

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de la Utilización de Residuos Industriales del
Procesamiento de Pulpa de Mango (*Mangifera indica* L.) y la
Adición de la Enzima Celulasa en Pan de Molde**

Proyecto de Investigación

Dariela Celeste Ortiz Gavela

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera en Alimentos

Quito, 11 de mayo del 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Estudio de la Utilización de Residuos Industriales del Procesamiento de Pulpa de Mango (*Mangifera indica* L.) y la Adición de la Enzima Celulasa en Pan de Molde

Dariela Celeste Ortiz Gavela

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

María Gabriela Vernaza, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 11 de mayo de 2018

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 el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Dariela Celeste Ortiz Gavela

Código:

00112439

Cédula de Identidad:

175024159-6

Lugar y fecha:

Quito, 11 de mayo de 2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios que por su gracia y voluntad he podido culminar una etapa más en mi vida y me dio las fuerzas necesarias para seguir adelante.

A mis padres Oswaldo Ortiz y Nancy Gavela los cuales son el pilar de mi vida. Les agradezco por toda la paciencia y porque me han guiado y aconsejado durante toda mi vida. Me han sabido enseñar la importancia de la educación y me han permitido cumplir una meta más.

A mis hermanas Eliana Ortiz Gavela y Alejandra Ortiz Gavela que son las personas más importantes en mi vida. Les agradezco por todo el apoyo que me han brindado y por todo su amor incondicional.

A todos mis profesores, en especial a Gaby Vernaza mi tutora de trabajo de titulación le agradezco por guiarme y apoyarme en todo este proceso.

A mi familia en general, abuelitos, tíos, tías y primas. Les agradezco por todo el amor y apoyo incondicional que me brindaron para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis amigas y amigos Bato Tasiguano, Cami Villarreal, Andre Álvarez, Galito Rosero y en especial Tommy Peñaherrera; los cuales me han acompañado y han hecho de esta experiencia una de las mejores e inolvidables.

RESUMEN

El mango (*Mangifera indica L.*) es la fruta tropical de mayor peso e importancia en el mercado mundial. Uno de los problemas que presenta el procesamiento de mango es el desperdicio alrededor de 40% de materia prima en la elaboración de pulpa de mango. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mango (HM) obtenido de los residuos industriales como las cáscaras de mango y bagazo del procesamiento de su pulpa y la adición de la enzima celulasa (EC) en pan de molde. Se utilizó un Diseño Central Compuesto (DCC) con arreglo factorial de 2^2 . Los factores bajo estudio fueron la HM (0g/100g-15g/100g) y EC (0ppm-30ppm). Se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) y se obtuvieron modelos matemáticos con una significancia del 10% ($p < 0.10$) y un R^2 mínimo de 0,80. Las propiedades reológicas que se analizaron en Mixolab™ fueron absorción de agua (g/100g), amplitud, DDT (min), estabilidad (min), C1 (Nm), Slope α , C2 (Nm), C2-C1, Slope β , C3, C3-C2, Slope γ , C4 (Nm), C4-C3, C5 (Nm) y C5-C4. Las propiedades físico-químicas que se analizaron fueron pH de las masas antes y después de la fermentación, volumen específico (cm³/g), pH del pan, humedad (g/100g), actividad acuosa (Aw) y fibra dietética total (FDT) (g/100g). Adicionalmente, se realizó una evaluación sensorial donde se analizaron los atributos como el sabor y la dureza de la miga. En los resultados del Mixolab™, se observó que la adición de EC y HM disminuyó la absorción de agua, C3 y aumentó el DDT, Slope α , C5 y C5-C4. La adición de EC aumentó el slope β y C4 mientras que las mismas disminuyeron con la adición de HM. La estabilidad aumentó con la adición de HM y disminuyó con la EC. El pH de las masas antes y después de la fermentación disminuyó al adicionar HM así como el pH del pan y el volumen específico; sin embargo se ve un aumento del volumen específico al adicionar EC. La FDT aumentó con valores altos de HM y EC mientras que a valores centrales disminuyó. El análisis de evaluación sensorial demostró que el tratamiento de pan optimizado con 29,96ppm de EC y 8,02g/100g de HM tuvo la misma aceptación en cuanto sabor y textura que el pan control por lo tanto se pueden realizar panes con niveles medios de sustitución de HM y altos de EC, que tengan aceptación de los consumidores y características físico-químicas deseables.

Palabras clave: celulasa, cáscaras de mango, fibra dietética, pan.

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica* L.) is a tropical fruit with a lot of importance in the world market. One of the problems presented by mango processing is the waste of around 40% of the raw material in the production of mango pulp. The objective of this study was to evaluate the effect of the partial substitution of wheat flour for mango flour (HM) obtained from industrial residues such as mango peels and bagasse from the processing of mango pulp (*Mangifera indica* L.) and the addition of cellulase enzyme (EC) in bread. The experimental design was Central Composite Design (CCD) with factorial arrangement of 2^2 . The factors under study were HM (0 g/100g - 15g/100g) and EC (0 ppm – 30 ppm). The Response Surface Methodology (MSR) was used and mathematical models were obtained with a significance of 10% ($p < 0.10$) and a minimum R^2 of 0.80. The rheological properties analyzed in the Mixolab™ were water absorption (g/100g), amplitude, DDT (min), stability (min), C1 (Nm), Slope α , C2 (Nm), C2-C1, Slope β , C3, C3-C2, Slope γ , C4 (Nm), C4-C3, C5 (Nm) and C5-C4. The physical-chemical properties analyzed were pH of the dough before and after fermentation, specific volume (cm^3/g), bread pH, humidity (g/100g), water activity (A_w) and total dietary fiber (FDT) (g/100g). Additionally, it was performed a sensory evaluation in which it analyzed two attributes like taste and hardness of the crumb. In the results of the Mixolab™, the addition of EC and HM decreased the water absorption, C3 and increased the DDT, Slope α , C5 and C5-C4. The addition of EC increased the slope β and C4 while they decreased with the addition of HM. Stability increased with the addition of HM and decreased with the EC. The pH of the dough before and after the fermentation decreased when adding HM as well as the pH of the bread and the specific volume; nevertheless, is seen an increase of the specific volume when adding EC. The FDT increased with high values of HM and EC while at central values it decreased. The sensory evaluation analysis showed that optimized bread treatment with 29,96ppm of EC and 8,02 g/100g of HM had the same acceptance in terms of taste and texture as control bread, therefore bread with average levels of substitution of HM and high of EC, have consumer acceptance and desirable physical-chemical characteristics.

Key words: cellulase, mango peels, dietary fiber, bread.

TABLA DE CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN	10
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2.METODOLOGÍA	14
2.1 Materias Primas	14
2.2 Diseño experimental.....	14
2.3 Proceso de elaboración de harina de mango	15
2.4 Proceso de elaboración del pan de molde	16
2.5 Caracterización de las masas	18
2.5.1 Análisis Reológicos- Mixolab™	18
2.5.2 pH de las masas	18
2.6 Caracterización del pan de molde	18
2.6.1 Volumen específico (cm ³ /g)	18
2.6.2 pH de los panes	19
2.6.3 Actividad acuosa (Aw)	19
2.6.4 Porcentaje de Humedad (g/100g).....	19
2.6.5 Fibra Dietética Total FDT (g/100g)	19
2.7 Función de Deseabilidad	20
2.8 Análisis sensorial	21
2.9 Análisis estadístico	22
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1 Caracterización de las materias primas	22
3.2 Caracterización de las masas	23
3.2.1 Análisis reológicos – Mixolab™	23
3.2.1.1 Absorción de agua (g/100g)	28
3.2.1.2 DDT o tiempo de desarrollo de la masa (min)	29
3.2.1.3 Estabilidad (min).....	29
3.2.1.4 Slope alfa o pendiente alfa.....	30
3.2.1.5 Slope beta o pendiente beta	31
3.2.1.6 C3 (Nm) o la tasa de gelatinización del almidón	32
3.2.1.7 C4 (Nm) o estabilidad del gel formado	32
3.2.1.8 C5 (Nm) y C5-C4 (Nm) o retrogradación almidón durante el enfriamiento	33
3.2.2 pH de las masas	34
3.3 Caracterización de los panes	37
3.3.1 Volumen específico	38
3.3.2 pH del pan	39
3.3.3 Fibra Dietaría Total FDT (g/100g)	40
3.4 Función de Deseabilidad	40
3.5 Análisis Sensorial.....	42
4.CONCLUSIONES	44
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
6. ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores utilizados para el diseño DCC.	15
Tabla 2. Matriz de tratamientos	15
Tabla 3. Análisis proximal de la harina de mango y harina de trigo.....	22
Tabla 4. Datos de análisis reológicos Mixolab™.	25
Tabla 5. Modelos matemáticos de las variables de respuesta en el análisis reológico Mixolab™.....	26
Tabla 6. Datos de pH de las masas.....	35
Tabla 7. Modelos matemáticos de las variables de respuesta de pH de las masas.	35
Tabla 8. Datos de las variables de respuesta en la caracterización de los panes.	37
Tabla 9. Modelos matemáticos de la caracterización de los panes.	38
Tabla 10. Función de deseabilidad para la obtención de tratamientos optimizados.....	41
Tabla 11. Análisis de Varianza para el atributo de sabor.	43
Tabla 12. Análisis de Varianza para el atributo de textura.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo elaboración harina de mango.	16
Figura 2. Diagrama de flujo elaboración pan de molde.	17
Figura 3. Curva de Mixolab™ y los parámetros analizados. Fuente: (Schmiele et al., 2016)	24
Figura 4. Superficie de respuesta para la absorción de agua (a), DDT (b), Estabilidad (c), Slope α (d), Slope β (e), C3 (f), C4 (g), C5 (h), C5-C4 (i).	27
Figura 5. Superficie de respuesta para pH masa antes (a) después (b) fermentación.	36
Figura 6. Superficie de respuesta para volumen específico (a), pH (b), FDT (c).	39
Figura 7. Comparación de atributos entre muestras.....	43

1. INTRODUCCIÓN

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años (Mesas & Alegre, 2002). Según la norma INEN el pan es el producto alimenticio obtenido por la cocción de una masa fermentada o no, de miga blanca u oscura, (NTE INEN 2945, 2014). En el Ecuador, el consumo anual per cápita de pan es alrededor de 40 kilogramos. Este producto encabeza la lista de alimentos que más consumen los hogares ecuatorianos, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2012). En 2012, el consumo de pan en Ecuador se incrementó en 5,7% en relación al año anterior y se prevé que en los próximos 5 años esta cifra se incremente hasta un 8% (PRO ECUADOR, 2014).

El mango (*Mangifera indica* L.) es la fruta tropical de mayor peso e importancia en el mercado mundial. En el mercado nacional ecuatoriano, el mango constituye un producto estacional, que se consume en los meses de octubre a enero. El mango por sus excelentes características organolépticas tiene una amplia variedad de aplicación industrial, entre ellas la aplicación en la industria de jugos y conservas de frutas (Portilla, 2008). Uno de los problemas que presenta el procesamiento de mango es el desperdicio alrededor de 40% de materia prima. Dichos desechos o subproductos son las cáscaras, pepa, bagazo, frutas dañadas y con algún problema de madurez o calidad. La cáscara puede constituir del 15 al 18% del peso total del fruto, dependiendo de la variedad de mango y las pepas representa un 13 a 29%, (Sumaya, Herrera, Torres, & Paredes, 2012).

