cual se desencadenan actividades enzimáticas que provocan la hidrólisis de compuestos de modo que sus productos den energía para el desarrollo de la semilla (Singh et al., 2015). En la semilla, la capa aleurona y el escutelo son las estructuras responsables de la producción de hidrolasas, las cuales permiten metabolizar las biomoléculas de reserva para que se conviertan en la energía que requiere la planta para su crecimiento; paralelo a esto, en el embrión del grano se producen hormonas como las giberelinas que inducen de manera directa la producción de α amilasas, mientras que otras hormonas también desencadenan la producción y acción de enzimas como proteasas y glucanasas (Domínguez & Cejudo, 2014). De hecho, se ha identificado que la actividad de α y β amilasas en el maíz, se detecta en el embrión y además

que la actividad de estas es hasta 2.87 veces mayor en granos de maíz germinados (Mei & Song, 2008).

Las etapas tempranas de la germinación se caracterizan por la actividad de fitasas que producen fósforo inorgánico para la planta, mientras que se da la degradación de carbohidratos complejos como los β glucanos por las β glucanasas y la hidrólisis del almidón presente en la semilla por amilasas (Brooks & Celli, 2019). Esta última, genera azúcares simples que son rápidamente transformadas en energía por la planta, y esta actividad enzimática consecuentemente altera la morfología y reduce el tamaño de los gránulos de almidón (Ma et al., 2020). Por otro lado, en etapas avanzadas de la germinación, la acción de las xilanasas se incrementa y permite la expansión de la pared celular al degradar los arabinosilanos, teniendo una actividad más intensa en estructuras como el endospermo y la capa aleurona (Guzmán et al., 2019).

Al avanzar la germinación, también progresa la senescencia del cotiledón y se desencadena la descomposición de cuerpos lipídicos como triacilglicérols, lo cual es mediado por lipasas, teniendo como producto glicerol y ácidos grasos libres, muchos de ellos también usados como fuente de energía para el desarrollo de la futura planta (Clarke et al., 2003). La mayor parte de proteínas de la semilla se encuentra en el endospermo, y en la germinación entran en proteólisis por una variedad de proteasas principalmente (Singh et al., 2015). Los productos obtenidos a partir de este metabolismo son aminoácidos que posteriormente serán usados para una síntesis *de novo* de proteínas, las cuales tienen distintas funcionalidades para las siguientes etapas del desarrollo vegetal. Una de estas es la cisteína, la cual tiene funciones estructurales y de defensa, y es inducida por la presencia del ácido giberélico en la capa aleurona durante las etapas finales de la germinación (Szewińska et al., 2016).

Se sugiere que, a medida que avanza la germinación, se tiene una disminución significativa de proteína, fibra, cenizas y de contenido de grasa en los cereales (Kaur & Gill, 2020). Como resultado de estos procesos, además de tener una mayor cantidad de azúcares libres, también se tiene una alta cantidad de oligosacáridos que tienen un potencial prebiótico ya que promovería el desarrollo de bifidobacterias en la microflora intestinal (Samman et al., 2008). Además, también se ha determinado *in vitro* que una mayor cantidad de aminoácidos, producto de la proteólisis, permiten una digestión más rápida (Gong et al., 2022). Además, los cereales germinados también son de gran interés en la alimentación y nutrición por compuestos bioactivos que al incluirlos en la dieta representarían beneficios para la salud, entre ellos compuestos fenólicos, potenciales antioxidante, antiinflamatorios (Dimberg et al., 1993). En el caso del maíz morado, se ha identificado ácido γ -aminobutírico (Singh, 2013). el cual tiene propiedades vaso reguladoras (Chung et al., 2009).

A la fecha, no se ha reportado el efecto que la adición de maíz morado tendría sobre la reología de masas. El equipo Mixolab ofrece un análisis que abarca diferentes parámetros reológicos de masas, ya que este mide el torque generado por la harina hidratada a través de lo que serían diferentes etapas de la elaboración del pan (Rosell et al., 2007).

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar el efecto de la adición de maíz morado germinado y no germinado en las propiedades reológicas y fisicoquímicas de pan de molde.

Objetivos específicos

-Analizar el comportamiento reológico de diferentes mezclas de harina de maíz morado germinado y sin germinar.

-Analizar los parámetros físico químicos de pan de molde con adición de harina de maíz morado germinado y sin germinar.

-Seleccionar formulaciones con características adecuadas para obtener pan de calidad y maximizando el uso de maíz morado.

-Realizar una prueba afectiva sensorial de las formulaciones seleccionadas.

METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Material

En el presente proyecto se usó maíz morado, *Zea mays*, variedad INIAP-199 “Racimo de Uva” (INIAP). El maíz seco obtenido, se dividió en dos partes para su procesamiento, de modo que, mientras una de ellas pasó directamente a molienda, la otra pasó por un proceso de germinación. Para este último, se remojó el grano con agua potable por 24 horas, posteriormente se retiró el exceso de agua, y se introdujo en una cámara de germinación, donde el maíz permaneció por 4 días a 16 °C y 90% de humedad relativa. El proceso de germinación fue realizado por el personal del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la Estación Experimental Santa Catalina ubicado en Cutuglagua, Pichincha. Posteriormente, se liofilizó este maíz y se molió tal como se expuso anteriormente, para su posterior aplicación en la mezcla.

Tanto el maíz no germinado como el germinado fueron triturados directamente en un molino pulverizador, marca GUTSTARK, modelo DQ2000. La harina obtenida pasó por un tamiz de 60 mesh (0,250 mm). Los sólidos retenidos en el tamiz fueron triturados nuevamente en el molino eléctrico para reducir fragmentos de gran tamaño no triturados por el equipo, los cuales se volvieron a tamizar. Esto se repitió tres veces y los sólidos finalmente retenidos en el tamiz, fueron separados de la harina de maíz morado a usarse en el proyecto. Los procesos de molienda de maíz germinado y no germinado se ejecutaron de forma separada, y de la misma manera, la harina obtenida fue almacenada y etiquetada respectivamente.

La harina de trigo utilizada fue Gallitop (Moderna Alimentos, Quito-Ecuador) con las siguientes características: humedad 14.2%, gluten húmedo 36,54%, gluten húmedo 12,01%, Falling Number 333 s, cenizas 0,59%, absorción 64,00%, estabilidad 14,18 min y acidez 0,08%.

La grasa utilizada fue manteca vegetal comestible, de la marca SabroPan (La Fabril, Montecristi-Ecuador), mientras que la levadura fresca fue de la marca Fleischmann (Fleischmann, Lima-Perú). El resto de los ingredientes como sal y azúcar fueron obtenidos en el mercado local.

Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 3x2. Los factores de estudio fueron: germinación y sustitución parcial de la harina de trigo por harina de maíz morado. Los niveles utilizados para la germinación fueron: maíz morado germinado y maíz morado no germinado. Por otra parte, los niveles del segundo factor fueron 8%-92%, 16%-84% y 24%-76% (harina de maíz morado-harina de trigo). Se realizaron 6 tratamientos con 3 réplicas cada uno, totalizando 18 unidades experimentales. Se elaboraron mezclas de harinas, de acuerdo a los factores y niveles descritos, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Combinación de factores y niveles para la elaboración de mezcla de harinas.

Maíz morado germinado	% Harina de maíz morado	% Harina de trigo
No	8	92
No	16	84
No	24	76
Si	8	92
Si	16	84
Si	24	76

Métodos

Análisis de la Reología de Masas

El equipo Mixolab (Chopin Technologies) fue usado para analizar la reología de las mezclas de harinas realizadas previamente utilizándose el método *Chopin+*, el cuál es recomendado al analizar mezclas de harina de trigo con harina de maíz (Chopin Technologies, 2012). La prueba consiste en colocar las mezclas de harina con humedad conocida e inmediatamente el equipo inyecta una cantidad de agua determinada para alcanzar un torque de la masa de 1.1 Nm, para posteriormente aplicar tiempos y temperaturas que simulen las condiciones por las que pasa la masa de pan para ser elaborado. Al finalizar la prueba de Mixolab se determinaron los siguientes parámetros: Absorción de Agua (%), Tiempo de Desarrollo de la Masa (min), Estabilidad (min), Amplitud (Nm), C2 o debilitamiento de las proteínas, C3 o gelatinización del almidón, C4 o estabilidad del gel y C5 que es un indicador de la retrogradación. Estos datos permiten calcular los parámetros C2-C1 y C4-C3, que son indicadores de la fuerza de la red proteica y de la actividad de la amilasa respectivamente.

Elaboración del Pan

Se elaboró pan de molde con la metodología de masa sin tiempo. Se elaboraron 18 lotes de pan, cada uno correspondiente a las mezclas de harina previamente descritas (Tabla 1). Se empleó la siguiente formulación en base panadera.

Tabla 2. Formulación base para pan de molde

Ingrediente	Porcentaje
Harinas (mezcla)	100%
Agua	63%
Grasa	5%
Azúcar	7%
Sal	2%
Leche en polvo	2%
Levadura	4%

Una vez obtenida la masa, se colocaron porciones de 450 gramos en moldes rectangulares de aluminio y se ingresó a la cámara de leudo por 45 minutos, la cual tenía una temperatura de 40 °C y una humedad relativa del 85 %. Finalmente, se ingresaron los moldes al horno a 160 °C por 40 minutos.

Análisis Físico Químicos

Durante la elaboración del pan, se analizó el pH de la masa, antes y después del proceso de leudado. Este y los otros análisis físico químicos se realizaron para cada uno de los 18 lotes de pan elaborados, tal como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos y equipos empleados en análisis físico químicos

Análisis	Método	Equipo
pH	02-52.01 (AACCI, 2010)	pH/ION Seven Compact (Mettler Toledo)
Aw	1878 (ISO, 2017)	HygroPalm HP23-A (Rotronic)
Humedad	44-15.02 (AACCI, 2010)	Estufa MMM Medcenter (Ecocell)
Volumen Específico	10-05.05 (AACCI, 2010)	Balanza Digital PB3001-S (Mettler Toledo)

Para cada una de las 18 muestras, los análisis de pH, Aw, y Volumen específico se realizaron por duplicado, mientras que el análisis de humedad se realizó por triplicado.

Análisis Estadísticos

Los resultados obtenidos tanto de reología de masas como los físico químicos fueron analizados por medio del análisis de varianza ANOVA, el cual se ejecutó en el software Minitab™. En este también se realizó las pruebas estadísticas para residuos, las cuales son requisitos para el análisis de ANOVA: Anderson Darling para normalidad de los datos, Levene y Comparaciones Múltiples para igualdad de varianzas, y Coeficiente de Correlación para independencia de los datos.

Posteriormente se usó el software Design Expert™ para realizar un análisis de optimización tomando en cuenta dos escenarios. El primero fue un modelo basado en obtener las características tecnológicas ideales para un pan de molde. El segundo se basó en maximizar el uso de la harina de maíz morado, manteniendo a los parámetros correspondientes a las características tecnológicas del pan en rango. Las formulaciones escogidas pasaron a la evaluación sensorial, incluyendo una muestra control (sin adición de harina maíz morado).

Evaluación Sensorial

Se realizó una evaluación sensorial afectiva con 78 participantes entre 19 a 58 años que se llevó a cabo en el Aula de Evaluación Sensorial de la Universidad San Francisco de Quito.

Los participantes evaluaron 3 muestras: 2 correspondientes a las obtenidas del modelo de optimización, y 1 correspondiente al pan blanco control. Se realizó un consentimiento

informado, el cuál explicó al consumidor que el producto a consumir contenía gluten, en este caso, y de ser intolerante o alérgico a este compuesto, no debió realizar la evaluación. Además, también se solicitó información demográfica de edad y género.

A cada muestra se le asignó un código de 3 dígitos. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos (1 *Me disgusta en extremo*, 5 *Ni me gusta*, *Ni me disgusta* y 9 *Me gusta en extremo*). Las muestras fueron presentadas de manera monódica y siguiendo un orden aleatorio para evitar sesgos al presentar las muestras con algún tipo de patrón.

Durante la primera etapa de la sesión, se evaluó el aroma, la sensación en boca, el sabor y el gusto total; esto en presencia de luz roja. De esta manera, se redujo la posibilidad de que el participante identifique qué muestra de pan fue realizada con harina de maíz morado, lo cuál evita sesgos por ideas preconcebidas que el consumidor puede generar solo al ver el color del pan.

La segunda etapa consistió en presentar a los participantes las 3 muestras en presencia de luz blanca, y que indiquen su nivel de satisfacción para el atributo de color en una escala hedónica de 9 puntos. Nuevamente, las muestras se presentaron de manera codificada y aleatoria.

Una vez con los datos tabulados de la evaluación sensorial, estos se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), con el 5% de significancia, en el cual se bloqueó a los jueces y al orden de presentación, de modo que se identifique algún un efecto en la variable de respuesta. Para aquellas características en las que se obtuvo un valor $p < 0.05$, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias (Test de Tukey).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 4 y 5 se presentan los datos obtenidos para cada uno de los parámetros de reología de masas.

Tabla 4. Resultados obtenidos para los parámetros Absorción de Agua, Tiempo de Desarrollo (DDT), Amplitud y Estabilidad

Maíz morado germinado	% Harina de maíz morado	Absorción de Agua	Tiempo de Desarrollo (DDT)	Amplitud	Estabilidad
No	8	59,90 +/- 0,17	5,87 +/- 0,17	0,08 +/- 0,01	9,87 +/- 0,18
No	16	58,77 +/- 0,06	5,90 +/- 0,23	0,09 +/- 0,01	9,75 +/- 0,15
No	24	57,93 +/- 0,06	2,80 +/- 0,97	0,09 +/- 0,02	8,71 +/- 0,97
Si	8	57,87 +/- 0,15	1,18 +/- 0,17	0,09 +/- 0,01	5,90 +/- 0,79
Si	16	57,80 +/- 0,17	1,02 +/- 0,10	0,10 +/- 0,00	2,88 +/- 1,31
Si	24	57,07 +/- 0,06	0,75 +/- 0,08	0,12 +/- 0,01	1,70 +/- 0,34

Media +/- desvío estándar (n=3)

Tabla 5. Resultados obtenidos para los parámetros C2, C2-C1, C3, C4, C4-C3 y C5

Maíz morado germinado	% Harina de maíz morado	C2	C2-C1	C3	C4	C4-C3	C5
No	8	0,42 +/- 0,02	0,66 +/- 0,02	1,40 +/- 0,03	1,05 +/- 0,02	0,35 +/- 0,02	1,31 +/- 0,05
No	16	0,42 +/- 0,02	0,67 +/- 0,02	1,43 +/- 0,02	1,01 +/- 0,04	0,42 +/- 0,02	1,26 +/- 0,06
No	24	0,42 +/- 0,01	0,70 +/- 0,04	1,49 +/- 0,03	1,03 +/- 0,03	0,46 +/- 0,00	1,32 +/- 0,05
Si	8	0,28 +/- 0,03	0,82 +/- 0,02	1,02 +/- 0,04	0,27 +/- 0,03	0,75 +/- 0,02	0,18 +/- 0,03
Si	16	0,22 +/- 0,03	0,89 +/- 0,05	0,88 +/- 0,04	0,16 +/- 0,02	0,72 +/- 0,02	0,06 +/- 0,03
Si	24	0,19 +/- 0,01	0,94 +/- 0,01	0,77 +/- 0,02	0,10 +/- 0,02	0,67 +/- 0,03	0,03 +/- 0,02

Media +/- desvío estándar (n=3)

De la misma manera que para los parámetros de reología, en la Tabla 3, se presentan los promedios y desviaciones estándar de los resultados obtenidos para los parámetros físico químicos evaluados en el pan de molde horneado, con la excepción del parámetro Diferencia de pH al Leudar, el cuál fue determinado en masa cruda antes y después del proceso de leudo.

Tabla 6. Resultados obtenidos para los parámetros Volumen Específico, Humedad, Actividad de Agua, Diferencia de pH al Leudar y pH de Pan Horneado.