En la actualidad, las industrias procesadoras de frutas desechan grandes cantidades de materia residual orgánica (Araya, 2014). Las frutas como el mango, lulo, guanábana, guayaba, curuba, papaya, piña, tomate de árbol y mandarina generan alrededor de 2000 kg

total de residuos por día durante su procesamiento (Yepes, Naranjo, & Sánchez, 2008). El mango (*Mangifera indica* L.) es considerado como una de las frutas tropicales más importantes en el mundo. Existen en el Ecuador alrededor de 10.000 hectáreas sembradas, las cuales corresponden a las variedades: Tommy Atkins, Haden, Kent, Edgard, Keitt, Van Dike, Ataulfo y Splind Felds (INIAP, 2008). La variedad de mango Keitt debido a su alto rendimiento y mayor contenido de sólidos solubles totales lo hace ideal para el procesamiento de mermeladas, jaleas, pulpas entre otras (Ramírez et al., 2010).

En el ámbito nutricional y funcional, las cáscaras y pepas del mango son consideradas como una fuente importante de compuestos bioactivos como la pectina, polifenoles y manguiferina en las cáscaras, ácidos grasos poliinsaturados en la pepa y compuestos de naturaleza fenólica con actividad antioxidante y antiinflamatoria (Ballinas et al., 2013). Además, las cáscaras de mango de diferentes variedades contienen pectina de alta calidad debido a la concentración de ácido galacturónico y su grado de esterificación. Así como también un contenido importante de fibra dietética constituyendo un balance entre fibra soluble del 29% e insoluble del 27%; las cuales podrían actuar como un ingrediente hipoglucemiante, hipocolesterolemica e hipotrigliceridemica en el organismo (Sumaya et al., 2012). Además en estudios realizados demostraron que al utilizar harina de cáscaras de mango en la elaboración de pan y galletas en diferentes proporciones, hubo un incremento de fibra dietética soluble de 14% en galletas y 16,6% en pan con respecto al control (harina de trigo 100%) (Villanueva, 2016).

El principal componente estructural de los vegetales es la celulosa, es un polisacárido formado por unidades de anhidro glucosa, las cuales se mantienen unidas

mediante enlaces β -1,4 glucosídicos (Villanueva, 2016). Dicho polisacárido funciona en la mayoría de la materia prima vegetal como un secuestrador o barrera estructural que limita la liberación de componentes de sabor o de interés para la industria alimentaria. La aplicación de enzimas celulasas o preparados con actividad enzimática múltiple (celulasa, hemicelulasa y pectinasa) tienen un efecto sinérgico, por el potencial que tienen sobre la hidrólisis de los componentes estructurales de la pared celular de los vegetales (Chacón & Waliszewski, 2005). La acción de hidrólisis enzimática de la celulosa es catalizada por la celulasa, las cuales son altamente específicas. Los productos de la hidrólisis son usualmente azúcares reductores, incluyendo la glucosa. La reacción se lleva a cabo bajo condiciones suaves (pH: 4,8, T: 45- 50 °C) (Albernas, Corsano, Garriga, & Herrero, 2015). Existen fundamentalmente tres tipos de celulasas en los sistemas completos: endoglucanasa, exoglucanasa o celobiohidrolasa y β -glucosidasa o celobiasa (Fan & Lee, 1983).

De tal forma, que las enzimas celulósicas son muy utilizadas en el proceso de panificación, con el fin de mejorar las propiedades reológicas de las masas, y la calidad de los productos horneados (Popper, n.d.). La actividad celulósica en el proceso de panificación se inicia durante el amasado modificando las características viscoelásticas de la masa, continúa durante la fermentación y los primeros minutos de cocción hasta su desnaturalización por efecto de las altas temperaturas de horneado (Obando, Directoras, Orejas, Haros, & Gavara, 2013). En estudios realizados se ha demostrado que la utilización de celulasas y hemicelulasas en la elaboración de pan proporciona efectos mejoradores tales como el aumento del volumen específico, y mejora el anti-endurecimiento en la estructura grumosa (Laurikainen, Härkönen, Autio, & Poutanen, 1998). Así como también,

en la retención de agua (Tahir, Masood, Anjum, & Asgher, 2009) y el ablandamiento de tejidos de frutas y verduras (Lorea, 2012). Las enzimas celulósicas como la celulasa degradan a la celulosa, ya que dicha enzima cataliza la hidrólisis de polímeros hexona (Xiao & Yi, 2013).

1.1 Objetivo General

- Estudiar el uso de residuos industriales del procesamiento de pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) y de la adición de la enzima celulasa en pan de molde.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar los efectos de la enzima celulasa y la harina de mango (*Mangifera indica L.*) en las características organolépticas y fisicoquímicas del pan de molde.
- Optimizar el mejor tratamiento mediante la Metodología de Superficie de Respuesta al variar el porcentaje de enzima celulasa y harina de mango (*Mangifera indica L.*) en el pan de molde.
- Realizar una evaluación sensorial de aceptación de los atributos organolépticos como sabor y textura (dureza de la miga) del tratamiento óptimo y un control.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materias Primas

Los residuos industriales como la cáscara y bagazo de mango (*Mangifera indica* L.) de la variedad Keitt con un grado de madurez 3 (Icontec, 2004) se obtuvieron a partir de industria local “Proalva” localizada en Quito, Ecuador.

Se utilizó harina de trigo especial para panificación (Paniplus) obtenida de la empresa “Moderna Alimento S.A” con las especificaciones que se indican en la ficha técnica (13,20g/100g humedad, gluten húmedo 36,1g/100g, gluten seco 12,1g/100g, absorción de agua 67,50(g/100g) y estabilidad 10,9(g/100g) (Anexo1).

La enzima celulasa fue obtenida de la empresa “GRANOTEC-AB Enzymes” con el nombre comercial VERON[®]CP. Es una enzima celulósica preparada con hemicelulasa y obtenida de cultivos clásicos de *Trichoderma reesei* (Anexo 2).

Las materias primas complementarias como el azúcar blanco, sal, levadura fresca y mantequilla se obtuvieron en mercado local.

2.2 Diseño experimental

Se realizó un Diseño Central Compuesto (DCC) con arreglo factorial de 2^2 donde se estudió el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mango (0g/100g – 15g/100g) y la utilización de la enzima celulasa (0ppm – 30ppm) (Tabla 1). Se realizaron 12 tratamientos de los cuales fueron: 4 factoriales, 4 axiales y 4 réplicas del punto central; con un valor α de 1,4142 para garantizar la rotabilidad del modelo (Tabla 2).

Tabla 1. Valores utilizados para el diseño DCC.

Variabes	-α	-1	0	+1	+α
Enzima Celulasa (ppm)	0	4,39	15	25,61	30
Harina de Mango (g/100g)	0	2,20	7,5	12,80	15

Tabla 2. Matriz de tratamientos

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles Reales	
	Enzima Celulasa	Harina de Mango	Enzima Celulasa (ppm)	Harina de Mango (g/100g)
	A	B		
1	-1	-1	4,39	2,20
2	-1	1	4,39	12,80
3	1	-1	25,61	2,20
4	1	1	25,61	12,80
5	- α	0	0	7,5
6	+ α	0	30	7,5
7	0	- α	15	0
8	0	+ α	15	15
9C	0	0	15	7,5
10C	0	0	15	7,5
11C	0	0	15	7,5
12C	0	0	15	7,5

2.3 Proceso de elaboración de harina de mango

Los residuos industriales de mango se clasificaron en cáscaras, bagazo y pepas de mango. Luego las cáscaras y bagazo fueron pesadas y se colocaron en bandejas para seguidamente realizar el secado en un secador de bandejas a 50°C por 12 horas (Cedeño & Zambrano, 2014). Las cáscaras deshidratadas se pulverizaron con la ayuda de un molino y se tamizaron con el tamiz Tyler No.40 para obtener un diámetro de partícula de 0,425mm de tal forma que se obtuvo un diámetro uniforme (Buenrostro, De La Garza, Ibarra, Cristóbal, & Aguilar, n.d.). (Figura 1)

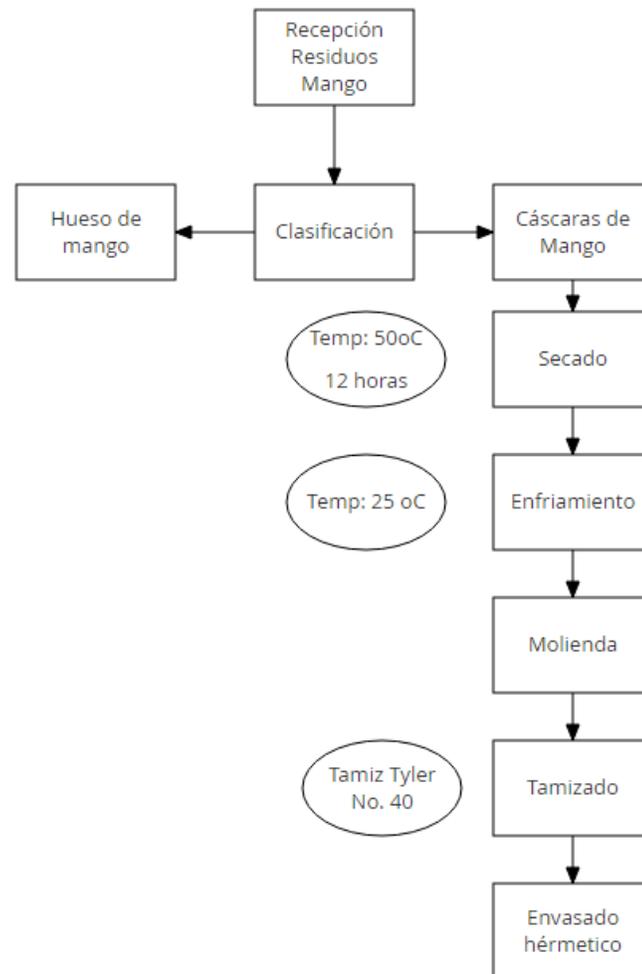


Figura 1. Diagrama de flujo elaboración harina de mango.

2.4 Proceso de elaboración del pan de molde

Se utilizó la siguiente formulación en base panadera: 100 g/100g de harina de trigo, 61g/100g de agua (el porcentaje de agua varió para cada tratamiento ya que está relacionado con los resultados de absorción de agua obtenidos mediante el análisis reológico – Mixolab™), 1 g/100g de sal, 5 g/100g de levadura, 5 g/100g de grasa, 10 g/100g de azúcar blanco, 0,8 g/100g gluten vital y 0,7 g/100g mejorador S-500. Para la obtención

del pan se utilizó el método de masa sin tiempo. La mezcla de todos los ingredientes se la realizó en una mezcladora (HSIAO MACHINE Co. Modelo BM20, EEUU) hasta obtener un óptimo desarrollo de gluten durante aproximadamente 7 minutos. Seguidamente, se dividió la masa en porciones de 420g, luego se boleó y se colocó en moldes previamente engrasados, los cuales pasaron a la cámara de fermentación (Tecmy Equipos, Ecuador) a 38°C por 50 minutos. Finalmente, se horneó en el horno eléctrico (Pratica Technicook modelo E125, Brasil) por 19 minutos a 170 °C (hasta que la temperatura interna del pan llegará a 90 °C). Los panes fueron enfriados y guardados en bolsas de polietileno de baja densidad por 24 horas para sus análisis posteriores (Figura 2).

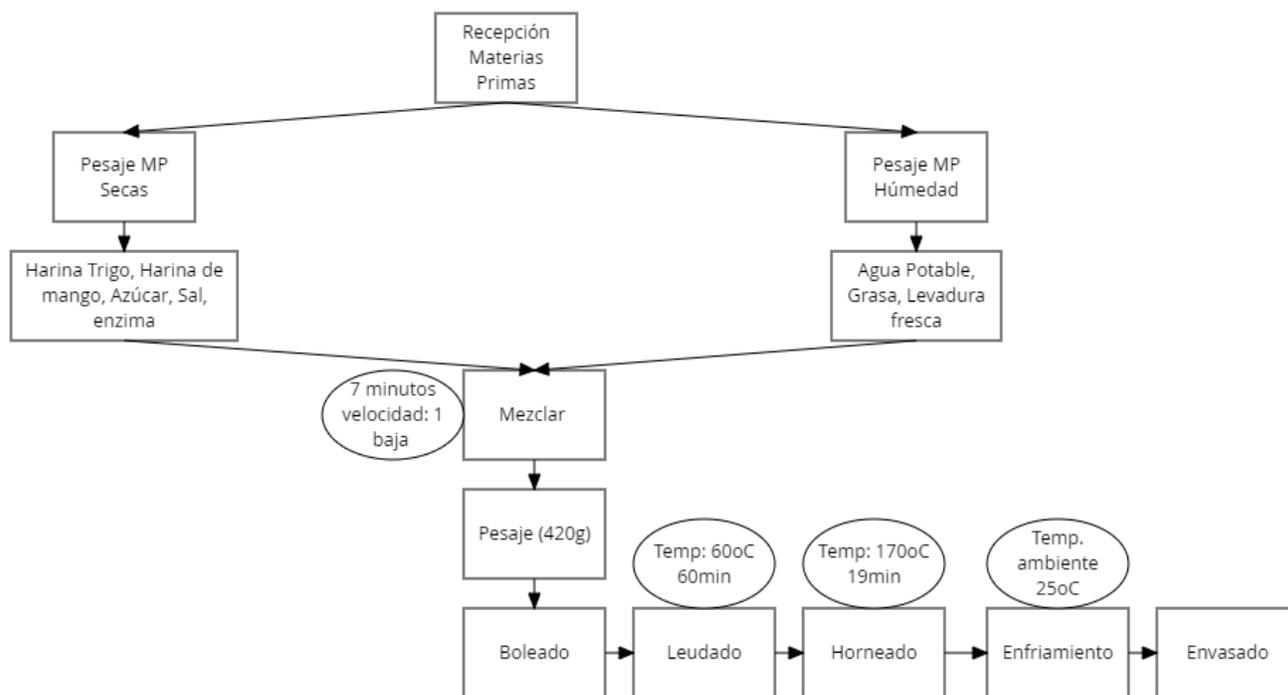


Figura 2. Diagrama de flujo elaboración pan de molde.

2.5 Caracterización de las masas

2.5.1 Análisis Reológicos- Mixolab™

Se realizaron los análisis mediante el uso del equipo Mixolab™ el cual permitió caracterizar el comportamiento de las masas sometidas al amasado en diferentes temperaturas. Los análisis se realizaron mediante la empresa GRANOTEC siguiendo la metodología descrita por la AACCI 54-60-01 (2010). Las propiedades reológicas que se analizaron fueron absorción de agua (g/100g), amplitud, DDT (min), estabilidad (min), C1 (Nm), Slope α , C2 (Nm), C2-C1, Slope β , C3, C3-C2, Slope γ , C4 (Nm), C4-C3, C5 (Nm) y C5-C4.

2.5.2 pH de las masas

Se determinó el pH de las masas antes y después de la fermentación de cada tratamiento por triplicado mediante el método AACCI 02-52 (2010) donde se pesaron 10 gramos de muestra y se colocaron en 100 mL de agua destilada. Se agitó la mezcla utilizando una licuadora por 25 segundos y se filtró para luego determinar el pH del filtrado mediante un potenciómetro (Mettler Toledo modelo AR50, EEUU).

2.6 Caracterización del pan de molde

2.6.1 Volumen específico (cm³/g)

Se realizó mediante el método descrito en la AACCI 55-50.01 (2010) utilizando el método de desplazamiento de semillas con algunas modificaciones. Se pesaron 3 panes por separado, se llenó un recipiente con semillas de quinua, este llenado se tuvo que realizar a la misma velocidad y desde una misma altura. Luego se vació el contenedor para colocar nuevamente el pan y se volvió a rellenar con la misma cantidad de quinua. Seguidamente,

se recogieron las semillas que se desbordaron del recipiente para colocarlas en una probeta y se midió el volumen. El volumen específico se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{Volumen semillas sobrantes (cm}^3\text{)}}{\text{peso pan (g)}}$$

2.6.2 pH de los panes

Se realizó mediante el método AACCI 02-52 (2010) siguiendo la metodología explicada anteriormente.

2.6.3 Actividad acuosa (Aw)

Se utilizó el equipo Hygrolab C1 de marca Rotonic según el método AOAC 978.19 (1998), en la cual se colocaron muestras de pan alrededor de 2 gramos y se esperó hasta que el equipo determine la actividad acuosa para cada tratamiento por triplicado.

2.6.4 Porcentaje de Humedad (g/100g)

Se utilizó el método descrito en la AACCI 44-15.02 (210). Se pesaron 3 g de muestra en un crisol previamente pesado, y se colocó en la estufa a 105°C por 4 horas. Luego se pasó al desecador hasta llegar a temperatura ambiente (25°C) y se procedió a pesar. Finalmente, se calculó el porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{peso final (g)} - \text{peso crisol (g)}}{\text{peso muestra (g)}} \times 100$$

2.6.5 Fibra Dietética Total FDT (g/100g)

Se determinó el contenido fibra dietética total (FDT) del pan con la metodología basada en AACCI 32-05.01 (2012) y AOAC 985.29 (2012) en la que se aplicó la combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos. Para la preparación de los crisoles Gooch (tamaño de poro grueso, ASTM 40-60 um) primero, se colocaron toda la noche en la mufla (525°C),

luego se colocó en mezcla sulfocrómica por 30min y se procedió a enjuagar con varios lavados de agua destilada. Finalmente, se colocó 15mL de acetona y se secó en la estufa.

Seguidamente, se utilizó Megazyme TDF Test Kit, empleando una serie de tratamientos enzimáticos con α -amilasa, proteasa y amilogucosidasa, siendo el residuo de la hidrólisis enzimática y la precipitación con etanol al 95% filtrado para obtener la FDT por medio de lavados con etanol 78%, etanol 95% y acetona, determinándose cenizas siguiendo el método AOAC 923.03 (2012) y proteína por el método Kjeldahl AOAC 960.52^a (2012). El análisis de humedad fue realizado siguiendo el método AOAC 925.09 (2012) en una estufa Precision (Economy Oven 45EG). Finalmente, FDT se calculó como porcentaje del peso de los residuos, menos el peso de la proteína y cenizas (Megazyme, 2017).

2.7 Función de Deseabilidad

La función de deseabilidad es uno de los métodos más utilizados en la industria para la optimización de procesos de respuesta múltiple. El método se basa en encontrar condiciones de operación “x” que ofrecen los valores de respuesta más “deseables” (Escobar, Pardo, Buitrago, & López, 2004). Busca valores apropiados que se asignan a cada variable de entrada con el propósito de maximizar un índice de deseabilidad general que varía entre 0 y 1 (siendo 0 cuando la variable se encuentra fuera de la región aceptables y 1 cuando la función se encuentra en su objetivo), el cual es el resultado de la optimización simultánea de varias variables de respuesta (Arias, Ríos, Vázquez, & Pérez, 2015).

La deseabilidad general (D) es la media geométrica (multiplicativa) de todas las deseabilidades individuales (d_i) en un rango de 0 a 1 (Montgomery & Wiley, 2004).

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{1/n} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{1/n}$$

Donde n es el número de variables de respuesta que se optimizan simultáneamente. Si alguna de las respuestas queda fuera de su rango de conveniencia, la función global se convierte en cero. Para optimizaciones simultáneas cada variable de entrada debe tener un valor objetivo (Montgomery & Wiley, 2004).

El software que se utilizó fue Design Expert el cual basó su optimización numérica en la función de deseabilidad de las variables dependientes. Se analizaron todos los tratamientos que presentaron un modelo matemático ($p < 0.10$ y $0.80 R^2$) y a partir de los valores resultantes de se escogió un tratamiento que presentó el mayor valor de deseabilidad. A partir de esta se realizó la evaluación sensorial.

2.8 Análisis sensorial

Se aplicó una prueba de aceptación mediante una escala hedónica de 9 puntos, donde 1 correspondió a “me disgusta extremadamente” y 9 “me gusta extremadamente”. Se evaluaron atributos como sabor y textura (dureza de la miga) con el tratamiento óptimo obtenido con la función de deseabilidad (Desing Expert) y un control (sin adición de harina de mango y celulasa). La prueba se realizó a 100 posibles consumidores de pan (jueces no entrenados), 52 hombres y 48 mujeres, entre 18 – 57 años de edad. El análisis se realizó en el aula sensorial ubicada en la Universidad San Francisco de Quito. Se utilizó luz roja para minimizar el sesgo en cuanto al color y apariencia entre las muestras. Para la presentación de las muestras, primero se codificaron aleatoriamente con tres dígitos según el tipo de

muestra; en la que la muestra de pan control se codificó con el número 683 y la muestra de pan de mango con el número 941. Luego se colocaron las muestras en bandejas de poli estireno de forma aleatoria y balanceada considerando cada muestra de pan como una unidad.

El diseño experimental aplicado fue un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA). Los resultados se evaluaron con análisis de varianza (ANOVA) al 5% de probabilidad ($p < 0,05$).

2.9 Análisis estadístico

El DCC se evaluó con la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) y se obtuvieron modelos matemáticos con un α del 0,10 y un R^2 mínimo de 0,80.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de las materias primas

Se realizó el análisis proximal de la harina de trigo y de harina de mango resultados que se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis proximal de la harina de mango y harina de trigo.

Análisis (g/100g)	Harina de Mango	Harina de Trigo
Humedad*	6,092 ± 0,05	8,7253 ± 0,10
Cenizas*	3,147 ± 0,04	0,6139 ± 0,01
Grasa*	2,740 ± 0,07	1,2274 ± 0,00
Proteína*	1,338 ± 0,00	12,3475 ± 0,15
Carbohidratos totales* (CHO)	91,437 ± 0,04	85,8113 ± 0,15
Fibra Dietética Total* (FDT)	29,810 ± 0,01	3,08 ± 0,00

*Medias ± SD (n=2)

Según los datos obtenidos se puede corroborar que los parámetros de la harina de mango como la ceniza, proteína, CHO y FDT se encuentran relacionados con análisis proximales realizados por (Cock & León, 2014) para la variedad de mango Keitt en donde reportan valores de 3,20 g/100g para ceniza, 1,66g/100g para proteína , 93,27 g/100g para CHO y 22,18 g/100g de FDT. En cuanto al porcentaje de grasa y humedad (Baddi, Vijayalakshmi, Durgannavar, & Chandru, 2015) reporta un valor de 2,6g/100g para grasa y 3,9g/100g de humedad; siendo este variable debido al procesamiento que se aplica a las cáscaras de mango.

Por otro lado, en cuanto a la harina de trigo los valores de humedad y de cenizas se pueden confirmar con su ficha técnica. La cual reporta 13,2 g/100g de humedad y 0,66g/100g de cenizas. En el caso de la grasa, proteína, CHO y FDT se puede corroborar con (INIAP, 2008) ya que reporta valores de 1,48g/100g de grasa, 9,7g/100g de proteína, 88,24g/100g de CHO y 5,5g/100g de FDT. Siendo valores aproximados debido a la calidad del trigo y su conservación.