Maíz morado germinado	% Harina de maíz morado	Volumen Específico	Humedad	Actividad de Agua Aw	Diferencia de pH al Leudar	pH Pan Horneado
No	8	3,13 +/- 0,04	37,59 +/- 0,88	0,916 +/- 0,005	0,07 +/- 0,02	5,59 +/- 0,01
No	16	3,03 +/- 0,07	38,50 +/- 0,32	0,920 +/- 0,005	0,11 +/- 0,02	5,58 +/- 0,02
No	24	2,99 +/- 0,08	39,05 +/- 2,25	0,928 +/- 0,006	0,12 +/- 0,03	5,56 +/- 0,01
Si	8	3,32 +/- 0,07	37,20 +/- 1,41	0,916 +/- 0,006	0,13 +/- 0,02	5,51 +/- 0,01
Si	16	3,38 +/- 0,07	36,86 +/- 1,34	0,924 +/- 0,008	0,14 +/- 0,01	5,47 +/- 0,02
Si	24	3,52 +/- 0,03	40,34 +/- 1,18	0,927 +/- 0,008	0,18 +/- 0,03	5,43 +/- 0,02

Media +/- desvío estándar (n=3)

Los resultados de las 18 corridas experimentales totales fueron analizados mediante ANOVA. En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para las pruebas mediante las se verifica que se cumpla con los requisitos para realizar un análisis de varianza ANOVA: normalidad, igualdad de varianza, e independencia de los datos (Montgomery, 2017).

Para la prueba de normalidad de los datos, se corrió la prueba Anderson Darling para los residuos. La hipótesis nula de esta prueba es que los datos siguen una distribución normal (Minitab, 2018). Es así que, al obtener valores p superiores a 0.05 en esta prueba, no se rechaza esta hipótesis con una probabilidad del 5% de cometer el error tipo 1, lo cual se evidenció en 14 de los 15 parámetros analizados.

Según la prueba de Anderson Darling, el parámetro DDT no cumple con una distribución normal. Raymaekers & Rousseeuw sugieren que frente a datos que se desvían de la normalidad, una de las alternativas para transformar los datos es la transformación Box-Cox y la de Jhonson (Raymaekers & Rousseeuw, 2021). Sin embargo, al usar la primera de estas alternativas en el Software Minitab, no se consiguió la normalidad de los datos, mientras que la transformación de Jonhson, permitió que los datos se ajusten a una distribución normal, como se demuestra en los valores de Anderson Darling para DDT en la Tabla 7.

Tabla 7. Requisitos de ANOVA para parámetros reológicos y físico químicos.

Parámetros evaluados	Normalidad de los datos	Igualdad de Varianzas	Independencia de Datos
	Anderson Darling	Levene	Coefficiente de Autocorrelación
Absorción de Agua	0,633	0,904	Sin Autocorrelación
DDT	0,319	0,668	Sin Autocorrelación
Amplitud	0,114	0,891	Sin Autocorrelación
Estabilidad	0,109	0,735	Sin Autocorrelación
C2	0,721	0,869	Sin Autocorrelación
C2-C1	0,376	0,771	Sin Autocorrelación
C3	0,440	0,929	Sin Autocorrelación
C4	0,540	0,956	Sin Autocorrelación
C4-C3	0,122	0,942	Sin Autocorrelación
C5	0,898	0,875	Sin Autocorrelación
Volumen Específico	0,536	0,845	Sin Autocorrelación
Humedad	0,745	0,851	Sin Autocorrelación
Actividad de Agua	0,262	0,988	Sin Autocorrelación
Diferencia de pH Masa	0,294	0,956	Sin Autocorrelación
pH de Producto Final	0,598	0,931	Sin Autocorrelación

Para la prueba de igualdad de varianzas se realizó una prueba de Levene, la cual es sugerida para un set de datos menor a 20 y evita errores frente a distribuciones con colas pesadas (Minitab, 2018). Para esta prueba, todos los parámetros presentaron valores p superiores a 0.05, de modo que no se rechazó la hipótesis nula de la prueba de Levene: Todas las varianzas son iguales.

La independencia de los datos se demostró mediante una prueba de autocorrelación, la cual evalúa si es que el efecto encontrado en las corridas experimentales está relacionados con el orden en el que se ejecutaron (Minitab, 2018). Si bien este parámetro no da un resultado numérico, genera una gráfica de control estadístico, en la cual, si la línea de tendencia se mantiene dentro de límites establecidos, no existe correlación entre los datos y son independientes. Todos los datos de los parámetros analizados se mantuvieron dentro de los límites para esta prueba, corroborando su independencia.

En el presente proyecto se permitió una probabilidad de cometer el error tipo 1 del 5%, ya que la mayoría de los estudios sobre adición de harinas y reología de masas lo usan (Saavedra, 2021, Schmiele, 2017, Tran et al., 2020). De esta manera, se considera que valores p menores a 0.05, indican de manera estadísticamente significativa, un efecto sobre la variable de respuesta analizada.

Tabla 8. Valores p para el efecto de los dos factores sobre las variables de respuesta.

Parámetros evaluados	Germinación	% de Harina de Maíz Morado	Interacción entre Factores	Factor con Efecto <0.05
	A	B	A*B	
Absorción de Agua	<0,001	<0,001	<0,001	A*B
DDT	<0,001	0,003	0,450	A y B
Amplitud	0,005	0,013	0,359	A y B
Estabilidad	<0,001	<0,001	0,007	A*B
C2	<0,001	0,003	0,004	A*B
C2-C1	<0,001	0,001	0,073	A y B
C3	<0,001	0,002	0,004	A*B
C4	<0,001	<0,001	0,002	A*B
C4-C3	<0,001	0,273	<0,001	A*B
C5	<0,001	0,016	0,020	A*B
Volumen Específico	<0,001	0,470	0,001	A*B
Humedad	0,708	0,025	0,214	B
Actividad de Agua	0,659	0,025	0,849	B
Diferencia de pH Masa	<0,001	0,006	0,340	A y B
pH de Producto Final	<0,001	<0,001	0,091	A y B

De manera global, la interacción entre los factores porcentaje de maíz morado y estado de germinación, tuvo un efecto estadísticamente significativo para 8 de los 15 parámetros analizados, como se muestra en la Tabla 8. Una interacción implica que el efecto ejercido por el factor A, depende del nivel en el que se encuentre B, por lo que se debe tomar en cuenta los niveles de los dos factores (Montgomery, 2017). Por otro lado, tanto el factor porcentaje de maíz morado, como germinación, influyeron significativa, pero independientemente, en la variable de respuesta de 5 de los parámetros. Para los parámetros humedad y actividad de agua, solo el factor porcentaje de maíz morado tuvo un efecto significativo.

Análisis de reología de masas

Absorción de agua

La interacción entre el porcentaje de maíz morado y la germinación del maíz tienen un efecto en la cantidad de agua que absorbe la mezcla de harina de trigo y maíz morado. Es así que, una absorción de agua cercana al 60% se logra al usar 8% de maíz morado no germinado, mientras que esta baja hasta aproximadamente un 57% al usar 24% de maíz morado germinado.

En la Figura 1 se evidencia como se logra una mayor absorción de agua al usar maíz morado no germinado, y esta incrementa al usar una menor cantidad de maíz morado. A partir de estos resultados se puede inferir que un incremento de maíz morado en la mezcla de harinas reduce su absorción de agua, y que este maíz morado sea germinado, la reduce aún más.

Se sugiere que el uso de maíz morado puede reducir la absorción de agua ya que se ha reportado que el almidón de este cereal absorbe aproximadamente un 3% menos agua que el almidón de trigo (Whistler et al., 2012). En la investigación realizada por Yaseen et al. (2010), también se reporta que al adicionar un 20% de harina de maíz a harina de trigo, obtuvo una reducción del 2% de absorción de agua.

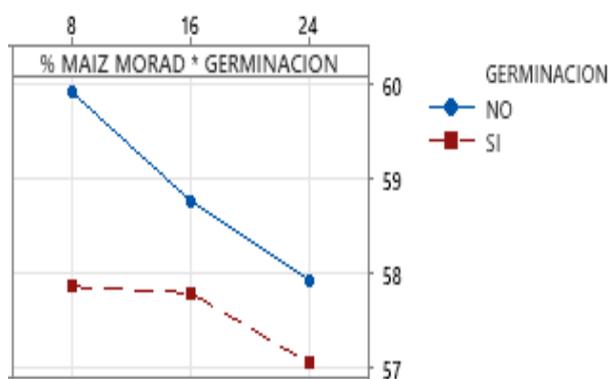


Figura 1. Diagrama de interacción de efectos para el parámetro Absorción de Agua

La intensa reducción de la absorción de agua al usar maíz morado se puede explicar teniendo en cuenta que la germinación disocia la estructura polipeptídica de proteínas, que generalmente provoca que los sitios hidrofóbicos de los aminoácidos se expongan y las proteínas tengan una mayor solubilidad (Singh et al., 2015). Como se expondrá más adelante, esto afecta al debilitamiento de las proteínas, de modo que al usar harina de maíz morado se requiere muy poca agua para que este al alcance el torque de 1.1 Nm estandarizado por Mixolab para panificación. El hecho de que una harina absorba menos agua es considerado una característica negativa para la industria panadera, ya que el rendimiento de pan obtenido es directamente proporcional a la absorción de agua que tenga la harina (Sun et al., 2019).

Tiempo de desarrollo, Estabilidad y Amplitud

De acuerdo a los resultados obtenidos en este proyecto, el incremento de porcentaje de maíz morado en la mezcla no interactúa con el uso de maíz morado germinado, frente a la reducción del tiempo de desarrollo de la masa. Más bien cada uno de ellos ejerce un efecto sobre este parámetro, sin que este efecto dependa del nivel en el que se encuentre el otro (Montgomery, 2017). El tiempo de desarrollo de la masa se refiere al tiempo que existe hasta que la masa llegue a 1.1 Nm al aplicarle 80 rpm a 30 °C (Chopin Technologies, 2012), de modo que un tiempo de desarrollo menor corresponde a una harina más débil, lo cuál confirma que la adición de maíz morado, al no tener proteínas formadoras de gluten, reduce la fuerza de la masa (Sun et al., 2019). Tal como se expuso anteriormente la germinación del grano debilita a las proteínas e incrementa su solubilidad, lo cual explicaría el efecto de este factor (Baranzelli et al., 2021).

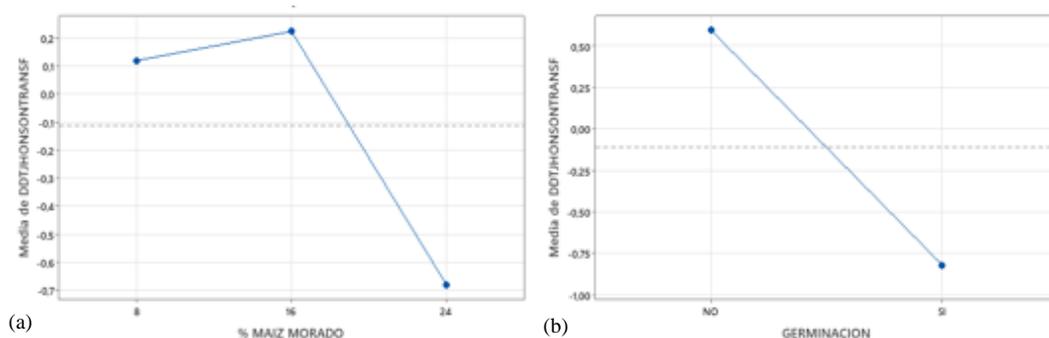


Figura 2. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el parámetro Tiempo de desarrollo (DDT)

En cuanto a la Estabilidad de la masa, esta es afectada por la interacción entre el factor germinación con el factor del porcentaje de harina de maíz morado. Es así que el incrementar la cantidad de maíz morado germinado, generaría una masa menos estable probablemente por una red de gluten debilitada, como se expondrá más adelante.

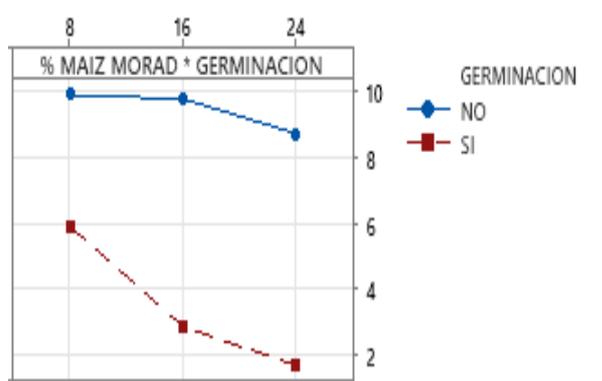


Figura 3. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro Estabilidad.

Esto coincide con estudios en los que a medida que se incrementa el porcentaje de adición de harinas diferentes a la de trigo, se reduce el tiempo de desarrollo y consecuentemente la estabilidad (Konopka et al., 2004). La relación de ambos parámetros reside en que un mayor tiempo de desarrollo permite que se aplique durante más tiempo la fuerza mecánica a la masa, lo cual permite el desarrollo de una fuerte red de gluten (Hallén et al., 2004). Sin embargo, estos resultados no coinciden con el comportamiento del parámetro de Amplitud, reflejado en la Figura 4, el cual representa la elasticidad, ya que se ha establecido que una masa elástica, corresponde a una red de gluten fuerte, la cual permite volver a su forma, después de haber sido deformada (Zhou et al., 2014). Al usar una mayor cantidad de maíz morado y al usarlo germinado, se esperaba que esta masa presente menor elasticidad, al tener menor fuerza, pero según los resultados obtenidos por Mixolab, se obtuvo una masa más elástica.

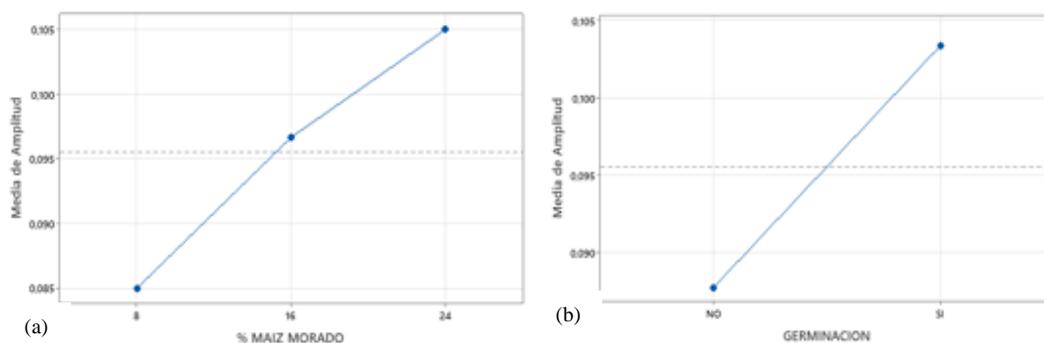


Figura 4. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el parámetro Amplitud

La posible explicación que podría tener este comportamiento es por la presencia de la proteína zeína, la cual es una prolamina, tal como la gliadina del trigo, y que también está conformada en su mayoría por aminoácidos hidrófobos (Bean et al., 2021). De manera puntual, existen estudios que reportan un comportamiento visco elástico, cuando harinas con concentraciones de zeína α son amasadas sobre los 35 °C (Fevzioglu et al., 2012, Bean et al., 2021).

Por otro lado, la elasticidad de las harinas con maíz morado germinado se puede explicar ya que este proceso implica la presencia de amilasas, las cuales, al realizar la hidrólisis de azúcares presentes, usan moléculas de agua, deshidratando la masa, provocando un efecto de baja hidratación, tal como se observa en la Figura 5 (Boumphreyfr, 2009). Shwery et al. (2021) reportan que estas condiciones de deshidratación provocan un efecto en las interacciones entre proteínas a través de enlaces de hidrógeno de los residuos de glutamina, dándose cierto nivel de plasticidad en la masa.

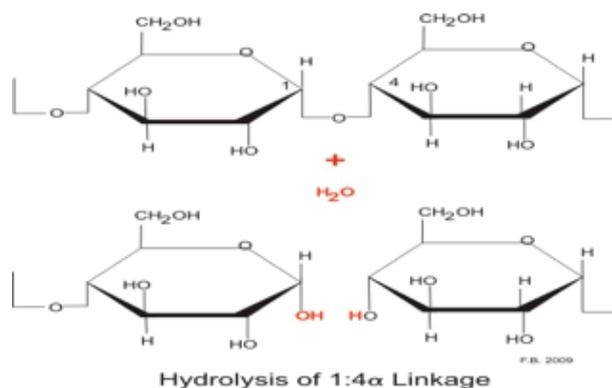


Figura 5. Hidrólisis del enlace 1-4 α del almidón por amilasas (Boumpfreyfr, 2009).

Red Proteica (C2 y C2-C1)

A partir de los resultados obtenidos por Mixolab en los parámetros C2 y C2-C1, se puede obtener un perfil de la fuerza y resistencia que ejerció la red proteica de la masa, tanto frente al trabajo mecánico como a la temperatura.

En la Figura 6, a pesar de que se evidencia que existe una interacción de ambos factores en el parámetro C2, es claro como el usar maíz morado no germinado, genera un cambio mínimo a través de las 3 concentraciones de adición de harina de maíz morado usado. Es decir, en este proyecto, el uso de las diferentes concentraciones de maíz morado no germinado, parecieron no afectar al debilitamiento de las proteínas por el trabajo mecánico de 80 rpm, ni por la temperatura a 60 °C (Mixolab Technologies, 2012). Esto coincide con lo expuesto sobre la zeína y su comportamiento viscoelástico pasados los 35 °C (Fevzioglu et al., 2012).

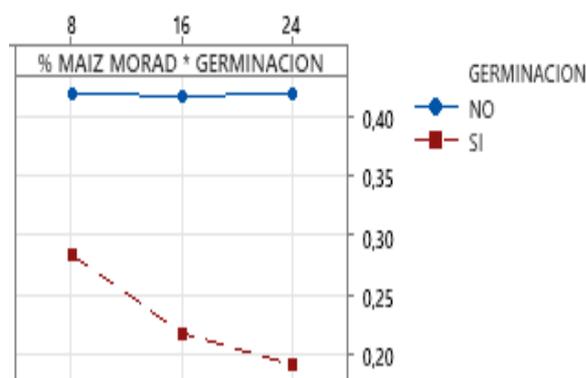


Figura 6. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C2.

En contraste, es evidente como el uso de una concentración mayor de maíz morado germinado, genera un pronunciado debilitamiento de las proteínas, lo cual es una consecuencia de la presencia de proteasas, las cuales además de hidrolizar a las proteínas propias del maíz, estas pudieron haberse expandido, en la mezcla, hacia las proteínas presentes en la harina de trigo ya que gran parte de las proteasas tienen una temperatura de inactivación entre alrededor de los 50 °C (Duarte et al., 2022). La ruptura de los polímeros proteicos que conforman el gluten como glutenina y gliadina, generan una solubilidad del gluten y se debilita esta red proteica (Shwery et al., 2021), tal como se evidencia en la Figura 6.

El parámetro C2, guarda relación con el parámetro C2-C1, que indica la diferencia entre el punto C2 y el C1, que se encuentra a 1.1 +/- 0.05 Nm. De hecho, el debilitamiento de las proteínas, representado por C2, es inversamente proporcional a la fuerza que mantiene la red proteica frente al calentamiento y trabajo mecánico, lo cual es representado por el parámetro C2-C1 (Chopin Technologies, 2012). Esto es evidente en la Figura 7, en la cual se observa que tanto los factores porcentaje de maíz morado y germinación, ejercen un efecto con una línea de tendencia opuesta a la Figura 6.

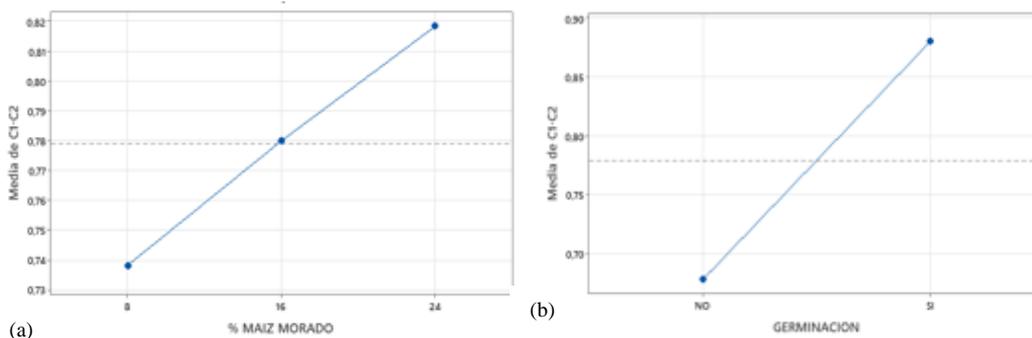


Figura 7. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el parámetro C2-C1.

Gelatinización del almidón y estabilidad del gel (C3 y C4)

Los valores del parámetro C3 reflejan la gelatinización que ha tenido el almidón presente en la mezcla, tal como se observa en la Figura 8. Es evidente como a una mayor cantidad de maíz morado sin germinar, la gelatinización del almidón es mayor, lo cual se explica por el mayor contenido de almidón que posee la harina de maíz 87,6% en comparación a la harina de trigo 78,7% (Murray et al., 2001). De esta manera se infiere que una mayor cantidad de almidón resultaría en una mayor cantidad de gel, el cuál provocaría un torque mayor detectado por el equipo Mixolab.

En contraste a este resultado, se observa claramente en la Figura 8 que, existe un descenso de la gelatinización del almidón al usar mayor cantidad de maíz morado germinado. Este comportamiento demuestra la presencia de amilasas, las cuales habrían degradado ya una fracción del almidón en este tipo de maíz, reduciendo la cantidad de este para formar gel, y aumentando la cantidad de azúcares simples. La reducción de la gelatinización del almidón al usar maíz germinado concuerda con lo reportado por Baranzelli et al. (2018), quienes, al

trabajar con trigo, sugieren que la reducción de la gelatinización del almidón es un efecto directo de la germinación de este cereal.

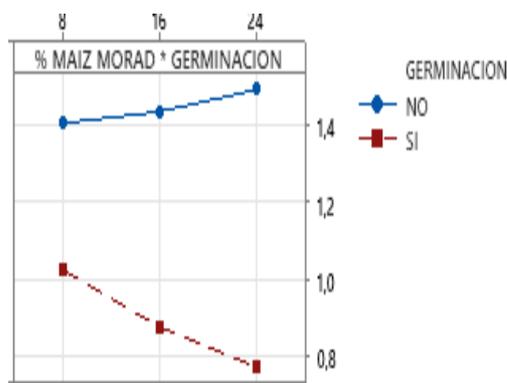


Figura 8. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C3.

La formación de la pasta viscosa, conocida como gel, se describe de la siguiente forma según Yongfeng & Jay (2018) en presencia de agua, los gránulos de almidón la absorben y se aglutinan, hinchándose de manera gradual, hasta ir perdiendo su cristalinidad, volviéndose amorfos por el proceso de birrefringencia. El aumento de la temperatura provoca que estos gránulos aumenten su tamaño, sin embargo, al superar su capacidad de absorber agua, estos estallan, liberando moléculas de uno de los dos componentes del almidón: amilosa que, al dispersarse en ese medio acuoso, forman la pasta viscosa, conocida como gel.

Las características reológicas del gel formado dependen de la composición de amilosa y amilopectina, la cual varía dependiendo del cereal del que se obtuvo el almidón (Yongfeng & Jay, 2018). Es así que, el parámetro C4 es un indicador de la fuerza del gel formado dentro del equipo Mixolab. Los resultados obtenidos de este proyecto indican que al usar maíz morado no germinado se obtiene una fuerza de gel en comparación al usar maíz morado germinado, tal

como se observa en la Figura 9. Tal como se mencionó anteriormente, las enzimas amilasas típicas del proceso de germinación, son las responsables de degradar los componentes del almidón al hidrolizar los enlaces 1,4 α tanto en la amilosa como en la amilopectina que componen este polisacárido (Utrilla-Coello et al 2009).

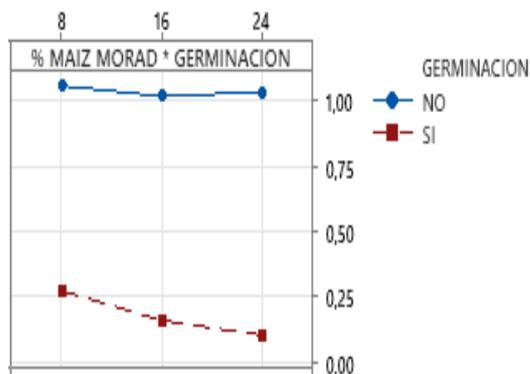


Figura 9. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C4.

Este enlace es predominante en la amilosa más que en la amilopectina, siendo que la reducción de este compuesto provoca una menor fuerza en el gel, tal como lo sugiere Biduski et al. (2018). De hecho, se puede relacionar directamente a la germinación con este fenómeno al observar que en la Figura 9 que a medida que se usa mayor cantidad de harina de maíz morado germinado, el gel es menos fuerte, mientras que la cantidad usada en no germinado no altera esta pendiente.

Actividad de la amilasa (C4-C3)

La actividad de amilasa es representada por la diferencia entre el torque obtenido en C3 y C4, de modo que una mayor diferencia entre C3 y C4, representa una mayor actividad de la amilasa (Chopin Technologies, 2012). En la Figura 10 se observa como la actividad de amilasa es mayor en el maíz morado germinado que en el no germinado, lo cuál es consecuente con lo expuesto por Singh et al. (2013), quienes señalan que la germinación puede aumentar hasta casi 10 veces la actividad de amilasas en cereales (2013).

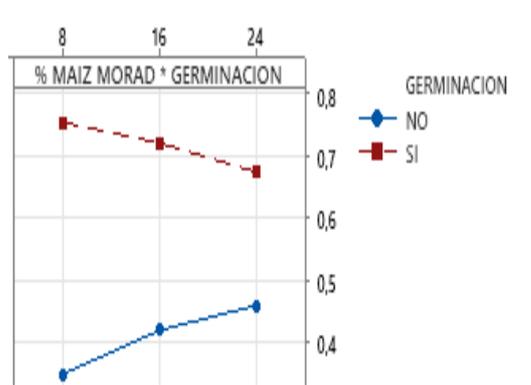


Figura 10. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C4-C3.

Sin embargo, se evidenció un comportamiento no esperado en la harina de maíz morado germinada, ya que una mayor cantidad de maíz morado sugería una mayor actividad de amilasas, como sucedió con la harina no germinada. La explicación a este fenómeno puede residir en investigaciones que describen cómo la presencia de polifenoles inhibe la actividad de la enzima α amilasa (Xiao et al., 2013, Nyambe et al., 2015, Mojica et al., 2015). Estudios de germinación en cereales como el arroz, centeno, cebada y sorgo, sugieren que los polifenoles incrementan después de la germinación del grano (Cáceres et al., 2014, Bondia et al., 2010, Donkor et al., 2012). Si bien el aumento de polifenoles explicaría la inhibición de las α amilasas

al incrementar el uso de maíz morado, esto no cuerda con la investigación de Paucar et al. (2017) quienes indican que, tras la germinación de maíz morado, la cantidad de polifenoles totales se redujo.

Retrogradación del almidón (C5)

Una vez que los almidones se gelatinizaron ingresando moléculas de agua entre amilosas y pectinas, esta agua tiende a migrar hacia fuera de esta matriz, reorganizando las moléculas de amilosa y amilopectina y volviendo a formar puentes de hidrógeno entre sí (Yongfeng & Jay, 2018). Este fenómeno se conoce como retrogradación, y está inversamente relacionado con el tiempo de percha de productos de panificación, ya que, esta pérdida de humedad generalmente ocasiona panes duros, migas secas y textura áspera (Zhou et al., 2014).

Como se observa en la Figura 11, la adición de harina de maíz morado germinado presentaría una baja retrogradación, por lo tanto, un tiempo de percha extendido. Esto concuerda con los resultados obtenidos para la estabilidad del gel, donde al usar maíz morado germinado se obtuvo un comportamiento de harinas con baja cantidad de amilosa, probablemente porque está en su mayoría fue reducida a azúcares simples por la intensa actividad de amilasas.

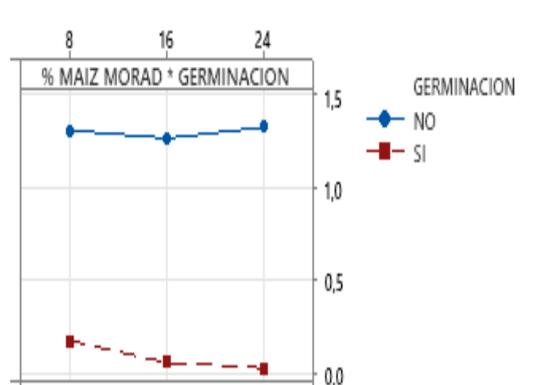


Figura 11. Gráfica de interacción de factores sobre el parámetro C5

Varios autores sugieren que una forma de evitar la retrogradación es el uso de almidones con alto contenido de amilopectina, ya que, al ser una estructura ramificada, reduce la migración del agua, reteniéndola por más tiempo dentro de la matriz del pan (Singh et al., 2010).

Análisis físico químicos

Volumen Específico

El desarrollo que alcanza la masa de pan en su volumen es una de las características que comúnmente representan la calidad del pan. Este parámetro se conoce de manera técnica cómo volumen específico y se expresa como la relación entre el volumen y el peso del pan (Zhou et al., 2014).

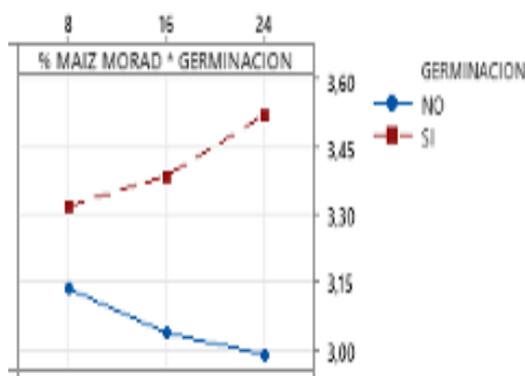


Figura 12. Gráfica de interacción de factores sobre el Volumen Específico.

En la Tabla 12 se presenta como el volumen específico incrementó hasta 3.5 mL/g al incrementar el uso de maíz morado germinado hasta en un 24%, tendencia que corrobora la actividad de amilasas en el maíz morado previamente mencionada. Blaszcak et al. (2004) confirman que, la adición de α -amilasas formadoras de maltodextrinas, promovieron un mayor

volumen específico en todos los lotes de pan en las que se añadió, generando una red de gluten más abierta y continua que en aquellas masas en las que no se aplicó esta enzima (Blaszczak et al., 2004). Usando este mismo tipo de enzimas, Chen et al. (2021) consiguieron panes elaborados con harina de trigo con un volumen específico de hasta 3.4 mL/g.

El incremento del volumen al germinar se explica ya que las amilasas típicas de este proceso producen oligosacáridos constituidos por maltosas, maltotriosas y otros oligosacáridos de 6 a 8 glucosas; los cuáles serían más fermentables para las levaduras presentes en la mezcla, en comparación a la amilosa y amilopectina sin degradar (Shafisoltani, 2014). El incremento de la fermentación llevaría a una mayor cantidad de CO₂ en la masa, que se expandiría a través de la red de gluten, consiguiendo un volumen mayor a aquellas masas que no tenían su almidón degradado.

En contraste, al usar harina de maíz morado sin germinar, el volumen específico desciende a medida que se usa una mayor cantidad de esta harina, lo cual podría confirmar el hecho de que, al no haber una hidrólisis de los azúcares, estos están menos disponibles para un metabolismo de las levaduras. A esto se le sumaría el hecho de que, al haber una mayor cantidad de harina de maíz morado, se usa una menor cantidad de harina blanca, y por ende existen menos proteínas formadoras de gluten. Como se mencionó anteriormente, este efecto se conoce como dilución del gluten, y es conocido por bajar el volumen específico de panes al usar harinas diferentes a las del trigo (Yaseen et al., 2010).

Humedad y Actividad de Agua

Al evaluar el pan después de horneado, se obtuvo que el aumento de porcentaje de harina maíz morado, incrementa significativamente la Humedad y Actividad de Agua (Aw), tal como se ve en la Figura 13. De hecho, en la Tabla 8 se evidencia que la germinación del maíz morado no tiene un efecto estadísticamente significativo en la humedad y AW que tiene el pan horneado, lo que significaría que el incremento de estos parámetros solo depende del porcentaje de maíz morado, sea germinado o no germinado.