3.2 Caracterización de las masas

3.2.1 Análisis reológicos – Mixolab™

Los parámetros analizados en el Mixolab™ y los que se muestran en la curva (Fig. 3 y Tabla 4) hacen referencia a (i) absorción de agua que es la cantidad de agua necesario para alcanzar C1; (ii) Amplitud es el ancho de la curva C1; (iii) DDT: Tiempo de desarrollo de la masa es el tiempo requerido para llegar a C1; (iv) Estabilidad es la resistencia de la masa en el mezclado; (v) C1 es el máximo torque durante el mezclado; (vi) C2 es el debilitamiento de las proteínas basado en el trabajo mecánico y el aumento de temperatura; (vii) C3 es el

máximo torque durante la etapa de calentamiento, hace referencia a la tasa de gelatinización del almidón; (viii) C4: mínimo torque durante el periodo de calentamiento, indica la estabilidad del gel formado; (ix) C5 es el torque después el enfriamiento a 50 °C, representa la retrogradación durante la etapa de enfriamiento (x) slope α representa la velocidad de debilitamiento de proteína bajo efecto de calentamiento; (xi) slope β es la velocidad de gelatinización del almidón; (xii) slope γ es la velocidad de degradación de enzimas; (xiii) C2-C1 es la fuerza de la red de proteína bajo el aumento del calentamiento; (xiv) C3-C2 es la tasa de gelatinización del almidón; (xv) C4-C3 actividad de la amilasa; y (xvi) C5-C4 representa los efectos de antienviejecimiento (retrogradación del almidón en la fase de enfriamiento), que representan la vida útil de los productos (Schmiele, Ferrari, Pedrosa, & Chang, 2016). Las curvas obtenidas para cada tratamiento se observan en el Anexo 2.

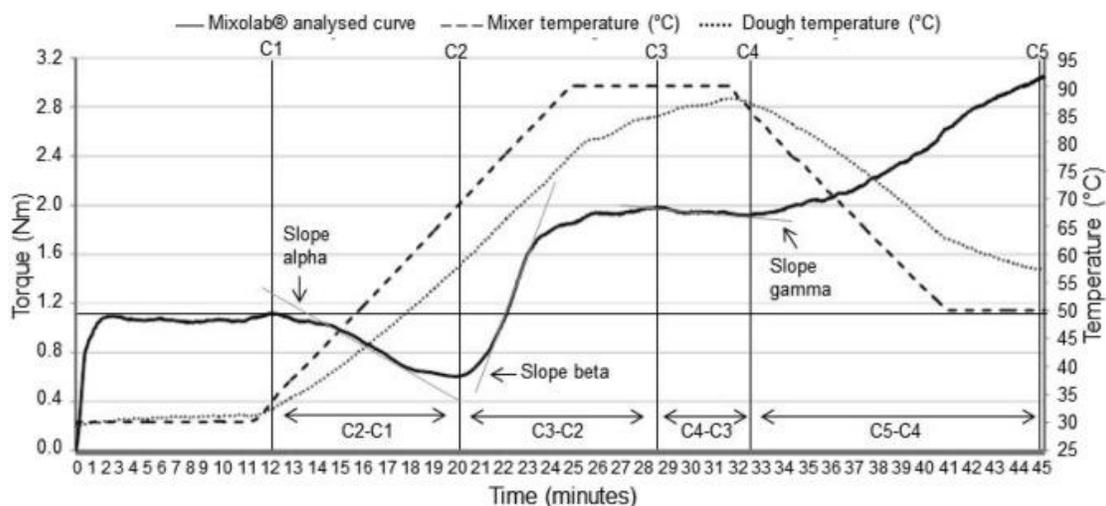


Figura 3. Curva de Mixolab™ y los parámetros analizados. Fuente: (Schmiele et al., 2016)

Tabla 4. Datos de análisis reológicos Mixolab™.

Tratamientos	Absorción * Agua[g/100g]	Amplitud* [Nm]	DDT* [Nm]	Estabilidad* [Nm]	C1* [Nm]	Slope α *	C2* [Nm]	C2-C1* [Nm]
1	68,8 ± 0,000	0,093 ± 0,011	8,72 ± 0,516	10,03 ± 0,035	1,131 ± 0,017	0,157 ± 0,004	0,491 ± 0,013	0,641 ± 0,004
2	69,4 ± 0,000	0,103 ± 0,005	2,08 ± 0,141	12,57 ± 0,120	1,125 ± 0,013	0,071 ± 0,007	0,568 ± 0,004	0,558 ± 0,016
3	68,3 ± 0,000	0,123 ± 0,006	8,59 ± 0,651	10,04 ± 0,021	1,120 ± 0,011	0,154 ± 0,020	0,463 ± 0,010	0,657 ± 0,001
4	68,8 ± 0,000	0,102 ± 0,013	2,18 ± 0,035	12,47 ± 0,049	1,145 ± 0,007	0,057 ± 0,004	0,570 ± 0,004	0,575 ± 0,011
5	68,7 ± 0,000	0,125 ± 0,016	1,76 ± 0,156	11,16 ± 0,226	1,118 ± 0,011	0,110 ± 0,020	0,500 ± 0,002	0,618 ± 0,008
6	68,45 ± 0,640	0,112 ± 0,021	1,75 ± 0,000	11,39 ± 0,516	1,130 ± 0,021	0,101 ± 0,016	0,774 ± 0,403	0,356 ± 0,424
7	68,2 ± 0,000	0,090 ± 0,006	7,35 ± 0,000	9,12 ± 0,120	1,123 ± 0,038	0,151 ± 0,004	0,481 ± 0,011	0,643 ± 0,028
8	69,4 ± 0,570	0,112 ± 0,033	1,88 ± 0,205	13,08 ± 0,106	1,136 ± 0,009	0,030 ± 0,045	0,598 ± 0,001	0,538 ± 0,010
9C	68,2 ± 0,000	0,117 ± 0,004	2,14 ± 0,085	11,32 ± 0,120	1,143 ± 0,006	0,099 ± 0,010	0,498 ± 0,025	0,645 ± 0,020
10C	67,6 ± 0,000	0,146 ± 0,003	2,05 ± 0,283	11,30 ± 0,382	1,141 ± 0,007	0,096 ± 0,00	0,487 ± 0,016	0,655 ± 0,023
11C	67,8 ± 0,000	0,130 ± 0,019	2,00 ± 0,042	11,54 ± 0,127	1,121 ± 0,004	0,094 ± 0,006	0,509 ± 0,006	0,612 ± 0,003
12C	67,8 ± 0,000	0,099 ± 0,005	2,05 ± 0,042	11,58 ± 0,247	1,133 ± 0,019	0,098 ± 0,006	0,506 ± 0,008	0,627 ± 0,011
Tratamientos	Slope β *	C3* [Nm]	C3-C2* [Nm]	Slope γ *	C4* [Nm]	C4-C3* [Nm]	C5* [Nm]	C5-C4* [Nm]
1	0,267 ± 0,086	1,342 ± 0,018	0,852 ± 0,032	0,034 ± 0,003	1,204 ± 0,011	0,139 ± 0,008	1,884 ± 0,010	0,681 ± 0,001
2	0,371 ± 0,016	1,445 ± 0,002	0,877 ± 0,001	0,021 ± 0,007	1,292 ± 0,014	0,153 ± 0,016	2,230 ± 0,010	0,938 ± 0,004
3	0,289 ± 0,007	1,333 ± 0,009	0,870 ± 0,001	0,005 ± 0,007	1,196 ± 0,023	0,137 ± 0,033	1,906 ± 0,116	0,711 ± 0,093
4	0,324 ± 0,051	1,452 ± 0,007	0,882 ± 0,011	0,017 ± 0,016	1,311 ± 0,006	0,142 ± 0,013	2,279 ± 0,024	0,969 ± 0,018
5	0,360 ± 0,003	1,371 ± 0,011	0,871 ± 0,008	0,031 ± 0,010	1,214 ± 0,004	0,157 ± 0,015	1,996 ± 0,049	0,782 ± 0,045
6	0,234 ± 0,175	1,381 ± 0,004	0,607 ± 0,407	0,018 ± 0,003	1,265 ± 0,054	0,117 ± 0,059	2,139 ± 0,134	0,874 ± 0,079
7	0,341 ± 0,016	1,336 ± 0,022	0,855 ± 0,011	0,027 ± 0,016	1,195 ± 0,024	0,141 ± 0,002	1,835 ± 0,033	0,640 ± 0,009
8	0,383 ± 0,010	1,469 ± 0,022	0,871 ± 0,023	0,028 ± 0,003	1,313 ± 0,031	0,156 ± 0,009	2,369 ± 0,117	1,056 ± 0,086
9C	0,209 ± 0,055	1,410 ± 0,006	0,912 ± 0,020	0,010 ± 0,003	1,292 ± 0,019	0,119 ± 0,025	2,267 ± 0,134	0,976 ± 0,115
10C	0,265 ± 0,134	1,391 ± 0,007	0,905 ± 0,009	0,030 ± 0,020	1,273 ± 0,018	0,119 ± 0,026	2,166 ± 0,146	0,893 ± 0,129
11C	0,226 ± 0,074	1,399 ± 0,010	0,891 ± 0,016	0,019 ± 0,021	1,259 ± 0,010	0,140 ± 00	2,110 ± 0,049	0,851 ± 0,040
12C	0,226 ± 0,054	1,423 ± 0,015	0,917 ± 0,006	0,024 ± 0,020	1,313 ± 0,011	0,110 ± 0,004	2,248 ± 0,040	0,935 ± 0,052

*Medias ± SD (n=2)

Seguidamente, en base a los análisis estadísticos se obtuvieron los modelos matemáticos predictivos y el R^2 ajustado para las variables de respuestas de los análisis reológicos obtenidos con el protocolo de Mixolab™, los cuales se indican en la Tabla 5.

Tabla 5. Modelos matemáticos de las variables de respuesta en el análisis reológico Mixolab™.

Variable de Respuesta	Modelo Matemático	R ² Ajustado
Absorción de Agua	$= 67,849 - 0,1182x_1 + 0,398x_1^2 - 0,350x_2 + 0,511x_2^2$	0,911
DDT	$= 2,053 + 0,403x_1^2 - 2,604x_2 + 1,840x_2^2$	0,852
Estabilidad	$= 11,405 - 0,089x_1^2 + 1,217x_2$	0,991
Slope α	$= -0,097 + 0,004x_1 - 0,007x_1^2 + 0,044x_2 + 0,003x_1x_2$	0,981
Slope β	$= 0,232 - 0,025x_1 + 0,029x_1^2 + 0,025x_2 + 0,061x_2^2$	0,832
C3	$= 1,405 - 0,014x_1^2 - 0,051x_2$	0,963
C4	$= 1,284 - 0,022x_1^2 + 0,046x_2 - 0,014x_2^2$	0,862
C5	$= 2,198 + 0,034x_1 - 0,068x_1^2 + 0,185x_2 - 0,051x_2^2$	0,945
C5-C4	$= 0,914 + 0,024x_1 - 0,046x_1^2 + 0,138x_2 - 0,036x_2^2$	0,945

x_1 Enzima Celulasa (ppm): EC; x_2 Harina de Mango (g/100g): HM

Además, se obtuvieron los análisis de varianza ANOVA para cada variable de respuesta con una significancia del 10% ($p < 0,10$) (Anexo 2); de tal manera que se verifica la generación del modelo. Así como también, se obtuvieron las superficies de respuesta de los mismos; los cuales se indican en la Figura 4.

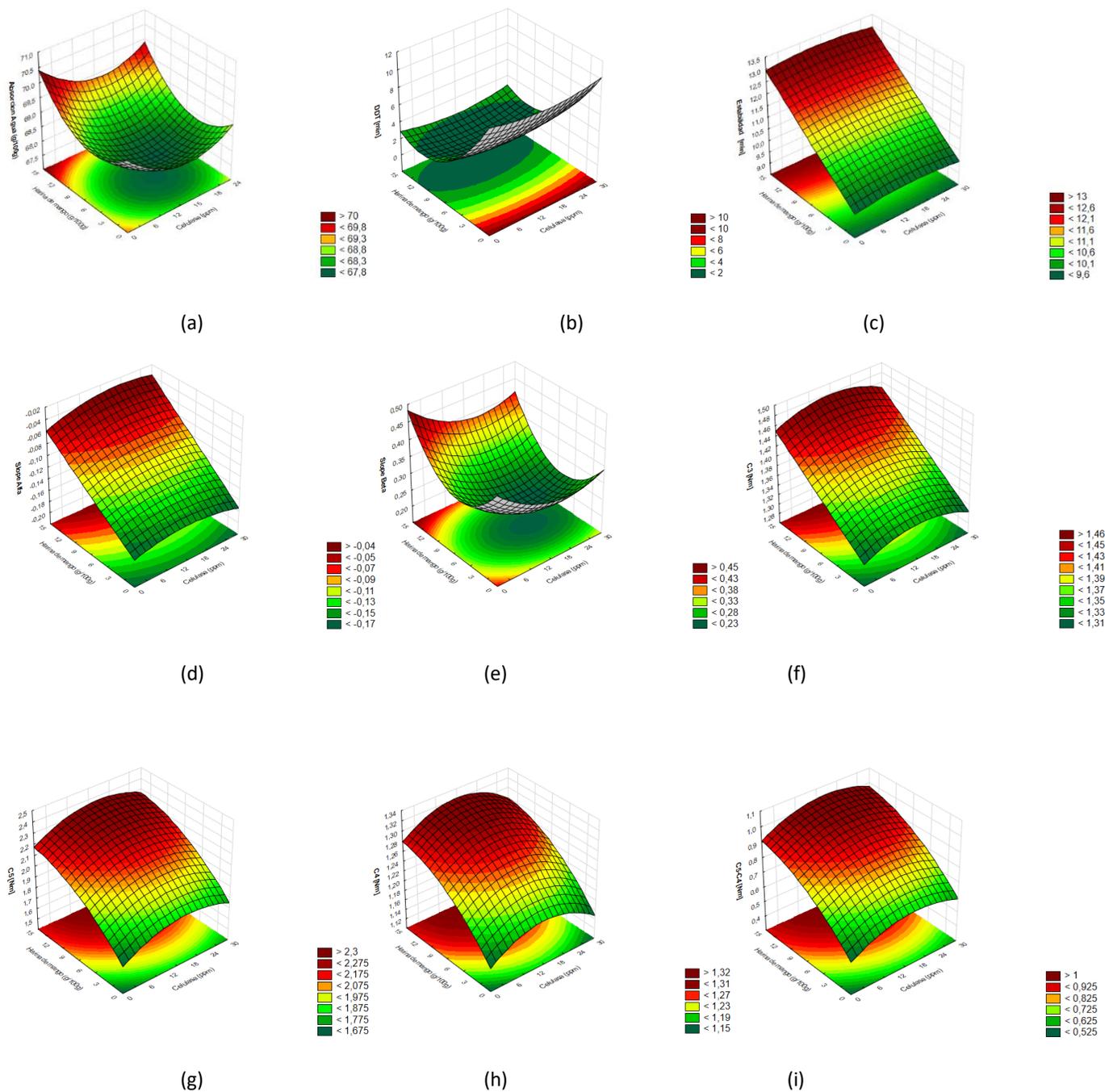


Figura 4. Superficie de respuesta para la absorción de agua (a), DDT (b), Estabilidad (c), Slope α (d), Slope β (e), C3 (f), C4 (g), C5 (h), C5-C4 (i).

3.2.1.1 Absorción de agua (g/100g)

La absorción de agua es la cantidad de agua que las mezclas pueden absorber para alcanzar la consistencia deseada a temperatura constante (CHOPIN, 2009). Estas cantidades fueron diferentes en cada uno de los tratamientos para que todos tengan las mismas consistencias. El modelo que se obtuvo para la absorción de agua fue un modelo cuadrático (Tabla 5). Dicha absorción se vio negativamente afectada por la adición de EC y HM; es decir, que al adicionar EC y HM, la absorción de agua disminuyó. Siendo la HM la variable que tuvo mayor significancia en la absorción de agua que la EC. En la figura 4 (a) se indica la superficie de respuesta obtenida y se observa que a valores centrales de EC y HM, se obtiene un menor porcentaje de absorción de agua. Mientras que a valores altos de HM así como altos y bajos de EC, el porcentaje de absorción de agua es mayor. Esto ocurre debido a la fibra insoluble presente en la HM elaborada con cáscara de mango la cual en base a estudios reporta un porcentaje fibra dietética insoluble de 53,33% (Martínez, Díaz, & Rojas, 2015). La fibra dietética insoluble como la lignina, celulosa y hemicelulosas por lo general tienen una alta capacidad de retención de agua (Fendri et al., 2016). De modo que se puede corroborar que debido a la cantidad de FDI y su capacidad de retención de agua el porcentaje de absorción de agua es mayor cuando se adiciona HM.

Por otro lado, se puede ratificar también que la adición de EC tiene un efecto deseado en la absorción de agua debido a la hidrólisis enzimática de las hemicelulasas, en las que las fibras celulósicas se descomponen mediante endo y exo gluconasas y por la acción de la β -glucosidasa y se convierten en glucosa (Rao, 2009). Por lo tanto, reducen el efecto de retención de agua de las fibras insolubles (celulosas o hemicelulosas) presentes

en la harina de mango y evitan que la masa se debilite, ya que las fibras debilitan la masa y reducen la tolerancia del proceso (Lallemand, 1997).

3.2.1.2 DDT o tiempo de desarrollo de la masa (min)

El tiempo de desarrollo es el tiempo que tarda en formarse la masa es decir, es la velocidad con que la harina absorbe el agua y forma el gluten (Sandoval, Álvarez, Paredes, & Lascano, 2012). Este parámetro es importante ya que se debe optimizar el desarrollo de la red de gluten para obtener panes con un alto volumen y con textura suave (Schmiele et al., 2016). El modelo que se obtuvo para DDT fue un modelo cuadrático (Tabla 5). El DDT se vio positivamente con la adición de EC y negativamente afectada por la adición de HM; es decir, que al adicionar EC el DDT aumenta y al adicionar HM el DDT disminuye. Siendo la HM de mayor significancia. En la figura 4 (b) se indica la superficie de respuesta obtenida y se observa que a valores bajos de HM el tiempo de desarrollo de la masa fue mayor ($> 10\text{min}$). Mientras que a valores altos de HM el tiempo fue menor ($< 2\text{min}$). Este resultado no es deseado ya que si el DDT es menor, la mezcla o harina será más débil y generará un producto de baja calidad (CHOPIN, 2009). Es importante mencionar que el DDT se encuentran relacionado con el tipo de fibra ya que si tiene un alto potencial de absorción de agua, el DDT aumentará (Wilde, 2012). Sin embargo, se observa que con la adición de EC el DDT aumenta cuadráticamente.

3.2.1.3 Estabilidad (min)

La estabilidad es el tiempo en que el torque se mantiene en 1,1 N.m (Sandoval et al., 2012). El modelo que se obtuvo para el tiempo de estabilidad de la masa fue un modelo cuadrático (Tabla 5). Dicha estabilidad se vio negativamente afectada por la adición de EC y

positivamente por la adición de HM; es decir, que al adicionar EC la estabilidad disminuyó y al adicionar HM la estabilidad aumentó. Siendo la HM de mayor significancia. En la figura 4 (c) se muestran la superficie de respuesta obtenida y se corrobora que la adición de HM es directamente proporcional a la estabilidad. Teniendo tiempos mínimos de estabilidad (< 9,6 min) a valores bajos de HM y (> 13 min) a valores altos de HM. Este parámetro es importante para clasificar a una harina como fuerte o débil (Sandoval et al., 2012). Un tiempo no menor a 7 minutos significa la harina es fuerte y presentará una fermentación más larga; mientras que el bajo tiempo de estabilidad indica la debilidad estructural de la red de gluten en la harina (Pineda, 2013). Por lo tanto, en este caso la adición de HM aumentó la tolerancia de mezcla y el valor de extensión debido a las interacciones entre los materiales fibrosos de la HM y el gluten (Sivam, Sun-Waterhouse, Quek, & Perera, 2010).

3.2.1.4 Slope α o pendiente α

Slope α representa la velocidad de debilitamiento de proteína bajo calentamiento. El modelo que se obtuvo para el slope α fue un modelo cuadrático (Tabla 5). En la figura 4 (d) se indica la superficie de respuesta obtenida. Dicha velocidad se vio positivamente afectada por la adición de EC y HM; es decir, que como consecuencia de adicionar EC y HM, la velocidad de la desnaturalización de las proteínas (Schmiele et al., 2016) aumentó. Esto se debe a la sustitución parcial de la harina de trigo por HM la cual redujo la cantidad de proteínas propias de la harina de trigo (Hadnađev, Torbica, Sakač, & Dokić, 2008). Sin embargo, esto tiene un impacto negativo ya que debilita la red de gluten. No obstante, la adición de la enzima la EC favorece al fortalecimiento debido a su capacidad para hidrolizar

polisacáridos que no son de almidón, liberando fracciones capaces de absorber el agua liberada por las proteínas (Banu, Stoenescu, Ionescu, & Aprodu, 2011).

3.2.1.5 Slope β o pendiente β

Slope β representa la velocidad de gelatinización del almidón. El modelo que se obtuvo para el slope β fue un modelo cuadrático (Tabla 5) en la que dicha velocidad se vio negativamente afectada por la adición de EC y positivamente por la adición de HM. Esto hace referencia a que la velocidad de gelatinización del almidón disminuyó al adicionar EC y aumentó al adicionar HM. En la figura 4 (e) se indica la superficie de respuesta obtenida y se observa que a valores centrales de HM y EC, el almidón se gelatiniza con menor velocidad. Mientras que a valores bajos y altos de EC y HM ocurre lo contrario, dicha velocidad aumenta. En primer lugar, la gelatinización del almidón está relacionado con el aumento de la temperatura de la masa y el agua liberada por las proteínas desnaturalizadas lo que hace que los gránulos de almidón se hinchen y rompan. Esto produce una mayor consistencia de la masa (Erukainure et al., 2016). Sin embargo, es importante señalar que tanto la EC como la HM absorben el agua que se libera de las proteínas desnaturalizadas aumentando así, la velocidad de gelatinización. Por otro lado, la proporción de los tipos de almidón (amilosa/amilopectina) es importante ya que influye en la cinética de la gelatinización por lo que los gránulos de almidón más pequeños se gelatinizaran completamente mientras que los más grandes permanecerán visibles en esta fase (Sandoval et al., 2012). No obstante, es importante mencionar que al sustituir la harina de trigo por HM también se está disminuyendo la proporción de almidón propias de la HT, así como las

enzimas α amilasas encargadas de la ruptura del almidón en la fase de gelatinización (Pastukhov & Dogan, 2014).

3.2.1.6 C3 (Nm) o la tasa de gelatinización del almidón

El modelo que se obtuvo para C3 (Nm) fue un modelo cuadrático (Tabla 5). En la figura 4 (f) se indica la superficie de respuesta obtenida. Dicha tasa se vio negativamente afectada por la adición de EC y HM. Es decir, que al adicionar EC y HM, la tasa de gelatinización del almidón disminuyó. Teniendo la HM un efecto con mayor significancia en el C3. Este efecto depende de la fibra de la HM ya que en un estudio realizado se observó que al adicionar fibra de guisantes produjo una reducción del 26% en la tasa de gelatinización del almidón (Dubat, Molina-Rosell, & Gallagher, 2013) Esto se debe a que la fibra presente en la HM diluye el gluten por lo que disgrega la matriz gluten-almidón debido a que se está aumentando la concentración de material de pared celular soluble e insoluble (Pastukhov & Dogan, 2014). Este efecto es deseado ya que la gelatinización del almidón es importante para fijar la estructura de la miga del pan. Lo cual depende de la proporción amilosa/amilopectina. Unas medidas muy bajas de C3, C4 y C5 produce la producción de panes de poco volumen con una miga pegajosa (Sandoval et al., 2012). Por lo tanto, a valores altos de HM y valores centrales de EC se obtienen las tasas de gelatinización más altas (> 1,46 Nm).