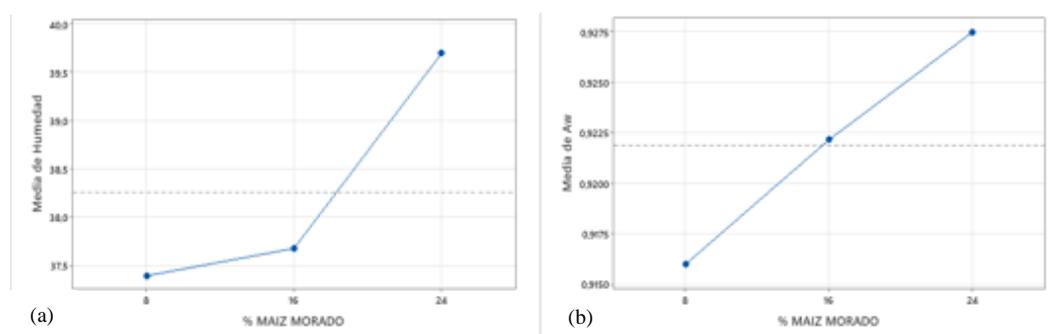


Figura 13. Gráfica del efecto del porcentaje de maíz morado sobre los parámetros (a) Humedad y (b) Actividad de Agua Aw.

Como se evidencia en la Tabla 9, el R^2 es menor a 0.4, tanto para el modelo que explica el comportamiento de la humedad como de Aw, sin embargo, estos valores de humedad al estar entre 37,20 y 40,3%, se encuentra dentro de lo requerido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2945 que exige que el pan debe tener como máximo un 45,0% de humedad (2016). Si bien en esta norma no se detalla el límite para la Aw, esta mantiene la misma tendencia que la humedad, aumentando desde 0,916 a 0,928.

Se sugiere que este incremento de la humedad y A_w se debe a que la harina de maíz tiene una mayor absorción que la harina de trigo, y así su adición generaría panes que retengan una mayor cantidad de humedad en comparación a los que usan únicamente harina de trigo (Siddiq et al., 2009, Simic et al., 2018). Esta información sería corroborada por lo expuesto por Bean et al. (2021) quien indica que al añadir la proteína zeína del maíz junto a caseína, se aumentó la absorción de humedad, también aumentando la viscoelasticidad al incrementar las estructuras de hojas β plegadas (Bean et al., 2021).

pH y Fermentación

En el presente proyecto se ha expuesto cómo la respuesta obtenida para diferentes parámetros demuestra que el maíz morado germinado presenta su almidón degradado en azúcares más simples. Una confirmación adicional a esto se puede evidenciar en la Figura 14, en la cuál se expone la diferencia en el pH que existe en la masa después de la etapa de fermentación.

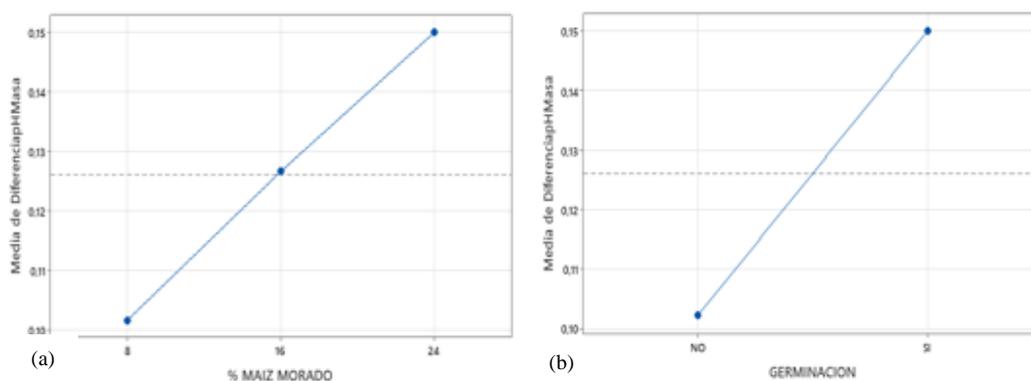


Figura 14. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el descenso del pH después de la fermentación.

Los datos obtenidos sugieren que el pH cambie en una mayor magnitud cuando se usa más cantidad de maíz morado, o a su vez, se usa maíz morado germinado. El pH de la masa, refleja la concentración de sustancias ácidas en esta, que en el caso del pan, estas son un producto del metabolismo de la levadura. De manera puntual, entre estos ácidos se encuentra el ácido succínico, al cual se le atribuye principalmente el descenso del pH durante la fermentación, mientras que se sugiere que el ácido láctico, y el dióxido de carbono, contribuyen de manera secundaria a la acidez en la masa (Jayaram et al., 2014).

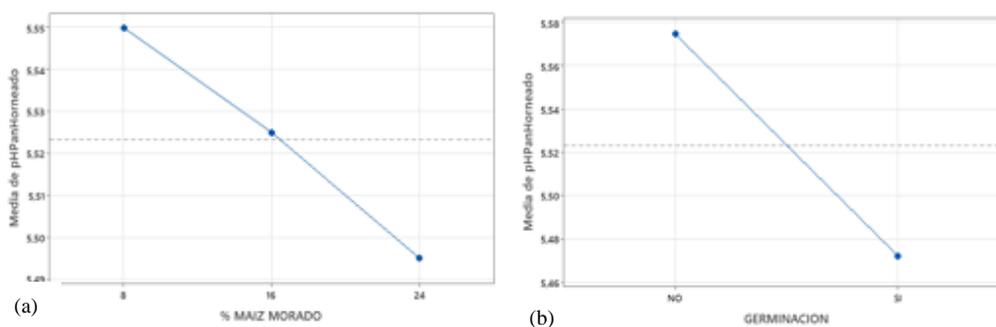


Figura 15. Gráficas de efectos de los factores (a) % de Maíz Morado y (b) Germinación y sobre el pH en el pan ya horneado.

Este efecto en el descenso del pH es evidente también en la Figura 15, que muestra cómo el pH del pan horneado es menor al usar una mayor cantidad de maíz morado germinado. Sin embargo, vale aclarar que también se obtiene una reducción del pH, al aumentar la concentración de maíz morado, que como se ve en la imagen (a) de la Figura 15, esta no es dependiente del estado de germinación del maíz. Se sugiere que esta respuesta se obtiene

probablemente por los diferentes microorganismos que pudieron haber sido inoculados a medida que se añadió maíz morado, lo que significaría que esta reducción del pH no es solo un efecto de la levadura, sino también del metabolismo de otros microorganismos presentes propios de las harinas empleadas (Mojisola, 2011).

Optimización

Las Figuras expuestas en la sección anterior muestran rectas que representan el efecto de los factores para los diferentes parámetros evaluados. Cada uno de estos parámetros sigue un modelo determinado por dos ecuaciones, las cuales se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Ecuaciones del efecto que tiene el porcentaje de adición de maíz morado en los parámetros evaluados, tanto para maíz morado germinado como no germinado.

Parámetro	R ² del Modelo	Germinación	Ecuaciones del Modelo
Absorción de Agua	0.982	SI	$57.26667 + 0.116667 * \% \text{Maíz Morado} - 0.005208 * \% \text{Maíz Morado}^2$
		NO	$61.33333 - 0.197917 * \% \text{Maíz Morado} + 0.002344 * \% \text{Maíz Morado}^2$
DDT	0.954	SI	$1 / (1.04688 - 0.023889 * \% \text{Maíz Morado} + 0.001204 * \% \text{Maíz Morado}^2)^2$
		NO	$1 / (0.531940 - 0.025634 * \% \text{Maíz Morado} + 0.001204 * \% \text{Maíz Morado}^2)^2$
Amplitud	0.579	SI	$0.083333 + 0.001250 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$0.067778 + 0.001250 * \% \text{Maíz Morado}$
Estabilidad	0.944	SI	$7.69667 - 0.262708 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$10.60778 - 0.072708 * \% \text{Maíz Morado}$
C2	0.965	SI	$0.32333 - 0.005833 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$0.418889 - 4.33E-18 * \% \text{Maíz Morado}$
C2-C1	0.947	SI	$0.760000 + 0.007500 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$0.637778 + 0.002500 * \% \text{Maíz Morado}$
C3	0.989	SI	$1.14111 - 0.015625 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$1.35556 - 0.005417 * \% \text{Maíz Morado}$
C4	0.995	SI	$0.34556 - 0.010625 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$1.05556 - 0.001458 * \% \text{Maíz Morado}$
C4-C3	0.986	SI	$0.795556 - 0.005000 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$0.300000 - 0.006875 * \% \text{Maíz Morado}$

C5	0.996	SI	$0.393889 - 0.032917 * \% \text{Maíz Morado} + 0.000742 * \% \text{Maíz Morado}^2$
		NO	$1.43944 - 0.022708 * \% \text{Maíz Morado} + 0.000742 * \% \text{Maíz Morado}^2$
Volumen Específico	0.915	SI	$3.20333 + 0.012708 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$3.19778 - 0.009167 * \% \text{Maíz Morado}$
Humedad	0.248	SI	$35.83556 + 0.143542 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$36.08111 + 0.143542 * \% \text{Maíz Morado}$
Actividad de Agua	0.383	SI	$0.911056 + 0.000719 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$0.909722 + 0.000719 * \% \text{Maíz Morado}$
Cambio de pH Leudo	0.703	SI	$0.101667 + 0.003021 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$0.053889 + 0.003021 * \% \text{Maíz Morado}$
pH del Pan Horneado	0.942	SI	$5.54889 - 0.004792 * \% \text{Maíz Morado}$
		NO	$5.60778 - 0.002083 * \% \text{Maíz Morado}$

Los modelos mostrados para estos parámetros constan de dos ecuaciones debido a que el factor germinación es cualitativo, y no se le asigna un valor numérico, manejándose de manera separada sus dos niveles. De hecho, en todas las ecuaciones se tiene como variable dependiente al porcentaje de maíz morado, pudiendo así usar este dato predecir el resultado para cada parámetro evaluado. Sin embargo, cada uno de estos modelos tienen un valor R^2 , que como se mencionó anteriormente, explica la relación entre los datos y el modelo propuesto (Minitab, 2013).

Softwares estadísticos como Design Expert permiten manejar todas estas ecuaciones al mismo tiempo, y así realizar las optimizaciones, en las cuales se determina el resultado “meta” que se espera de estas variables, así como la importancia. Para esta optimización, se consideraron 10 de las 15 variables de respuesta, y se incluyeron los 2 factores de diseño, de modo que también sean variables de entrada. Se propusieron dos escenarios, uno en el que se priorice las características tecnológicas del pan (I), y otro en el que se maximice el uso de maíz morado (II), como se presenta a continuación.

Al ingresar la información de la Tabla 10 en el software Design Expert, este generó el valor que cada una de las variables de respuesta tendrían para cada modelo. Dicha optimización

indica que, se puede alcanzar el escenario I *Características Óptimas del Pan* con una deseabilidad de 0.795, si es que se usa maíz morado no germinado en un 8%. En contraste, el escenario II *Maximización de la Adición de Maíz Morado* alcanzaría una deseabilidad de 0.602 si es que se usa un 18% de maíz morado no germinado, como se evidencia en la parte inferior de la Tabla 10.

Tabla 10. Variables de entrada para los escenarios: Características Tecnológicas Óptimas del Pan (I) y Maximización de la Adición del Maíz Morado (II)

Entrada	Escenario I		Escenario II	
	Meta	Importancia	Meta	Importancia
Germinación	En Rango	3	En Rango	3
% de Harina de Maíz Morado	En Rango	3	Maximizar	5
Absorción de Agua	Maximizar	5	Maximizar	3
Estabilidad	Maximizar	3	Maximizar	3
C2	Maximizar	5	Maximizar	3
C2-C1	Minimizar	5	Minimizar	3
C3	En Rango	3	En Rango	3
C4	En Rango	3	En Rango	3
C4-C3	En Rango	3	En Rango	3
C5	En Rango	4	En Rango	3
Cambio pH Después de Leudar	En Rango	3	En Rango	3
Volumen Específico	Maximizar	4	Maximizar	3
Deseabilidad Alcanzada	0,795		0,602	
Maíz Morado a Usarse	No Germinado 8%		No Germinado 18%	

Las respuestas obtenidas indican que no se debe usar maíz morado germinado. Esto se debe a que, según los datos obtenidos, el maíz morado germinado produce, en su mayoría, respuestas opuestas a las requeridas para lo descrito para ambos escenarios en la Tabla 10, con excepción de la retrogradación C5 y volumen específico.

Esto coincide con lo expuesto por Chen et al. (2021), quienes indican que una forma de reducir la retrogradación para incrementar el tiempo de anaquel del pan es usar harinas de cereales que han sido tratados con amilasas. Zhou et al. (2014) concuerda también con lo anterior, añadiendo que los cereales germinados incrementan el volumen específico, como se explicó previamente.

La información presentada en este proyecto indica que el uso de maíz morado germinado reduce la absorción de agua, lo cuál significa un menor rendimiento en las unidades de pan obtenidas (Zhou et al., 2014). También se evidenció que promovió el debilitamiento de la red de gluten, parámetro C2, así como redujo estabilidad del gel, parámetro C4. Guzmán et al. (2019) sugieren que el uso de harinas germinadas en panificación es limitado ya que tienen el potencial de modificar ciertas propiedades como la reología de la masa, la retención del gas y la textura de la corteza del pan.

Evaluación sensorial

A partir de las concentraciones de harina de maíz morado no germinado descritas en la sección anterior, se escogieron 3 formulaciones con los códigos: W88, D24 y P55, que representarían a: un pan con características tecnológicas óptimas, uno que maximice la cantidad de maíz morado añadido, y un control sin harina de maíz morado, respectivamente.

Después de analizar la información obtenida de los 78 panelistas, se obtuvo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la evaluación de los atributos de *Color* y *Sensación en Boca*, a diferencia de los atributos de *Sabor*, *Aroma* y *Gusto Total*, los cuales no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$), como se indica en la Tabla 11. Además, se puede evidenciar que tanto los jueces como el orden de presentación no presentaron diferencias significativas

($p > 0.05$), indicando que el bloqueo para estos dos factores fue efectivo y no influyó en las respuestas obtenidas.

Tabla 11. Valores p obtenidos del ANOVA para los factores frente a los atributos evaluados en la evaluación sensorial.

Factor	Aroma	Sabor	Sensación en Boca	Color	Gusto Total
Juez	0.107	0.076	0.488	0.445	0.304
Orden de Presentación	0.479	0.819	0.865	0.984	0.806
Producto	0.335	0.811	0.000	0.011	0.171

En la Tabla 12 se indica que los panelistas mostraron un mayor nivel de agrado mayor por las formulaciones D24 y W88 que por la formulación P55, en cuanto a su sensación en boca. Tanto la formulación D24 como la W88 corresponden a formulaciones que tienen un porcentaje de 8 y 18% de maíz morado respectivamente, por lo cual se sugiere que características como estabilidad del gel y humedad, pueden contribuir a una sensación en boca agradable.

De hecho, Lian et al. (2019), reportaron que al probar adición de pulpa de soya en pan, los panelistas prefirieron aquellas muestras que contenían una mayor cantidad de esta, que a su vez, eran las muestras con mayor humedad y espesor (Lian et al., 2019).

Tabla 12. Comparación de medias de los atributos evaluados cada una de las formulaciones de pan.

Formulación de Pan	Sensación en Boca	Color	Aroma	Sabor	Gusto Total
P55	5.6 ± 2.4^B	6.8 ± 1.9^A	6.7 ± 2.0	6.7 ± 1.9	6.5 ± 1.9
W88	6.5 ± 2.1^A	6.0 ± 2.2^{AB}	6.7 ± 2.0	6.9 ± 1.9	7.0 ± 1.7
D24	7.0 ± 1.7^A	5.9 ± 2.1^B	7.1 ± 1.6	6.9 ± 1.5	7.0 ± 1.5

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) por Test de Tukey.

En cuanto al atributo del color, se obtuvo que los panelistas tienen un nivel de agrado estadísticamente menor por la muestra D24, correspondiente a la formulación con un 18% de maíz morado. Esto puede deberse a la intensidad de su color, ya que de las tres formulaciones, sería la que tiene una mayor cantidad de antocianinas (López et al., 2009) las cuales generan el típico color morado oscuro, el cual no es típico del pan. Una investigación que evaluó el nivel de agrado del consumidor para panes con pulpa de uva, indica de igual manera que el pan control tiene una mayor aceptación por los panelistas, que aquellas muestras que presentaron un color más oscuro (Smith & Yu, 2015).