3.2.1.7 C4 (Nm) o estabilidad del gel formado

La estabilidad del gel indica la solidez de la fracción de almidón así como la presencia de amilasas (Dubat et al., 2013). El modelo que se obtuvo fue un modelo cuadrático (Tabla 6). Dicha estabilidad se vio negativamente afectada por la adición de EC y positivamente

por la HM; es decir, que al adicionar EC la estabilidad del gel formado disminuyó mientras que al adicionar HM, esta variable aumentó. En la figura 4 (g) se indica la superficie de respuesta obtenida. A valores altos de HM y valores centrales de EC se obtiene una mayor estabilidad del gel formado ($> 1,32$ Nm). Este resultado se corrobora con el estudio en el cual se observó que la estabilidad del gel formado aumentaba al aumentar la longitud de fibra de la celulosa (Lauková et al., 2017). Por lo tanto, se puede inferir que la longitud de la fibra de la celulosa presente en la HM es amplia, de acuerdo a los resultados obtenidos. También se puede explicar con una reducción de las enzimas α -amilasas presentes en la harina de trigo a raíz de la sustitución de dicha harina por la HM. Este hallazgo concuerda con Banu et al. (2011) en el cual reporta una mayor estabilidad de gel (1,34 Nm) con muestras de HT con menor actividad de α -amilasas. De tal manera que el menor valor en la estabilidad del gel de almidón en el trigo se debe a una mayor actividad amilásica en la harina (Bchir, Nadia Rabetafika, Paquot, & Blecker, 2014).

3.2.1.8 C5 (Nm) y C5-C4 (Nm) o retrogradación almidón durante el enfriamiento

Los modelos que se obtienen tanto para C5 (Nm) y C5-C4 (Nm) son similares siendo en ambos casos de forma cuadrática (Tabla 5). Esto se debe a que ambas variables de respuesta hacen referencia a la retrogradación del almidón durante el enfriamiento este fenómeno conduce a un aumento de la consistencia. De tal forma que dicha retrogradación se vio positivamente afectada por la adición de EC y HM; es decir, que al adicionar EC y HM, la retrogradación del almidón aumentó. En la figura 4 se indican las superficies de respuesta obtenidas tanto para C5 (h) como para C5-C4 (i). A valores altos de HM y valores centrales de EC la retrogradación del almidón es mayor con valores ($> 2,3$ Nm para C5) y (> 1 Nm para

C5-C4). Este resultado es deseado ya que a valores bajos de C3, C4 y C5 para la panificación llevan a la producción de panes de poco volumen con una miga pegajosa (Sandoval et al., 2012). Los perfiles de gelificación/retrogradación están estrechamente relacionados con el almidón y con la formulación de la harina (Bchir et al., 2014). Por lo tanto, se esperaría que la adición de HM reduzca la retrogradación del almidón debido a la presencia de celulosas y hemicelulosas en la dispersión acuosa de almidón (BeMiller & Whistler, 2009), la cual dificulta las asociaciones intermoleculares que tienen lugar en la red macromolecular al enfriarse por interferencia física, y se ha visto que retarda la retrogradación (Sandoval et al., 2012). Sin embargo, se observa que la EC permite que dicha dispersión de hemicelulosas y celulosas se reduzca debido a su función hidrolítica parcial o completa de polisacáridos de la pared celular de las cáscaras de mango (Bhat, 2000) por lo tanto ocasiona que dicha retrogradación aumente.

Finalmente se pudo determinar que las variables de estudio (variables independientes) como la amplitud (Nm), C1 (Nm) o máximo torque durante el mezclado, C2(Nm) o debilitamiento de las proteínas basado en el trabajo mecánico, C2-C1 (Nm) o fuerza de la red de proteína bajo el aumento del calentamiento, C3-C2 (Nm) o tasa de gelatinización del almidón, slope γ o velocidad de degradación de enzimas y C4-C3 (Nm) o la actividad de la amilasas no mostraron un efecto significativo ($p < 0,10$). Por lo tanto, no se pudieron obtener modelos matemáticos ni superficies de respuesta de las mismas.

3.2.2 pH de las masas

En la siguiente tabla (Tabla 6) se indican los resultados de la variable de respuesta referente al pH de las masas obtenido antes y después de la fermentación de los tratamientos.

Tabla 6. Datos de pH de las masas

	EC	HM	pH antes fermentación*	pH después fermentación*
	x_1	x_2	y_1	y_2
1	-1	-1	5,57 ± 0,02	5,36 ± 0,02
2	-1	1	5,09 ± 0,01	4,91 ± 0,02
3	1	-1	5,65 ± 0,01	5,24 ± 0,03
4	1	1	5,10 ± 0,01	4,91 ± 0,01
5	- α	0	5,41 ± 0,01	5,21 ± 0,02
6	α	0	5,36 ± 0,02	5,18 ± 0,01
7	0	- α	5,78 ± 0,02	5,51 ± 0,02
8	0	α	5,10 ± 0,01	4,97 ± 0,00
9C	0	0	5,38 ± 0,02	5,19 ± 0,01
10C	0	0	5,33 ± 0,02	5,18 ± 0,02
11C	0	0	5,30 ± 0,01	5,06 ± 0,02
12C	0	0	5,37 ± 0,02	5,21 ± 0,02

*Medias ± SD (n=3)

Seguidamente en base a los análisis estadísticos se obtuvieron los modelos matemáticos predictivos y el R^2 ajustado para las variables de respuestas del pH de las masas antes y después de la fermentación, los cuales se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Modelos matemáticos de las variables de respuesta de pH de las masas.

Variable de Respuesta	Modelo Matemático	R^2 Ajustado
pH masa antes fermentación	$= 5,349 - 0,249x_2 + 0,031x_2^2$	0,968
pH masa después fermentación	$= 5,162 - 0,194x_2$	0,864

x_1 Enzima Celulasa (ppm): EC; x_2 Harina de Mango (g/100g): HM

Además, se obtuvieron los análisis de varianza ANOVA para cada variable de respuesta con una significancia del 10% ($p < 0,10$) (Anexo 2); de tal manera que se verifica la generación del modelo. Se obtuvieron las superficies de respuesta en la Figura 5.

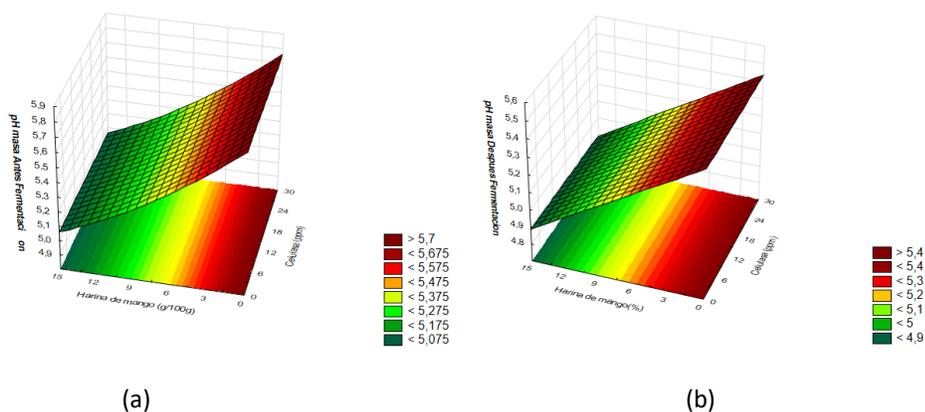


Figura 5. Superficie de respuesta para pH masa antes (a) después (b) fermentación.

Los modelos matemáticos que se obtuvieron para pH masa antes y después de la fermentación fueron un modelo cuadrático y lineal, respectivamente (Tabla 7). Ambos pH se vieron negativamente afectados únicamente por la adición HM; es decir, que al adicionar HM, el pH de las masas antes y después de la fermentación disminuyó. En la figura 5 (a) y (b) se indican las superficies de respuestas obtenidas y se observan que a valores altos de HM se obtienen valores $< 5,08$ de pH antes de la fermentación y valores $< 4,09$ de pH después de la fermentación. El pH de las masas antes y después de la fermentación tienen un efecto importante tanto para proporcionar un ambiente óptimo (pH: 4-6) para la levadura (Ruiz, 2010) como para permitir la reacción enzimática de la EC (pH: 4,8, T: 45- 50 °C) (Albernas et al., 2015). Así como también, tienen un impacto sobre las características finales del pan como sabor, textura de la corteza, volumen y vida útil (Ruiz, 2010). De tal forma que en base a los resultados al adicionar HM el pH de las masas se mantuvieron en las condiciones necesarias para la levadura y para la EC. Sin embargo, se puede corroborar

que la disminución del pH de las masas por la adición de HM se debe a los ácidos orgánicos presentes en la cáscara de mango los cuales son cítrico y málico (Siller, Alvarez, Aguilar, & Rojas, 2013) los cuales actúan como preservantes naturales al disminuir el pH (Lallemand, n.d.).

3.3 Caracterización de los panes

En la siguiente tabla, se presentan los resultados de la caracterización de los panes.

Tabla 8. Datos de las variables de respuesta en la caracterización de los panes.

	EC	HM	Volumen Específico* (cm ³ /g)	pH*	Actividad Acuosa*	Humedad* (g/100g)	Fibra Dietética Total* (g/100g)
	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1	-1	-1	4,11 ± 0,09	5,48 ± 0,01	0,944 ± 0,01	39,3839 ± 0,14	6,9142 ± 0,007
2	-1	1	2,93 ± 0,01	4,98 ± 0,01	0,937 ± 0,01	39,0711 ± 0,45	7,2008 ± 0,001
3	1	-1	4,57 ± 0,10	5,47 ± 0,01	0,922 ± 0,02	39,4474 ± 0,52	6,4127 ± 0,003
4	1	1	2,94 ± 0,02	5,00 ± 0,03	0,934 ± 0,00	38,9273 ± 0,47	7,8846 ± 0,001
5	-α	0	3,54 ± 0,18	5,26 ± 0,03	0,940 ± 0,01	39,3569 ± 0,77	7,2229 ± 0,000
6	α	0	3,49 ± 0,18	5,23 ± 0,01	0,940 ± 0,01	38,5356 ± 0,66	7,8163 ± 0,004
7	0	-α	4,60 ± 0,14	5,63 ± 0,02	0,946 ± 0,01	39,1645 ± 0,70	5,6805 ± 0,000
8	0	α	2,73 ± 0,01	5,03 ± 0,01	0,934 ± 0,00	39,9855 ± 0,29	8,0187 ± 0,005
9C	0	0	3,72 ± 0,08	5,26 ± 0,03	0,942 ± 0,00	39,5094 ± 0,07	6,1183 ± 0,004
10C	0	0	3,45 ± 0,06	5,21 ± 0,01	0,939 ± 0,00	38,9269 ± 0,59	6,5577 ± 0,004
11C	0	0	3,43 ± 0,04	5,15 ± 0,03	0,921 ± 0,02	37,9095 ± 0,90	6,4633 ± 0,013
12C	0	0	3,74 ± 0,07	5,26 ± 0,03	0,936 ± 0,00	39,5118 ± 0,48	6,5887 ± 0,002

*Medias ± SD (n=3)

Seguidamente en base a los análisis estadísticos se obtuvieron los modelos matemáticos predictivos y el R² ajustado para las variables de respuestas en la caracterización de los panes, los cuales se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. Modelos matemáticos de la caracterización de los panes.