Se evidencia que la muestra D24 (18% de maíz morado) presenta un valor promedio de aceptación superior a 7 para el atributo de aroma, y esta misma muestra junto a W88 (8% de maíz morado) presentan un valor promedio de 7.0 para el atributo de gusto total. Everitt, (2009) menciona que una media superior a 7 en una escala hedónica de 9 puntos, es un indicador equivalente a una calidad sensorial aceptable,

Por otro lado, el no presentar diferencias significativas para el atributo del sabor, da indicios de que la adición de harina de maíz morado no germinado no afecta el sabor del pan, de modo que, al llegar al mercado, se reduce el riesgo de que los consumidores lo eviten por su sabor.

Validación del modelo de optimización

Los dos escenarios presentados para la optimización tienen un indicador de deseabilidad de 0,795 para el escenario en el que se quiso obtener las características de pan óptimas, y de 0,602 para el que buscaba maximizar de la adición de maíz morado. Esto indica que no es posible satisfacer completamente lo determinado en la Tabla 10 para los dos escenarios. Aun

así, las optimizaciones presentadas en la Tabla 9, permiten predecir los valores que tendrían las variables de salida al agregar cierta cantidad de harina de maíz morado, como se evidenciará más adelante en la Tabla 14 y 15.

Para corroborar estos valores, se realizaron análisis físico químicos a los lotes de pan correspondientes a la evaluación sensorial. Como se evidencia en la Tabla 13, el porcentaje de maíz morado no germinado afecta significativamente al volumen específico, humedad, diferencia de pH y pH del pan horneado; mientras que en estos ensayos, la actividad de agua no se vio estadísticamente afectada por este factor.

Tabla 13. Análisis físico químicos de los panes optimizados

% de Harina de Maíz Morado	Volumen Específico	Humedad	Diferencia de pH	pH Horneado	Aw
0	3.15 ± 0.02 ^A	35.87 ± 0.24 ^C	0.04 ± 0.01 ^B	5.58 ± 0.01 ^B	0.912 ± 0.004
8	3.10 ± 0.01 ^B	36.86 ± 0.53 ^B	0.08 ± 0.02 ^{AB}	5.61 ± 0.01 ^A	0.917 ± 0.006
18	3.05 ± 0.02 ^C	38.40 ± 0.18 ^A	0.105 ± 0.02 ^A	5.54 ± 0.01 ^C	0.921 ± 0.007

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) por Test de Tukey.

En la Tabla 14 y 15 se calculó el desvío porcentual, contrastando los valores reales con los teóricos, para la formulación de 8 y 18% de maíz morado no germinado, respectivamente. Los valores de desvío obtenidos resultaron menores al 3%, excepto por la diferencia del pH, que presentó una desviación del 7.4% de los valores reales obtenidos. No se calculó este desvío porcentual para los datos de Actividad de Agua, ya que los datos obtenidos no fueron estadísticamente diferentes (Tabla 13), y su variación puede ser correspondiente al azar.

Tabla 14. Comparación de valores teóricos con valores reales para los parámetros físico químicos del pan elaborado con un 8% de maíz morado

Análisis	Valor Teórico	Valor Real	% Desvío
Volumen Específico	3.12	3.10 ± 0.01	0.6%
Humedad	37.23	36.86 ± 0.53	1.0%
Diferencia de pH	0.078	0.08 ± 0.02	2.6%
pH Horneado	5.59	5.61 ± 0.01	0.4%

Tabla 15. Comparación de valores teóricos con valores reales para los parámetros físico químicos del pan elaborado con un 18% de maíz morado

Análisis	Valor Teórico	Valor Real	% Desvío
Volumen Específico	3.08	3.05 ± 0.02	1.0%
Humedad	38.66	38.40 ± 0.18	0.7%
Diferencia de pH	0.108	0.105 ± 0.02	7.4%
pH Horneado	5.57	5.54 ± 0.01	0.5%

Lo obtenido para ambas formulaciones es coherente también con los R^2 ajustados para los modelos, ya que como se evidencia en la Tabla 9, su gran mayoría son mayores a 0.9, exceptuando por el modelo de cambio de pH y el de humedad. Por esto, se sugiere que las ecuaciones obtenidas en este proyecto, con un R^2 mayor a 0.9, ayudarían a predecir los diferentes parámetros del pan con adición de maíz morado.

CONCLUSIONES

El presente proyecto tuvo como factores de diseño al porcentaje de maíz morado, así como a su estado de germinación, y con los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- La adición de maíz morado sea este germinado o no, genera cambios en la reología de la masa disminuyendo la absorción de agua y estabilidad. El usar maíz morado germinado, al conllevar un proceso de proteólisis e hidrólisis de algunos compuestos como el almidón y proteínas debilita la red de gluten y estabilidad del gel, mientras que el no germinado no afecta estos parámetros significativamente. La actividad de la amilasa es significativamente mayor al usar harina de maíz morado germinado, y a su vez, minimiza su retrogradación.
- El volumen específico alcanzado por la harina de maíz morado germinado es superior a la obtenida con el no germinado, probablemente por una tasa de fermentación mayor, al haber más azúcares disponibles para las levaduras, lo cual también se refleja en un descenso del pH más pronunciado. En cuanto a su humedad y actividad de agua, estas incrementaron con el uso de harina de maíz morado, independientemente de su estado de germinación, comportamiento que se reporta como típico de las harinas de maíz.
- Las optimizaciones realizadas sugieren una adición del 8% de maíz morado no germinado para la elaboración de pan, de modo que mantenga sus características tecnológicas óptimas. Por otro lado, la optimización indica que una adición máxima de 18% de esta misma harina, mantiene en rango las características tecnológicas del pan, sin optimizarlas.
- Finalmente, los jueces indicaron que les agradó la sensación en boca generada por el pan con ambos porcentajes de adición de maíz morado. Y si bien, mostraron un nivel de agrado menor por el pan con 18% de harina de maíz morado, les fue indiferente el sabor de las muestras presentadas, sugiriendo que la adición de maíz morado no afecta al sabor del pan.

REFERENCIAS

- AACCI. (2010). *Approved Methods of Analysis*. American Association of Cereal Chemist International. 11th Edition.
- Albala, K. (2011). *Food cultures of the world encyclopedia*. ABC-CLIO. (Vol. 2).
- Alves, M., Carbas, B., Gaspar, D., Paulo, M., Brites, C. (2019). Genome-wide association study for kernel composition and flour pasting behavior in wholemeal maize flour. *BMC plant biology*, 19(1), 1-17.
- American Association of Cereal Chemists International – AACCI. (2010). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists International*. St. Paul: AACCI.
- Armijos, C., Valarezo, E., Cartuche, L., Zaragoza, T., Finzi, P. V., Mellerio, G., Vidari, G. (2018). Chemical composition and antimicrobial activity of *Myrcianthes fragrans* essential oil, a natural aromatizer of the traditional Ecuadorian beverage colada morada. *Journal of ethnopharmacology*, 225, 319-326.
- Ayo, N. (2021). Gluten-reduced sweet potato-wheat bread: Influence of fermented sweet potato flour addition on bread quality and dough rheology. *Journal of Culinary Science & Technology*, 19(3), 187-213.
- Bae, W., Lee, S., Yoo, S., Lee, S. (2014). Utilization of a maltotetraose-producing amylase as a whole wheat bread improver: dough rheology and baking performance. *Journal of food science*, 79(8), E1535-E1540.
- Baranzelli, J., Kringel, D., Colussi, R., Paiva, F., Aranha, B., de Miranda, M. (2018). Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. *LWT*, 90, 483-490.
- Bean, S., Akin, P., Aramouni, F. (2021). Zein functionality in viscoelastic dough for baked food products. *Journal of Cereal Science*, 100, 103270.
- Bedoya, C., Dreisigacker, S., Hearne, S., Franco, J., Mir, C., Prasanna, B. (2017). Genetic diversity and population structure of native maize populations in Latin America and the Caribbean. *PloS one*, 12(4), e0173488.
- Biduski, B., da Silva, W., Colussi, R., Halal, S., Lim, L., Dias, R., da Rosa, E. (2018). Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 443-449.
- Blake, M. (2015). *Maize for the Gods*. In *Maize for the Gods*. University of California Press.
- Blaszczak, W., Sadowska, J., Rosell, C., Fornal, J. (2004). Structural changes in the wheat dough and bread with the addition of alpha-amylases. *European Food Research and Technology*, 219(4), 348-354.
- Boivin, N., Crassard, R., Petraglia, M. (2017). *Human dispersal and species movement: from prehistory to the present*. Cambridge University Press.
- Bondia, I., Lappi, J., Selinheimo, E., Kolehmainen, M., Mykkänen, H., Poutanen, K. (2010). Whole grains and digestive health. *Nondigestible Carbohydrates and Digestive Health*, 245-272.
- Boumphreyfr, I. (2009). *Amylase hydrolysisl 1-4*. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported Recuperado el 01 de junio del 2022 de: https://commons.media.org/wiki/File:Amylase_hydrolysisl_1-4.png
- Brooks, M., Celli, G. (2019). *Anthocyanins from natural sources: Exploiting targeted delivery for improved health* (Vol. 12). Royal Society of Chemistry.

- Cabrol, N., Feister, U., Häder, D., Piazena, H., Grin, E. (2014). Record solar UV irradiance in the tropical Andes. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 19.
- Cáceres, P., Martínez, C., Amigo, L., Frias, J. (2014). Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food chemistry*, 152, 407-414.
- Cardone, G., D'Incecco, P., Pagani, M. A., & Marti, A. (2020). Sprouting improves the bread-making performance of whole wheat flour (*Triticum aestivum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2453-2459.
- Chen, Y., Eder, S., Schubert, S., Gorgerat, S., Boschet, E., Baltensperger, L., Windhab, E. (2021). Influence of amylase addition on bread quality and bread staling. *ACS Food Science & Technology*, 1(6), 1143-1150.
- Chen, Y., Zhao, L., He, T., Ou, Z., Hu, Z., Wang, K. (2019). Effects of mango peel powder on starch digestion and quality characteristics of bread. *International journal of biological macromolecules*, 140, 647-652.
- Chopin Technologies. (2012). *Mixolab Applications Handbook. Rheological and enzyme analysis*. 2012 Edition. Villeneuve-la-Garenne, France.
- Chung, H., Jang, S., Cho, H., Lim, S. (2009). Effects of steeping and anaerobic treatment on GABA (γ -aminobutyric acid) content in germinated waxy hull-less barley. *LWT-Food Science and Technology*, 42(10), 1712-1716.
- Clarke, N., Wilkinson, M., Laidman, D. (2003). *Lipid metabolism in germinating cereals*. Academic Press: London. pp. 57-92
- Crittenden, R., & Playne, M. J. (2006). Modifying the human intestinal microbiota with prebiotics. *Gastrointestinal microbiology*. Taylor & Francis, New York, NY, 285-314.
- Dimberg, L., Theander, O., Lingnert, H. (1993). Avenanthramides--a group of phenolic antioxidants in oats. *Cereal Chemistry*.
- Domínguez, F., Cejudo, F. J. (2014). Programmed cell death (PCD): an essential process of cereal seed development and germination. *Frontiers in plant science*, 5, 366.
- Donkor, O., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains--Sources of bioactive compounds. *Food chemistry*, 135(3), 950-959.
- Duarte, J., Silva, J., Sousa, F., Gonçalves, O., Wanderley, M., Sarmiento, B. (2022). Structural and functional analysis of broad pH and thermal stable protease from *Penicillium aurantiogriseum* URM 4622. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 52(5), 578-589.
- Dubat, A. (2016). *Mixolab: A New Approach to Rheology*. Academic Press.
- Dube, N., Xu, F., Zhao, R. (2020). The efficacy of sorghum flour addition on dough rheological properties and bread quality: A short review. *Grain & Oil Science and Technology*, 3(4), 164-171.
- Elkhalifa, A. E. O., Bernhardt, R., Cardone, G., Marti, A., Iametti, S., & Marengo, M. (2017). Physicochemical properties of sorghum flour are selectively modified by combined germination-fermentation. *Journal of food science and technology*, 54(10), 3307-3313.
- Everitt, M. (2009). Consumer-targeted sensory quality. In *Global issues in food science and technology* (pp. 117-128). Academic Press.
- FAO. (2018). *The State of Food Insecurity in the World 2004: Monitoring progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals*.
- Fevzioglu, M., Hamaker, B., Campanella, O. (2012). Gliadin and zein show similar and improved rheological behavior when mixed with high molecular weight glutenin. *Journal of Cereal Science*, 55(3), 265-271.

- Finnie, S., Brovelli, V., Nelson, D. (2019). Sprouted grains as a food ingredient. In Sprouted grains (pp. 113-142). AACC International Press.
- Francavilla, A., Joye, I. (2020). Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*, 12(10), 2922.
- Gabrielska, J., Oszmiański, J., Komorowska, M., Langner, M. (1999). Anthocyanin extracts with antioxidant and radical scavenging effect. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 54(5-6), 319-324.
- García, S., Serna, S. (2019). Corn history and culture. Corn. Centro de Biotecnología FEMSA, Escuela de Ingeniería y Ciencias. Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Mexico, 1-18.
- Gong, X., Hui, X., Wu, G., Morton, J., Brennan, M., Brennan, C. S. (2022). In vitro digestion characteristics of cereal protein concentrates as assessed using a pepsin-pancreatin digestion model. *Food Research International*, 152, 110715.
- Guerrero, F., Flores, B., Gorbeña, J., Jaimes, M. (2021). Factors that affect the microbiological stability of "Chicha Morada" during its production on an industrial scale. *Journal of food protection*.
- Guijarro, M., Andrade, M., Bravo, J., Ramos, L., Vernaza, M. (2018). Andean blueberry (*Vaccinium floribundum*) bread: physicochemical properties and bioaccessibility of antioxidants. *Food Science and Technology*, 39, 56-62.
- Guzmán, F., Castro, J., Gómez, A., Mora, R., Rojas, A., Rodríguez, M. (2019). Enzyme activity during germination of different cereals: A review. *Food Reviews International*, 35(3), 177-200.
- Hallén, E., İbanoğlu, Ş., Ainsworth, P. (2004). Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *Journal of food engineering*, 63(2), 177-184.
- Heinonen, M. (2007). Antioxidant activity and antimicrobial effect of berry phenolics—a Finnish perspective. *Molecular nutrition & food research*, 51(6), 684-691.
- Hernández, J. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Obtenido de Greenpeace: <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/3/el-origen-yla-diversidad-del.pdf>.
- Hocine, R., Farid, D., Yasmine, S., Khodir, M., Kapranov, V. N., Kiselev, E. (2018). Recent advances on stability of anthocyanins. *Boletín de la Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia. Serie: Agronomía y Ganadería*, 13(4).
- ISO. (2017). Foodstuffs. Determination of water activity. International Standard. First Edition 2017-11
- Jayaram, V., Cuyvers, S., Verstrepen, K., Delcour, J., Courtin, C. (2014). Succinic acid in levels produced by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) during fermentation strongly impacts wheat bread dough properties. *Food chemistry*, 151, 421-428.
- Kaur, H., Gill, B. (2020). Comparative evaluation of physicochemical, nutritional and molecular interactions of flours from different cereals as affected by germination duration. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), 1147-1157.
- Khodarahmpour, Z. (2012). Morphological classification of maize (*Zea mays* L.) genotypes in heat stress condition. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 31.
- Konopka, I., Fornal, Ł., Abramczyk, D., Rothkaehl, J., Rotkiewicz, D. (2004). Statistical evaluation of different technological and rheological tests of Polish wheat varieties for bread volume prediction. *International journal of food science & technology*, 39(1), 11-20.
- Krasnikova, E., Krasnikov, A., Babushkin, V. (2020). The influence of composite flour mixtures on *saccharomyces cerevisiae* biotechnological properties and bread quality. In

- IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 421, No. 2, p. 022008). IOP Publishing.
- Lemmens, E., Moroni, A., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A. (2019). Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305-328.
- Lian, H., Luo, K., Gong, Y., Zhang, S., Serventi, L. (2020). Okara flours from chickpea and soy are thickeners: increased dough viscosity and moisture content in gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 805-812.
- Lopez, L., Oliart, R., Valerio, G., Lee, C. H., Parkin, K., Garcia, H. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1187-1192.
- Ma, X., Liu, Y., Liu, J., Zhang, J., Liu, R. (2020). Changes in starch structures and in vitro digestion characteristics during maize (*Zea mays* L.) germination. *Food Science & Nutrition*, 8(3), 1700-1708.
- Mansilla, P., Nazar, M., Pérez, G. (2020). Flour functional properties of purple maize (*Zea mays* L.) from Argentina. Influence of environmental growing conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 311-319.
- Martínez, L., Torres, N., Hilbert, G., Richard, T. (2014). Ultraviolet-B radiation modifies the quantitative and qualitative profile of flavonoids and amino acids in grape berries. *Phytochemistry*, 102, 106-114.
- Mateos, A. (2017). *La rueda migratoria: Tejiendo historias y experiencias de integración*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España. Página: 51
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., Silva, P. (2020). Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*, 25(17), 3809.
- Mei, Y., Song, S. (2008). Early morphological and physiological events occurring during germination of maize seeds. *Agricultural Sciences in China*, 7(8), 950-957.
- Mettler Toledo. (2020). SevenCompact pH meter S220. Recuperado el 12 de abril del 2022 de: https://www.mt.com/es/es/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/pH-meter/pH-meters/benchtop-pH-meter/sevencompact/S220-Meter.htm.
- Minitab. (2018). Detect autocorrelation in residuals. Minitab Support. Recuperado el 01 de junio del 2022 de: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/20/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- Minitab. (2018). Explicación de la prueba de varianzas iguales. Minitab Support. Recuperado el 01 de junio del 2022 de: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/20/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- Minitab. (2018). Test for Normality. Minitab Support. Recuperado el 01 de junio del 2022 de: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/20/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- Minitab. 2013. Regression Analysis: How Do I Interpret R-squared and Assess the Goodness-of-Fit? Minitab Blog. Recuperado el 27 de junio del 2022 de: <https://blog.minitab.com/en/adventures-in-statistics-2/regression-analysis-how-do-i-interpret-r-squared-and-assess-the-goodness-of-fit>
- Mojica, L., Meyer, A., Berhow, M., Mejía, E. (2015). Bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) have similar high antioxidant capacity, in vitro inhibition of α -amylase and α -glucosidase while diverse phenolic composition and concentration. *Food Research International*, 69, 38-48.