Variable de Respuesta	Modelo Matemático	R ² Ajustado
Volumen Específico	$= 3,604 - 0,683x_2 - 0,112x_1x_2$	0,957
pH	$= 5,623 - 0,065x_2 + 0,0015x_2^2$	0,961
Fibra dietética Total	$= 6,432 + 0,525x_1^2 + 0,634x_2 + 0,188x_2^2 + 0,296x_1x_2$	0,893

x_1 Enzima Celulasa (ppm): EC; x_2 Harina de Mango (g/100g): HM

Además, se obtuvieron los análisis de varianza ANOVA para cada variable de respuesta con una significancia del 10% ($p < 0,10$) (Anexo 2); de tal manera que se verifica la generación del modelo. Se obtuvieron las superficies de respuesta en la Figura 6.

3.3.1 Volumen específico

El modelo que se obtuvo para volumen específico fue un modelo lineal (Tabla 9). Dicho volumen se vio negativamente afectada por la adición HM; es decir, que al adicionar HM, el volumen específico disminuyó. El factor que influye en la disminución de volumen específico se lo pueden atribuir a la capacidad de retención de agua de la cáscara de mango que contiene tanto fibra soluble como insoluble (Pathak, Raychaudhuri, & Chakraborty, 2017). En la figura 6 (a) se indica la superficie de respuesta obtenida donde se observa un efecto positivo en la adición de EC ya que a valores bajos de HM y altos de EC se obtienen valores de volumen específico mayores ($> 4,5 \text{ cm}^3/\text{g}$). Este efecto es atribuido a la redistribución de agua desde la EC al gluten, lo que hace que el gluten sea más extensible (Dagdelen & Gocmen, 2007). En otro estudio se reporta también que la incorporación de cultivos de *Trichoderma reesei* ricos en hemicelulasas y celulasas aumentó el volumen específico de los panes con y sin salvado de trigo de centeno (fibra) en un 18% o 19% respectivamente (Laurikainen et al., 1998).

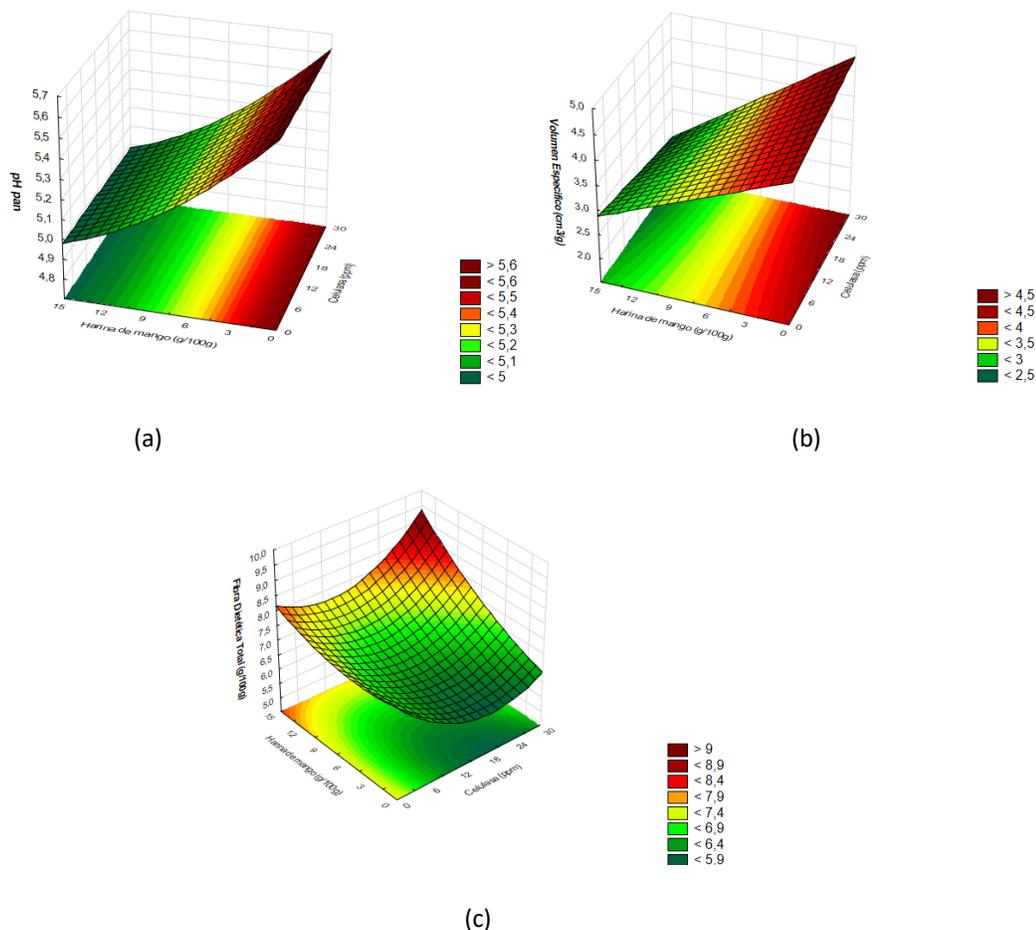


Figura 6. Superficie de respuesta para volumen específico (a), pH (b), FDT (c).

3.3.2 pH del pan

El modelo que se obtuvo para pH de los panes fue un modelo cuadrático (Tabla 9). Dicho pH se vio negativamente afectada por la adición HM; es decir, que al adicionar HM, el pH de los panes disminuyó. En la figura 6 (b) se indica la superficie de respuesta obtenida y se observa que a valores altos de HM el pH disminuye obteniendo valores < 5 . Este resultado está relacionado con la variable de pH de la masa ya que en ambos casos el pH disminuye a valores altos de HM por lo que se corrobora con la composición de ácidos orgánicos presentes en las cáscaras de mango ya que actúan como preservantes naturales (Siller et al., 2013).

3.3.3 Fibra Dietética Total FDT

El modelo que se obtuvo para FDT fue un modelo cuadrático (Tabla 9). La FDT se vio positivamente afectada por la adición EC y HM; es decir, que al adicionar EC y HM, el FDT de los panes aumentó. En la figura 6 (c) se muestra la superficie de respuesta obtenida y se observa que a niveles altos de EC y HM se obtienen valores de FDT > 9 g/100g mientras que a niveles bajos de HM y valores centrales de EC se obtienen valores de FDT $< 5,9$ g/100g. Por lo tanto, se puede corroborar que la adición de EC tiene un efecto positivo sobre las hidrólisis de la celulosa de la HM sin embargo se puede explicar que el aumento de FDT al adicionar los niveles más altos de ambas variables se produce debido a la inhibición competitiva de la acción hidrolítica de la EC por productos solubles como la glucosa y celobiosa (Fan & Lee, 1983). De tal forma que la cantidad de celulosa que no se hidrolizó se ve reflejada en el porcentaje de FDT obtenido.

Finalmente se pudo determinar que las variables de estudio (variables independientes) no mostraron un efecto significativo ($p < 0,10$) en las siguientes variables de respuesta: actividad acuosa (A_w) y humedad (g/100g); por lo tanto, no se pudieron obtener modelos matemáticos ni superficies de respuesta de las mismas.

3.4 Función de Deseabilidad

La función de deseabilidad se realizó de acuerdo de los parámetros mostrados en la Tabla 10. A cada variable se asignó un objetivo y un peso o importancia de acuerdo a lo que se desea para la optimización de los tratamientos. Las importancias se asignaron entre uno y cinco, siendo uno menos importante que cinco. Las variables que se maximizaron fueron el porcentaje de HM, el volumen específico y FDT, mientras que los demás se mantuvieron

dentro de los límites de estudio. De tal forma que se obtuvo un punto óptimo con la siguiente composición: Enzima Celulasa (29,96ppm) y Harina de Mango (8,02g/100g).

En base a los modelos matemáticos se obtiene que dicho punto óptimo tiene valores de absorción de agua (68,8 g/100g), DDT (3,54 min), estabilidad (11,3 min), slope α (0,0647), C3 (1,40 Nm), C4 (1,31 Nm), C5 (2,29 Nm), C5-C4 (0,980 Nm), pH masa antes fermentación (5,37), pH masa después fermentación (5,16), volumen específico (3,61 cm³/g), pH pan (5,25) y FDT (8,02 g/100g).

Tabla 10. Función de deseabilidad para la obtención de tratamientos optimizados.

Variable Dependiente	Objetivo	Peso
EC (x_1)	En rango	3
HM (x_2)	Maximizar	3
Absorción agua (g/100g)	En rango	3
DDT (min)	En rango	3
Estabilidad (min)	En rango	3
Slope α	En rango	3
C3 (Nm)	En rango	3
C4 (Nm)	En rango	3
C5 (Nm)	En rango	3
C5-C4 (Nm)	En rango	3
Volumen específico (cm ³ /g)	Maximizar	5
pH pan	En rango	3
FDT (g/100g)	Maximizar	5
pH masa antes	En rango	3
pH masa después	En rango	3
Deseabilidad Total		0,64635

3.5 Análisis Sensorial

En la Figura 8 se indican las medias obtenidas para cada muestra en base a los atributos de sabor y textura. Dicha figura permite analizar la interacción global de los atributos en cada muestra. De acuerdo a las medias calculadas, se observa que la muestra 941 (pan optimizado) tuvo una mayor aceptación en cuanto al sabor y textura que la muestra 683 (pan control) (Figura 7).



Figura 7. Pan control (a), pan optimizado de HM (b)

Sin embargo, ambas muestras presentaron medias con valor a 7 puntos que de acuerdo a la escala hedónica utilizada representa una calificación de “Me gusta moderadamente” lo que indica que tuvieron una aceptación buena.

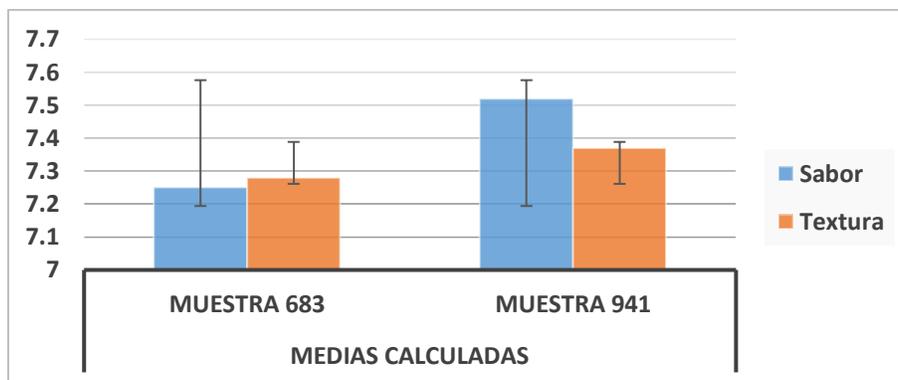


Figura 8. Comparación de atributos entre muestras.

Seguidamente, en las Tablas 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) con probabilidad de 5% entre muestras para el atributo de sabor y textura, respectivamente.

Tabla 11. Análisis de Varianza para el atributo de sabor.

Fuentes de variación (FV)	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F calculada	F tabla
Tratamientos	1	3,645	3,645	3,80	3,94
Jueces	99	190,855	1,928	2,012	1,39
Error Experimental	99	94,855	0,9581		
Total	199	289,355			

Entre jueces existe diferencia significativa y entre muestras no existe diferencias significativas (en relación a la aceptación del sabor), por medio del Análisis de varianza, al 5% de probabilidad ($p < 0,05$).

Tabla 12. Análisis de Varianza para el atributo de textura.

Fuentes de variación (FV)	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	F calculada	F tabla
Tratamientos	1	0,4175	0,4175	0,426	3,95
Jueces	96	422,041	4,3962	4,486	1,37
Error Experimental	96	94,082	0,9800		
Total	193	516,541			

Entre jueces existe diferencia significativa y entre muestras no existe diferencias significativas (en relación a la aceptación de la textura), por medio del Análisis de varianza, al 5% de probabilidad ($p < 0,05$).