- Mojisola, E. (2011). A modified sourdough procedure for non-wheat bread from maize meal. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1264-1272.
- Montgomery, D. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons. 8th Edition.
- Murray, S., Flickinger, E., Patil, A., Merchen, N., Brent, J., Fahey, G. (2001). In vitro fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chyme from dogs. *Journal of animal science*, 79(2), 435-444.
- Narváez, E., Figueroa, D., Taba, S., Castaño, E., Martínez, R. (2007). Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotec. México*, Vol. 30 (3): 269 – 277.
- Nyambe, H., Villa, J., Ifie, I., Holmes, M., Aydin, E., Jensen, J. M. (2015). Inhibition of human α -amylase by dietary polyphenols. *Journal of Functional Foods*, 19, 723-732.
- Paucar, L., Martinez, C., Dueñas, M., Frias, J., Peñas, E. (2017). Optimization of germination time and temperature to maximize the content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 76, 236-244.
- Pedreschi, R., & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phenolic profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*, 100(3), 956-963.
- Peñaranda, J. D., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P. D., & Perezábad, L. (2021). Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100375.
- Peñaranda, J., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P. D., Perezábad, L. (2021). Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100375.
- Perry, L., Sandweiss, D., Piperno, D., Rademaker, K., Malpass, M. A., Umire, A. (2006). Early maize agriculture and interzonal interaction in southern Peru. *nature*, 440(7080), 76-79.
- Protonotariou, S., Stergiou, P., Christaki, M., Mandala, I. G. (2020). Physical properties and sensory evaluation of bread containing micronized whole wheat flour. *Food Chemistry*, 318, 126497.
- Raymaekers, J., Rousseeuw, P. (2021). Transforming variables to central normality. *Machine Learning*, 1-23.
- Rosell, C. M., Collar, C., Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 452-462.
- Rotronic. (2014). *HygroPalm HP23-A / HP23-AW-A Hand-Held Indicator*
- Saavedra, A., Almendariz, D., Navarrete, D., Vernaza, M. (2021). A new bread formulation based on a partial substitution of soursop residues flour through Mixolab and a process mixture design. *Food Science and Technology*.
- Salvador, R., Clerici, M. (2020). Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. *Food Research International*, 130, 108934.
- Samman, P., Vázquez, J. A., Pandiella, S. (2008) Controlled germination to enhance the functional properties of rice. *Process Biochemistry*, 43(12), 1377-1382.
- Schmiele, M., Felisberto, M., Clerici, M., & Chang, Y. (2017). Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. *LWT-Food Science and Technology*, 76, 259-269.
- Schopf, M., Scherf, K. A. (2021). Water absorption capacity determines the functionality of vital gluten related to specific bread volume. *Foods*, 10(2), 228.

- Shafisoltani, M., Salehifar, M., Hashemi, M. (2014). Effects of enzymatic treatment using response surface methodology on the quality of bread flour. *Food chemistry*, 148, 176-183.
- Shewry, P., Popineau, Y., Lafiandra, D., Belton, P. (2000). Wheat glutenin subunits and dough elasticity: findings of the EUROWHEAT project. *Trends in Food Science & Technology*, 11(12), 433-441.
- Shinde, S., Nelson, J., Huber, K. (2003). Soft wheat starch pasting behavior in relation to A- and B-type granule content and composition. *Cereal Chemistry*, 80(1), 91-98.
- Siddiq, M., Nasir, M., Ravi, R., Butt, M., Dolan, K., Harte, J. (2009). Effect of defatted maize germ flour addition on the physical and sensory quality of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 464-470.
- Simic, M., Zilic, S., Simuruna, O., Filipcev, B., Skrobot, D., Vancetovic, J. (2018). Effects of anthocyanin-rich popping maize flour on the phenolic profile and the antioxidant capacity of mix-bread and its physical and sensory properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(4).
- Singh, A., Rehal, J., Kaur, A., Jyot, G. (2015). Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1575-1589.
- Singh, S., Singh, N., Isono, N., Noda, T. (2010). Relationship of granule size distribution and amylopectin structure with pasting, thermal, and retrogradation properties in wheat starch. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(2), 1180-1188.
- Smith, I., Yu, J. (2015). Nutritional and sensory quality of bread containing different quantities of grape pomace from different grape cultivars. *EC Nutrition*, 2(1), 291-301.
- Staller, J. (2009). *Maize Cobs and Cultures: History of Zea mays L.* Springer Science & Business Media.
- Sun, H., Ju, Q., Ma, J., Chen, J., Li, Y., Yuan, Y. (2019). The effects of extruded corn flour on rheological properties of wheat-based composite dough and the bread quality. *Food science & nutrition*, 7(9), 2977-2985.
- Sun, Y., Miao, R., Guan, L. (2021). Effect of germinated brown rice flour on volatile compounds and sensory evaluation of germinated brown rice steamed bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e14994.
- Syamaladevi, R., Tang, J., Villa-Rojas, R., Sablani, S., Carter, B., Campbell, G. (2016). Influence of water activity on thermal resistance of microorganisms in low-moisture foods: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 353-370.
- Szewińska, J., Simińska, J., Bielawski, W. (2016). The roles of cysteine proteases and phytocystatins in development and germination of cereal seeds. *Journal of plant physiology*, 207, 10-21.
- Tasiguano, B., Villarreal, C., Schmiele, M., Vernaza, M. G. (2019). Efecto del tiempo de Cocción del Zapallo (*Cucurbita maxima*) y la adición de Glucosa Oxidasa en el Aumento de Almidón Resistente del Pan de Molde. *Información tecnológica*, 30(3), 167-178.
- Tebben, L., Shen, Y., Li, Y. (2018). Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 10-24.
- Tran, K., Konvalina, P., Capouchova, I., Janovska, D., Lacko-Bartosova, M., Kopecky, M. (2020). Comparative study on protein quality and rheological behavior of different wheat species. *Agronomy*, 10(11), 1763.

- Utrilla, R., Agama, E., Barba, A., Rodríguez, L., Bello, L. (2010). Physicochemical and enzyme characterization of small and large starch granules isolated from two maize cultivars. *Cereal Chemistry*, 87(1), 50-56.
- Villacrés, C., Tanquina, I., Yáñez, C., Quelal, B., Álvarez, J., Ramos, R. (2019). Impacto del procesamiento sobre los compuestos con propiedades antioxidante de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.).
- WAP. (2022). World Agricultural Production. World Corn Production 2021/2022. Recuperado el 08 de junio del 2022 de: <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/corn.aspx>
- Warrior, R. (2015). *The world of indigenous North America*. Routledge.
- Whistler, R., BeMiller, J., Paschall, E. (2012). *Starch: chemistry and technology*. Academic Press.
- Xiao, J., Ni, X., Kai, G., Chen, X. (2013). A review on structure–activity relationship of dietary polyphenols inhibiting α -amylase. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(5), 497-506.
- Xu, H., Liu, M., Liu, H., Zhao, B., Zheng, M., Liu, J. (2021). Anthocyanins from purple corn ameliorated obesity in high fat diet-induced obese mice through activating hepatic AMPK. *Journal of Functional Foods*, 84, 104582.
- Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., Heredia, J., Sangoquiza, C., Villacrés, E. (2016). Ficha Técnica de la Variedad de maíz negro INIAP-199 “Racimo de Uva”.
- Yaseen, A., Shouk, A., Ramadan, M. (2010). Corn-wheat pan bread quality as affected by hydrocolloids. *Journal of American Science*, 6(10), 684-690.
- Yongfeng, A., Jay, J. *Understanding Starch Structure and Functionality*. *Starch in Food Structure, Function and Applications*, 2nd edition, Woodhead Publishing, Elsevier Inc., 2018, pp. 151–169.
- Zhou, W., Therdthai, N., Hui, Y. (2014). Introduction to baking and bakery products. *Bakery products science and technology*, 1-16.
- Žilić, S., Serpen, A., Akilhoğlu, G., Gökmen, V., Vančetović, J. (2012). Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 60(5), 1224-1231.

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Hojas de Resultados Mixolab.....	63
Anexo B: Tabla de Resultados para las 18 Corridas Experimentales.....	69
Anexo C: ANOVA y Pruebas De Tukey Obtenidas de La Evaluación Sensorial.....	72
Anexo D: Modelo Cuestionario y Consentimiento Informado Evaluación Sensorial.....	77
Anexo E: Matriz de Aleatorización Para 78 Participantes.....	78
Anexo F: ANOVA Y Pruebas De Tukey para Parámetros Físico Químicos de Pan Blanco, Pan con 8% de Maíz No Germinado y Pan con 18% de Maíz No Germinado.....	79
Anexo G: Fotografías Pan Elaborado.....	84
Anexo H: Fotografías Evaluación Sensorial.....	85

ANEXO A: HOJAS DE RESULTADOS MIXOLAB

A.1 Análisis Mixolab: 8% de Harina de Maíz Morado No Germinado

MIXOLAB



CHOPIN Technologies_INIAP, EESC, DNC
 Panamericana Sur Km. 1
 Sector Cutuglagua
 17110 Cantón Mejía, Pichincha
 Ecuador

Harina de maiz morado-11 hmmorado sing

Fecha : 06/04/2022 Hora : 11:48

Muestra :

Hidratación : 60,0 % base 14% (b14)

Contenido de 11,7 %

Indice: 7-54-222

Metódica : Chopin+

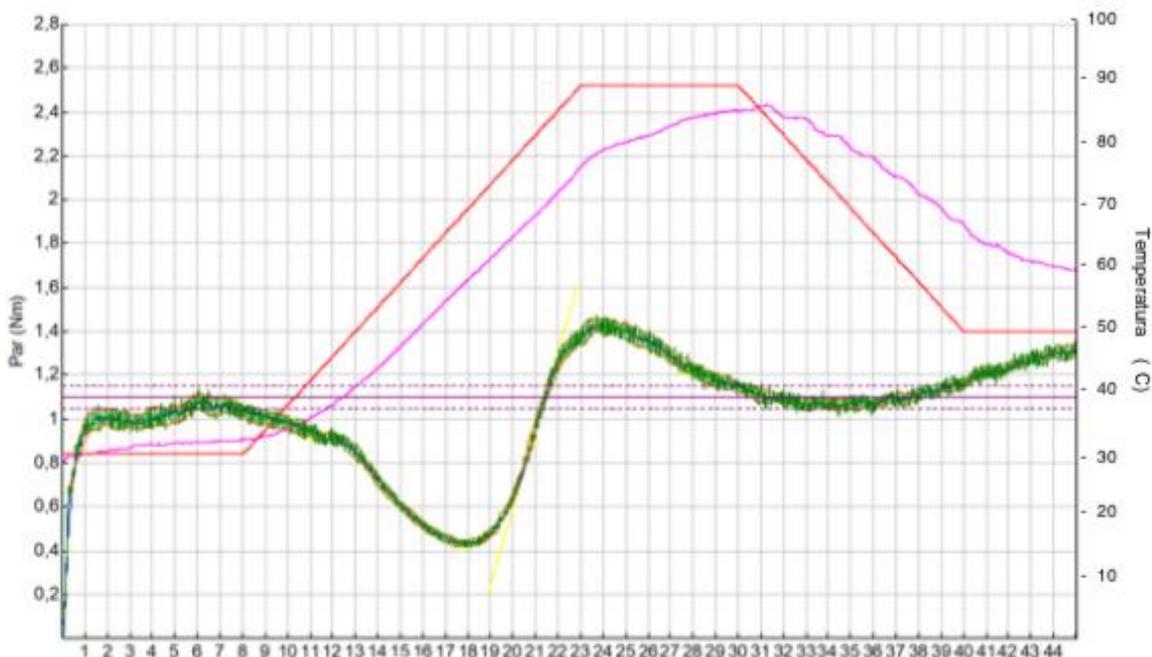
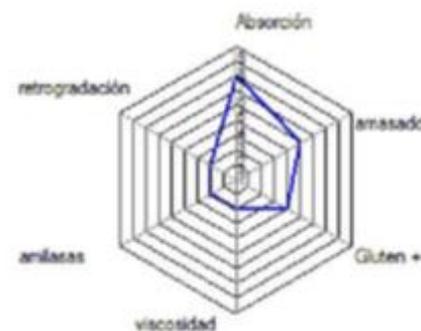
Peso de la masa 75,0 g

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,052	Nm/min
β :	0,352	Nm/min
γ :	-0,022	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	6,00	1,08	32,1	0,07	10,07
C2	17,70	0,43	57,4		
C3	24,05	1,43	79,6		
C4	34,48	1,06	81,8		
C5	45,02	1,32	59,8		



A.2 Análisis Mixolab: 16% de Harina de Maíz Morado No Germinado

MIXOLAB



CHOPIN Technologies_INIAP, EESC, DNC
 Panamericana Sur Km. 1
 Sector Cutuglagua
 17110 Cantón Mejía, Pichincha
 Ecuador

Harina de maíz morado-21 hmmorado sin g

Fecha : 07/04/2022 Hora : 09:52

Muestra :

Hidratación : 58,7 % base 14% (b14)

Contenido de 11,7 %

Indice: 5-63-222

Metódica : Chopin+

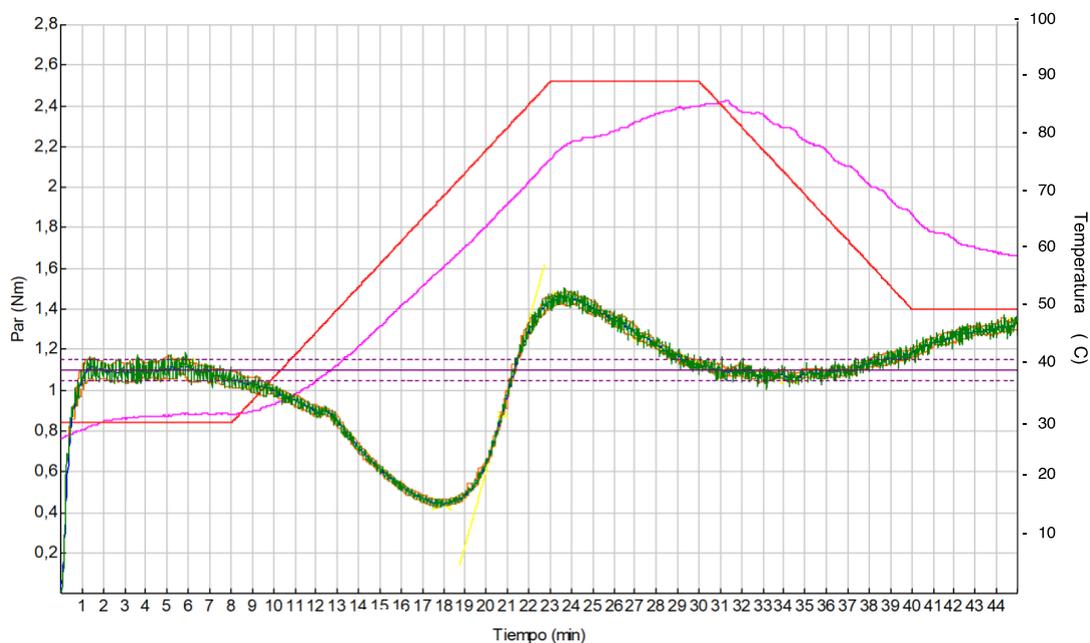
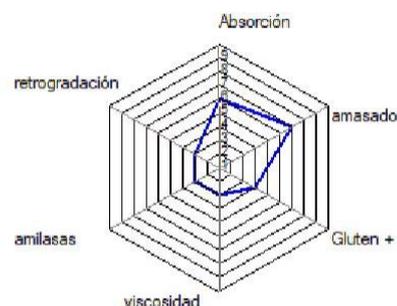
Peso de la masa 75,0 g

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,030	Nm/min
β :	0,370	Nm/min
γ :	-0,038	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	5,82	1,13	31,5	0,08	9,58
C2	17,93	0,44	57,2		
C3	23,57	1,46	78,3		
C4	34,25	1,06	81,9		
C5	45,02	1,33	59,3		



A.3 Análisis Mixolab: 24% de Harina de Maíz Morado No Germinado

MIXOLAB



CHOPIN Technologies_INIAP, EESC, DNC
 Panamericana Sur Km. 1
 Sector Cutuglagua
 17110 Cantón Mejía, Pichincha
 Ecuador

Harina de maiz morado-31 hmmorado sing

Fecha : 06/04/2022 **Hora :** 10:37

Muestra :

Hidratación : 57,9 % base 14% (b14)

Contenido de 11,7 %

Indice: 4-43-222

Metódica : Chopin+

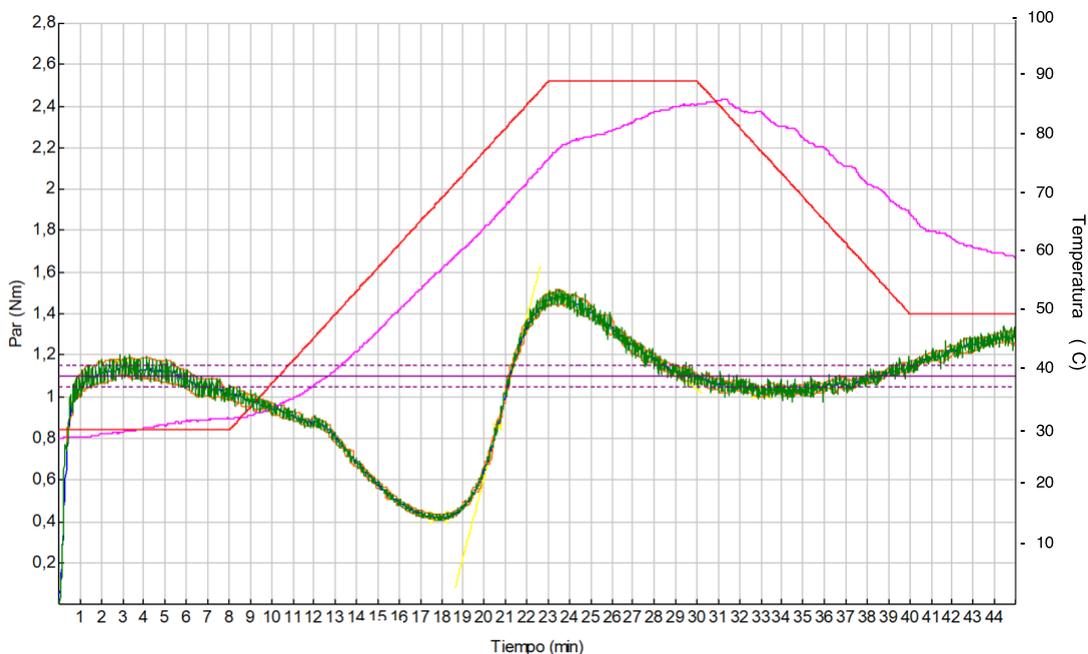
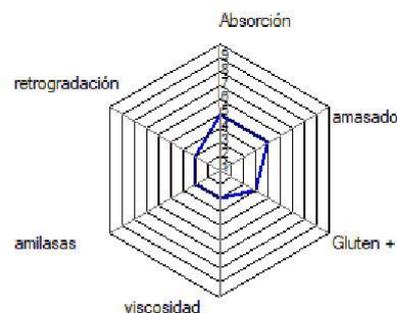
Peso de la masa 75,0 g

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,044	Nm/min
β :	0,386	Nm/min
γ :	-0,072	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	3,05	1,15	29,7	0,08	8,12
C2	17,87	0,42	57,2		
C3	23,42	1,48	78,1		
C4	33,03	1,02	84,6		
C5	45,02	1,29	59,6		



A.4 Análisis Mixolab: 8% de Harina de Maíz Morado Germinado

MIXOLAB



CHOPIN Technologies_INIAP, EESC, DNC
 Panamericana Sur Km. 1
 Sector Cutuglagua
 17110 Cantón Mejía, Pichincha
 Ecuador

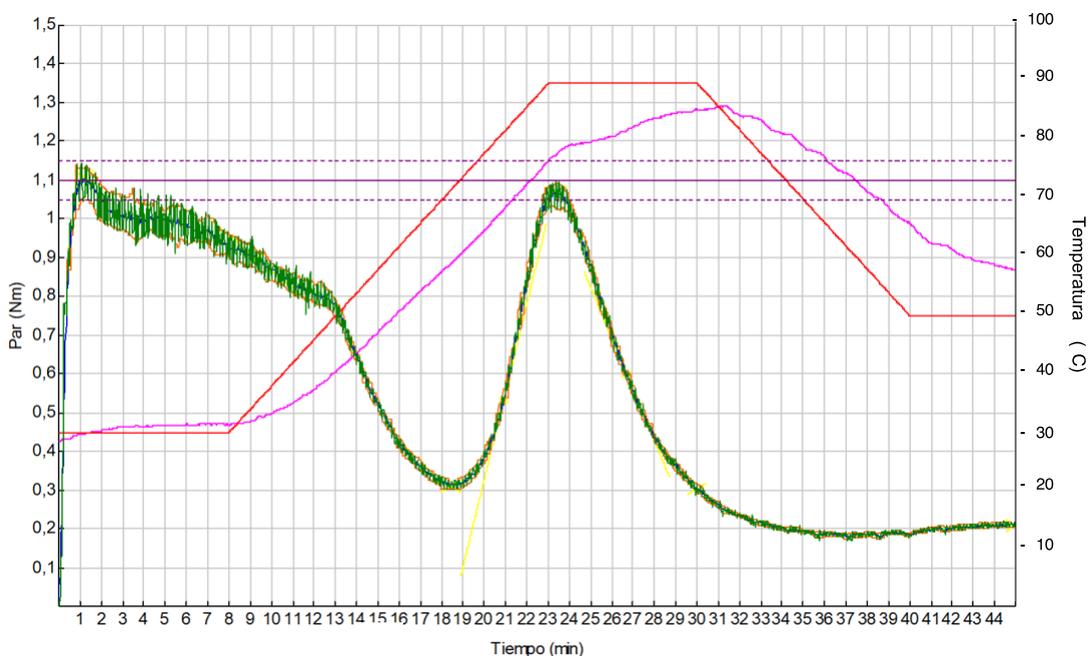
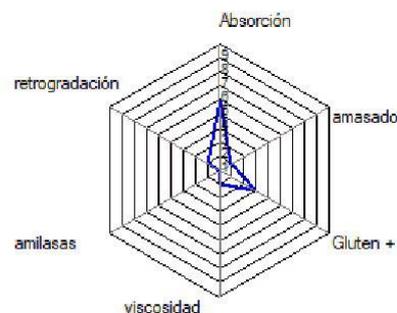
Harina de maiz morado-41 hmmorado con g

Fecha : 12/04/2022 **Hora :** 11:00
Muestra :
Hidratación : 58,0 % base 14% (b14)
Contenido de 11,5 %
Indice: 5-13-101

Metódica : Chopin+
Peso de la masa 75,0 g
Temperatura del 30,0 °C
Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,046	Nm/min
β :	0,226	Nm/min
γ :	-0,132	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,18	1,11	29,6	0,08	6,78
C2	18,42	0,31	59,0		
C3	23,40	1,07	77,8		
C4	30,00	0,30	85,5		
C5	45,00	0,21	57,8		



A.5. Análisis Mixolab: 16% de Harina de Maíz Morado Germinado

MIXOLAB

CHOPIN Technologies_INIAP, EESC, DNC
Panamericana Sur Km. 1
Sector Cutuglagua
17110 Cantón Mejía, Pichincha
Ecuador

Harina de maiz morado-51 hmmorado cong

Fecha : 13/04/2022 **Hora :** 12:50

Muestra :

Hidratación : 58,0 % base 14% (b14)

Contenido de 11,0 %

Indice: 5-15-101

Metódica : Chopin+

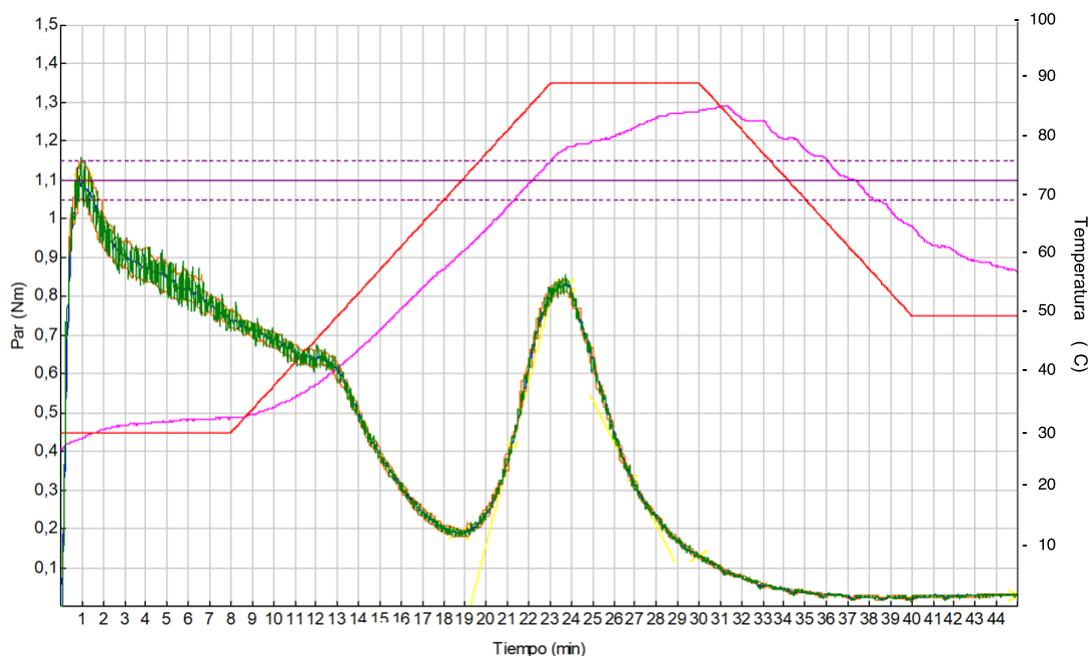
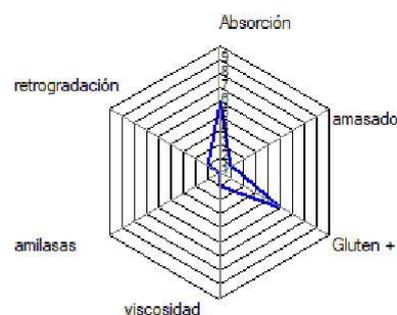
Peso de la masa 75,0 g

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,034	Nm/min
β :	0,210	Nm/min
γ :	-0,108	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1,03	1,10	29,0	0,10	2,00
C2	18,70	0,19	60,4		
C3	23,73	0,83	78,8		
C4	30,00	0,13	85,3		
C5	45,00	0,03	57,7		



A.6. Análisis Mixolab: 16% de Harina de Maíz Morado Germinado

MIXOLAB



CHOPIN Technologies_INIAP, EESC, DNC
 Panamericana Sur Km. 1
 Sector Cutuglagua
 17110 Cantón Mejía, Pichincha
 Ecuador

Harina de maiz morado-61 hmmorado cong

Fecha : 12/04/2022 **Hora :** 13:52

Muestra :

Hidratación : 57,1 % base 14% (b14)

Contenido de 10,6 %

Indice: 3-05-111

Metódica : Chopin+

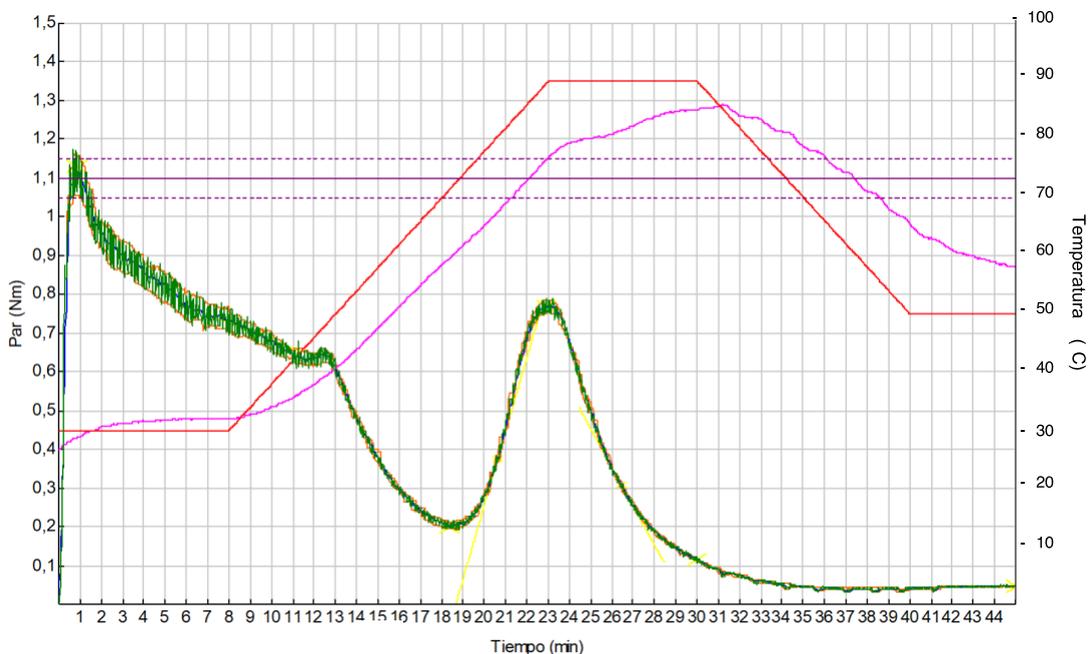
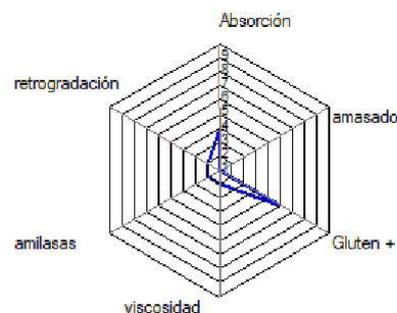
Peso de la masa 75,0 g

Temperatura del 30,0 °C

Velocidad de amasado : 80 rpm

α :	-0,022	Nm/min
β :	0,190	Nm/min
γ :	-0,100	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	0,83	1,13	28,6	0,11	1,42
C2	18,37	0,20	59,5		
C3	22,92	0,77	76,5		
C4	30,00	0,12	85,1		
C5	45,02	0,05	58,0		



ANEXO B: TABLA DE RESULTADOS PARA LAS 18 CORRIDAS
EXPERIMENTALES

B.1 Resultados Mixolab parte 1.

Código	Germinación	% Harina de Maíz Morado	Absorción de agua	DDT	Amplitud	Estabilidad
11	NO	8	60,00	6,00	0,07	10,07
21	NO	16	58,70	5,82	0,08	9,58
31	NO	24	57,90	3,05	0,08	8,12
41	SI	8	58,00	1,18	0,08	6,78
51	SI	16	58,00	1,03	0,10	2,00
61	SI	24	57,10	0,83	0,11	1,42
12	NO	8	60,00	5,67	0,08	9,83
22	NO	16	58,80	6,15	0,10	9,85
32	NO	24	58,00	3,63	0,09	9,83
42	SI	8	57,90	1,02	0,10	5,68
52	SI	16	57,70	1,12	0,10	2,25
62	SI	24	57,00	0,67	0,12	1,60
13	NO	8	59,70	5,93	0,08	9,72
23	NO	16	58,80	5,72	0,10	9,82
33	NO	24	57,90	1,73	0,11	8,18
43	SI	8	57,70	1,35	0,10	5,25
53	SI	16	57,70	0,92	0,10	4,38
63	SI	24	57,10	0,75	0,12	2,08

B.2 Resultados Mixolab parte 2.

Código	Germinación	% Harina de Maíz Morado	C2	C3	C4	C5
11	NO	8	0,43	1,43	1,06	1,32
21	NO	16	0,44	1,46	1,06	1,33
31	NO	24	0,42	1,48	1,02	1,29
41	SI	8	0,31	1,07	0,30	0,21
51	SI	16	0,19	0,83	0,13	0,03
61	SI	24	0,20	0,77	0,12	0,05
12	NO	8	0,43	1,41	1,07	1,35
22	NO	16	0,41	1,42	1,00	1,25
32	NO	24	0,43	1,52	1,06	1,38
42	SI	8	0,28	1,01	0,27	0,17
52	SI	16	0,22	0,89	0,17	0,07
62	SI	24	0,19	0,76	0,10	0,03
13	NO	8	0,40	1,37	1,03	1,25
23	NO	16	0,40	1,42	0,98	1,21
33	NO	24	0,41	1,47	1,01	1,30
43	SI	8	0,26	0,99	0,24	0,15
53	SI	16	0,24	0,91	0,17	0,08
63	SI	24	0,18	0,79	0,08	0,01

B.3 Resultados Físico Químicos.

Código	Germinación	% Harina de Maíz Morado	Cambio de pH al Leudar	pH de Pan Horneado	Volumen Específico de Pan	Humedad de Pan	aW de Pan Horneado
11	NO	8	0,07	5,60	3,17	37,06	0,911
21	NO	16	0,12	5,57	3,04	38,63	0,926
31	NO	24	0,15	5,55	2,98	37,54	0,921
41	SI	8	0,15	5,50	3,39	38,24	0,921
51	SI	16	0,15	5,49	3,32	36,88	0,932
61	SI	24	0,16	5,41	3,53	39,29	0,931
12	NO	8	0,06	5,58	3,14	38,60	0,916
22	NO	16	0,09	5,60	3,10	38,73	0,918
32	NO	24	0,10	5,57	3,07	41,63	0,932
42	SI	8	0,11	5,52	3,26	37,77	0,918
52	SI	16	0,14	5,46	3,46	35,51	0,917
62	SI	24	0,17	5,45	3,49	41,62	0,918
13	NO	8	0,09	5,59	3,09	37,10	0,920
23	NO	16	0,13	5,56	2,96	38,14	0,917
33	NO	24	0,11	5,55	2,91	37,97	0,930
43	SI	8	0,13	5,51	3,30	35,60	0,910
53	SI	16	0,13	5,47	3,37	38,18	0,923
63	SI	24	0,21	5,44	3,54	40,10	0,933

ANEXO C: ANOVA Y PRUEBAS DE TUKEY OBTENIDAS DE LA EVALUACIÓN
SENSORIAL

C1. ANOVA DE ATRIBUTO GUSTO TOTAL

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Persona	Random	78 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
Producto	Fixed	3 D24, P55, W88
Orden de Presentación	Fixed	3 1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persona	77	241.795	3.1402	1.10	0.304
Producto	2	10.179	5.0897	1.79	0.171
Orden de Presentación	2	1.231	0.6154	0.22	0.806
Error	152	433.256	2.8504		
Total	233	686.462			

C2. ANOVA DE ATRIBUTO SENSACION EN BOCA

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Persona	Random	78 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
Producto	Fixed	3 D24, P55, W88
Orden de Presentación	Fixed	3 1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persona	77	332.96	4.3242	1.00	0.488
Producto	2	80.54	40.2692	9.33	0.000
Orden de Presentación	2	1.26	0.6282	0.15	0.865
Error	152	656.21	4.3171		
Total	233	1070.96			

Tukey Pairwise Comparisons: Producto

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Producto	N	Mean	Grouping
D24	78	7.00000	A
W88	78	6.46154	A
P55	78	5.57692	B

Means that do not share a letter are significantly different.

C3. ANOVA DE ATRIBUTO SABOR

SABOR**Factor Information**

Factor	Type	Levels Values
Persona	Random	78 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
Producto	Fixed	3 D24, P55, W88
Orden de Presentación	Fixed	3 1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persona	77	287.765	3.7372	1.32	0.076
Producto	2	1.188	0.5940	0.21	0.811
Orden de Presentación	2	1.137	0.5684	0.20	0.819
Error	152	431.009	2.8356		
Total	233	721.098			

C4. ANOVA DE ATRIBUTO AROMA

AROMA

Factor Information

Factor	Type	Levels Values
Persona	Random	78 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
Producto	Fixed	3 D24, P55, W88
Orden de Presentación	Fixed	3 1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persona	77	310.462	4.032	1.27	0.107
Producto	2	7.000	3.500	1.10	0.335
Orden de Presentación	2	4.692	2.346	0.74	0.479
Error	152	482.308	3.173		
Total	233	804.462			

C5. ANOVA DE ATRIBUTO COLOR

COLOR**Factor Information**

Factor	Type	Levels Values
Persona	Random	78 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78
Producto	Fixed	3 D24, P55, W88
Orden de Presentación	Fixed	3 1, 2, 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Persona	77	336.74	4.3732	1.02	0.445
Producto	2	39.62	19.8120	4.64	0.011
Orden de Presentación	2	0.14	0.0684	0.02	0.984
Error	152	649.57	4.2735		
Total	233	1026.07			

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence**Producto N Mean Grouping**

P55	78	6.80769	A
W88	78	6.03846	A B
D24	78	5.85897	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ANEXO D: MODELO CUESTIONARIO Y CONSENTIMIENTO INFORMADO
EVALUACIÓN SENSORIAL

Edad:

Género:

Frente a usted se presenta una muestra de pan. Por favor, escriba el código de la muestra en su plato _____
ingrese toda la muestra a su boca, mastique, e ingiérala si gusta. A continuación, conteste las siguientes preguntas.

Tomando en cuenta **todas las características del pan en conjunto** (aroma, sensación en boca, sabor) Cuánto le gustó o disgustó **la muestra en general**? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

En cuanto a la sensación en boca (dureza), cuánto le gustó o disgustó la muestra? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

En cuanto al sabor, cuánto le gustó o disgustó la muestra? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

En cuanto al aroma, cuánto le gustó o disgustó la muestra? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

**Si ya respondió todas las preguntas, por favor, beba un sorbo de agua del vaso, enjuagando su boca.
Después, presione el interruptor enfrente suyo, y espere sentado las instrucciones del anfitrión.**

Edad:

Género:

Frente a usted se presenta una muestra de pan. Por favor, escriba el código de la muestra en su plato _____

En cuanto al color, cuánto le gustó o disgustó la muestra? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

Frente a usted se presenta otra muestra de pan. Por favor, escriba el código de la muestra en su plato _____

En cuanto al color, cuánto le gustó o disgustó la muestra? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

Frente a usted se presenta otra muestra de pan. Por favor, escriba el código de la muestra en su plato _____

En cuanto al color, cuánto le gustó o disgustó la muestra? Seleccione solo un recuadro.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me disgusta en extremo				Ni me gusta Ni me disgusta				Me gusta en extremo

Consentimiento informado

En la presente evaluación sensorial a realizarse se degustarán 3 muestras de pan. Yo, _____
acepto participar en la evaluación sensorial. Comprendo que este
producto contiene gluten, afirmo no presentar intolerancia, alergia o sensibilidad a este componente.

Fecha:.....

CI:.....

Firma:.....

ANEXO E: MATRIZ DE ALEATORIZACIÓN PARA 78 PARTICIPANTES

Juez N°	Orden Presentación			Juez N°	Orden Presentación		
	1	2	3		1	2	3
1	D24	P55	W88	40	P55	D24	W88
2	P55	W88	D24	41	D24	W88	P55
3	W88	D24	P55	42	W88	P55	D24
4	W88	P55	D24	43	D24	P55	W88
5	P55	D24	W88	44	W88	D24	P55
6	D24	W88	P55	45	P55	W88	D24
7	D24	W88	P55	46	D24	W88	P55
8	P55	D24	W88	47	P55	D24	W88
9	W88	P55	D24	48	W88	P55	D24
10	P55	W88	D24	49	P55	D24	W88
11	W88	D24	P55	50	D24	W88	P55
12	D24	P55	W88	51	W88	P55	D24
13	D24	P55	W88	52	P55	W88	D24
14	W88	D24	P55	53	W88	D24	P55
15	P55	W88	D24	54	D24	P55	W88
16	W88	P55	D24	55	D24	W88	P55
17	D24	W88	P55	56	P55	D24	W88
18	P55	D24	W88	57	W88	P55	D24
19	D24	P55	W88	58	W88	D24	P55
20	W88	D24	P55	59	P55	W88	D24
21	P55	W88	D24	60	D24	P55	W88
22	P55	D24	W88	61	P55	W88	D24
23	D24	W88	P55	62	W88	D24	P55
24	W88	P55	D24	63	D24	P55	W88
25	P55	W88	D24	64	P55	D24	W88
26	D24	P55	W88	65	D24	W88	P55
27	W88	D24	P55	66	W88	P55	D24
28	P55	D24	W88	67	P55	W88	D24
29	D24	W88	P55	68	D24	P55	W88
30	W88	P55	D24	69	W88	D24	P55
31	W88	D24	P55	70	P55	D24	W88
32	P55	W88	D24	71	W88	P55	D24
33	D24	P55	W88	72	D24	W88	P55
34	P55	D24	W88	73	W88	D24	P55
35	W88	P55	D24	74	P55	W88	D24
36	D24	W88	P55	75	D24	P55	W88
37	P55	W88	D24	76	P55	D24	W88
38	D24	P55	W88	77	W88	P55	D24
39	W88	D24	P55	78	D24	W88	P55

ANEXO F: ANOVA Y PRUEBAS DE TUKEY PARA PARAMETROS FISICO QUIMICOS DE PAN BLANCO, PAN CON 8% DE MAÍZ NO GERMINADO Y PAN CON 18% DE MAÍZ NO GERMINADO

F1. ANOVA Actividad de Agua

ANOVA: Aw

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% Maíz	2	0.000116	0.000058	1.83	0.239
Morado					
Error	6	0.000189	0.000031		
Total	8	0.000305			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0056119	37.95%	17.27%	0.00%

Means

% Maíz				
Morado	N	Mean	StDev	95% CI
0	3	0.91222	0.00403	(0.90429, 0.92015)
8	3	0.91667	0.00578	(0.90874, 0.92459)
18	3	0.92100	0.00669	(0.91307, 0.92893)

Pooled StDev = 0.00561194

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

% Maíz		
Morado	N	Mean Grouping
18	3	0.92100 A
8	3	0.91667 A
0	3	0.91222 A

Means that do not share a letter are significantly different.

F2. ANOVA Humedad

ANOVA: Humedad**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% Maíz	2	9.7674	4.8837	38.98	0.000
Morado					
Error	6	0.7517	0.1253		
Total	8	10.5191			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.353952	92.85%	90.47%	83.92%

Means

% Maíz				
Morado	N	Mean	StDev	95% CI
0	3	35.873	0.244	(35.373, 36.373)
8	3	36.856	0.534	(36.356, 37.356)
18	3	38.404	0.175	(37.904, 38.904)

Pooled StDev = 0.353952

Tukey Pairwise Comparisons**Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence**

% Maíz			
Morado	N	Mean	Grouping
18	3	38.404	A
8	3	36.856	B
0	3	35.873	C

Means that do not share a letter are significantly different.

F2. ANOVA Diferencia pH

ANOVA: Diferencia pH**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% Maíz	2	0.006052	0.003026	8.06	0.020
Morado					
Error	6	0.002252	0.000375		
Total	8	0.008304			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0193729	72.88%	63.84%	38.98%

Means

% Maíz				
Morado	N	Mean	StDev	95% CI
0	3	0.04222	0.01262	(0.01485, 0.06959)
8	3	0.0800	0.0208	(0.0526, 0.1074)
18	3	0.1053	0.0231	(0.0780, 0.1327)

Pooled StDev = 0.0193729

Tukey Pairwise Comparisons**Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence**

% Maíz				
Morado	N	Mean	Grouping	
18	3	0.1053	A	
8	3	0.0800	A	B
0	3	0.04222	B	

Means that do not share a letter are significantly different.

F3. ANOVA pH Pan Horneado

ANOVA: pH Pan Horneado**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% Maíz	2	0.005830	0.002915	62.13	0.000
Morado					
Error	6	0.000281	0.000047		
Total	8	0.006111			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0068493	95.39%	93.86%	89.64%

Means

% Maíz				
Morado	N	Mean	StDev	95% CI
0	3	5.57889	0.00839	(5.56921, 5.58857)
8	3	5.60667	0.00667	(5.59699, 5.61634)
18	3	5.54444	0.00509	(5.53477, 5.55412)

Pooled StDev = 0.00684935

Tukey Pairwise Comparisons**Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence**

% Maíz			
Morado	N	Mean	Grouping
8	3	5.60667	A
0	3	5.57889	B
18	3	5.54444	C

Means that do not share a letter are significantly different.

F4. ANOVA Volumen Específico

ANOVA: Volumen Específico**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
% Maíz	2	0.015243	0.007622	38.42	0.000
Morado					
Error	6	0.001190	0.000198		
Total	8	0.016434			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0140854	92.76%	90.34%	83.70%

Means

% Maíz				
Morado	N	Mean	StDev	95% CI
0	3	3.15370	0.01731	(3.13380, 3.17360)
8	3	3.10439	0.00566	(3.08449, 3.12428)
18	3	3.05290	0.01624	(3.03300, 3.07280)

Pooled StDev = 0.0140854

Tukey Pairwise Comparisons**Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence**

% Maíz			
Morado	N	Mean	Grouping
0	3	3.15370	A
8	3	3.10439	B
18	3	3.05290	C

Means that do not share a letter are significantly different.

ANEXO G: FOTOGRAFÍAS PAN ELABORADO



De izquierda a derecha: Rebanada de pan molde realizado con 8% de harina de maíz morado no germinado, Rebanada de pan molde realizado con 16% de harina de maíz morado no germinado, Rebanada de pan molde realizado con 24% de harina de maíz morado no germinado



De izquierda a derecha: Rebanada de pan molde realizado con 8% de harina de maíz morado germinado, Rebanada de pan molde realizado con 16% de harina de maíz morado germinado, Rebanada de pan molde realizado con 24% de harina de maíz morado germinado



De izquierda a derecha: Pan molde blanco, Rebanada de pan blanco, Pan molde con 8% de maíz morado no germinado, Rebanada de pan con 8% de harina de maíz morado no germinado, Pan molde con 18% de maíz morado no germinado, Rebanada de pan con 18% de harina de maíz morado no germinado.

ANEXO H: FOTOGRAFÍAS EVALUACIÓN SENSORIAL