El análisis previo indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos, concluyendo que la aceptación del sabor y de textura es igual entre la muestra de pan optimizado (muestra 941) y la muestra de pan control (muestra 683). Estos resultados son esperados ya que en cuanto al sabor, las cáscaras de mango se caracterizan por tener un sabor amargo debido al alto contenido de polifenoles (Aslam, Khuram, Ur, & Muhammad, 2014). Como la magiferina y quercetina 3-O-galactósido (Masibo & He, 2008). Otro compuesto que interfiere en el sabor de la cáscara de mango son los galotaninos ya que este tanino está relacionado con la acidez, astringencia y amargor (Medina et al., 2016). Por lo tanto, se obtiene que el pan optimizado tuvo igual aceptación que el pan control por lo que los consumidores no sintieron ningún amargo en el sabor del pan optimizado.

En cuanto a la textura (dureza de la miga) ambas muestras fueron aceptadas de igual forma por los consumidores. Este resultado es deseado ya que se observa que la enzima celulasa (EC) tuvo un efecto positivo en el pan con HM y los consumidores aceptaron dicha textura al igual que el control.

4. CONCLUSIONES

- La adición de EC y HM disminuyó la absorción de agua y C3 así como aumentó el DDT, Slope α , C5 y C5-C4. La adición de EC aumentó el slope β y C4 mientras que disminuyeron con la adición de HM. Y la estabilidad aumentó con la adición de HM y disminuyó con la EC. El pH de las masas antes y después de la fermentación disminuyó al adicionar HM así como el pH del pan y el volumen específico sin

embargo se ve un aumento leve del volumen específico al adicionar EC. La FDT aumentó con valores altos de HM y EC mientras que a valores centrales disminuyó.

- Se logró optimizar el mejor tratamiento en el pan de molde mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR) con una cantidad de enzima celulasa de 29,96ppm y harina de mango (*Mangifera indica L.*) de 8,02 g/100g.
- Se pudo realizar una evaluación sensorial de aceptación de los atributos organolépticos como sabor y textura (dureza de la miga) del tratamiento óptimo (29,96ppm de EC y 8,02 g/100g de HM) y un control (0ppm de EC y 0g/100g de HM). De tal forma que no hubo diferencia significativa entre muestras en ambos atributos por lo tanto la muestra de pan optimizado tiene la misma aceptación de los consumidores que un pan control.
- Se logró utilizar los residuos industriales del procesamiento de pulpa de mango (*Mangifera indica L.*) como la cáscara y bagazo de mango y adicionar la enzima celulasa en pan de molde; donde se determinó que la adición de EC y HM tuvieron un efecto significativo en las variables de respuesta tanto en los análisis reológicos (absorción de agua, estabilidad, DDT, slope α , C2, C3, C4, C5-C4 y pH masa antes y después de fermentación) como en la caracterización del pan de molde (volumen específico, pH pan y FDT).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. (1998). Official methods of analysis. Washington D.C: Association of Analytical Chemists.
- AACCI. (2010). Approved Methods of Analysis. American Association of cereal chemist international, 11th Edition.
- Albernas, Y., Corsano, G., Garriga, L. M., & Herrero, R. S. (2015). Enzimática Del Bagazo Pretratado.
- Amerine, M., Pangborn, R., & Roessler, E. (1965). *Principles of Sensory Evaluation of Food*. Nueva York: ACADEMIC PRESS INC.
- Araya, C. (2014). NUEVAS OPORTUNIDADES CON RESIDUOS AGROINDUSTRIALES TROPICALES. Recuperado desde http://www.altec2013.org/programme_pdf/50.pdf
- Arias, E., Ríos, A., Vázquez, J., & Pérez, R. (2015). Estudio comparativo entre los enfoques de diseño experimental robusto de Taguchi y tradicional en presencia de interacciones de control por control. *Ingeniería Investigación Y Tecnología*, 16(1), 131–142. Recuperado desde [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72114-1](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72114-1)
- Aslam, H., Khuram, W., Ur, R., & Muhammad, I. (2014). Utilization of Mango Waste Material (Peel, Kernel) To Enhance Dietary Fiber Content and Antioxidant Properties of Biscuit. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences*, 2(2), 76–81. Recuperado desde <https://doi.org/10.17957/JGIASS/2.2.533>
- Baddi, J., Vijayalakshmi, D., Durgannavar, N. A., & Chandru, R. (2015). Mango peel: A potential source of natural bioactive phyto-nutrients in functional food. *Asian J. Dairy & Food Res*, 34(1), 75–77. Recuperado desde <https://doi.org/10.5958/0976-0563.2015.00016.0>
- Ballinas, E., Vela, G., López, E., Aguilar, O., Caballero, A., Meza, P., & Pérez, A. (2013). Mango Cultivo, tratamiento pre y postcosecha Propiedades nutrimentales y funcionales. Recuperado desde <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/84/1/Mango.pdf>
- Banu, I., Stoenescu, G., Ionescu, V., & Aprodu, I. (2011). Estimation of the Baking Quality of Wheat Flours Based o Rheological Parameters of the Mixolab Curve. Recuperado desde <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/35013.pdf>
- Bchir, B., Nadia Rabetafika, H., Paquot, M., & Blecker, C. (2014). Effect of Pear, Apple and Date Fibres from Cooked Fruit By-products on Dough Performance and Bread Quality. *Food Bioprocess Technol*. Recuperado desde [://doi.org/10.1007/s11947-013-1148-y](https://doi.org/10.1007/s11947-013-1148-y)
- BeMiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch Chemistry and Technology*. New York: Elsevier.

- Bhat, M. K. (2000). Cellulases and related enzymes in biotechnology. *Biotechnology Advances*, 18, 355–383. Recuperado desde [https://www.kth.se/polopoly_fs/1.142751!/Menu/general/column-content/attachment/9B Review - cellulaser i bioteknik.pdf](https://www.kth.se/polopoly_fs/1.142751!/Menu/general/column-content/attachment/9B%20Review%20-%20cellulaser%20i%20bioteknik.pdf)
- Buenrostro, J. J., De La Garza, H., Ibarra, V., Cristóbal, Y., & Aguilar, N. (n.d.). APROVECHAMIENTO DE LAS CASCARAS DE MANGO COMO SOPORTE PARA LA PRODUCCIÓN DE POLISACARIDASAS. Recuperado desde <http://www.postgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM>
- Cedeño, J. L., & Zambrano, J. B. (2014). CÁSCARAS DE PIÑA Y MANGO DESHIDRATADAS COMO FUENTE DE FIBRA DIETÉTICA EN PRODUCCIÓN DE GALLETAS. Recuperado desde [http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/439/1/TESIS GALLETAS.pdf](http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/439/1/TESIS%20GALLETAS.pdf)
- Chacón, S., & Waliszewski, K. (2005). PREPARATIVOS DE CELULASAS COMERCIALES Y APLICACIONES EN PROCESOS EXTRACTIVOS. Recuperado desde www.ujat.mx/publicaciones/uciencia
- CHOPIN. (n.d.). SOLUCIÓN COMPLETA PARA LAS INDUSTRIAS DE PRIMERA TRANSFORMACIÓN DE LOS CEREALES. Recuperado desde <http://www.chopin.fr/media/produits/pdf/mixolab-primera-transformacion.pdf>
- CHOPIN, A. L. (2009). Mixolab applications handbook. Recuperado desde http://www.chopin.fr/media/applications/091023_Mixolab_appli_EN.pdf
- Cock, L. S., & León, C. T. (2014). Potencial agroindustrial de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) variedades Keitt y Tommy Atkins Agro industrial potential of peels of mango (*Mangifera indica*) Keitt and Tommy Atkins. Recuperado desde <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Dagdelen, A. F., & Gocmen, D. (2007). Effects of glucose oxidase, hemicellulase and ascorbic acid on dough and bread quality. *Journal of Food Quality*, 30(6), 1009–1022. Recuperado desde <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00156.x>
- Dubat, A., Molina-Rosell, C., & Gallagher, E. (2013). *Mixolab: A New Approach to Rheology*. AACC International (Edition, Vol. 1). AACC International. Recuperado desde [https://doi.org/ISBN 978-1-891127-77-9](https://doi.org/ISBN%20978-1-891127-77-9)
- Erukainure, O., Okafor, J., Ogunji, A., Ukazu, H., Okafor, E., & Eboagwu, I. (2016). Bambara–wheat composite flour: rheological behavior of dough and functionality in bread. Recuperado desde <https://doi.org/10.1002/fsn3.356>
- Escobar, J. M., Pardo, E. M., Buitrago, G., & López, L. (2004). Análisis exploratorio para la optimización de un medio de cultivo para la fermentación de *Bacillus thuringiensis*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, VI(2), 43–53.
- Espinosa, J. (2007). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Editorial Universitaria.

Recuperado desde file:///D:/MIS DOCUMENTOS/Downloads/LIBRO ANALISIS SENSORIAL-1 MANFUGAS.pdf

- Fan, L. T., & Lee, Y. (1983). Kinetic Studies of Enzymatic Hydrolysis of Insoluble Cellulose : Derivation of a Mechanistic Kinetic Model, *XXV*, 2707–2733.
- Fendri, L. B., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., Chaabouni, S. E., & Ghribi-Aydi, D. (2016). Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality. Recuperado desde <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.070>
- Hadnađev, M., Torbica, A., Sakač, M., & Dokić, P. (2008). INFLUENCE OF PARTIAL WHEAT FLOUR SUBSTITUTION BY BUCKWHEAT FLOUR ON DOUGH RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS MEASURED USING MIXOLAB. *Quality and Safety*, *35*(3), 129–134. Recuperado desde http://fins.uns.ac.rs/e-journal/uploads/Magazines/magazine_75/influence-of-partial-wheat-flour-substitution-by-buckwheat-flour-on-dough-rheological-characteristics-measured-using-mixolab.pdf
- Icontec. (2004). FRUTAS FRESCAS. MANGOS CRIOLLOS. ESPECIFICACIONES. Recuperado desde <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5139.pdf>
- INEC. (2012). Informacion economia. Analisis Sectoriales. Recuperado desde <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/infoe.pdf>
- INIAP. (2008). Mango (Mangifera indica). Recuperado desde http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Aplicación de tecnologías agroindustriales para el tratamiento del mango con fines de export_.pdf
- Lallemand. (n.d.). Preservativos Una Guía de Preservativos para Panificación. Recuperado desde <http://lallemandmexico.com/wp-content/uploads/2017/07/LBU-01-05.pdf>
- Lallemand, inc. (1997). Química de la Fibra Producción de Panes con Fibra. Recuperado desde http://lallemandmexico.com/wp-content/uploads/2017/07/LBU2_5PANES-DE-FIBRA.pdf
- Lauková, M., Kohajdová, Z., Karovičová, J., Kuchtová, V., Minarovičová, L., & Tomášiková, L. (2017). Effects of cellulose fiber with different fiber length on rheological properties of wheat dough and quality of baked rolls. *Food Science and Technology International*, *23*(6), 490–499. Recuperado desde <https://doi.org/10.1177/1082013217704122>
- Laurikainen, T., Härkönen, H., Autio, K., & Poutanen, K. (1998). Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *76*(2), 239–249. Recuperado desde [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199802\)76:2<239::AID-JSFA942>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<239::AID-JSFA942>3.0.CO;2-L)
- Lorea, O. (2012). Mejoradores de pan. Recuperado desde

http://www.espatentes.com/pdf/2054212_t3.pdf

- Martínez, J., Díaz, C. F., & Rojas, L. (2015). Propiedades hidrodinámicas de la fibra dietaria a partir de harina de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y mango (*Mangifera indica* L). *Universidad Santiago de Cali/ Facultad de Ingeniería - Facultad de Ciencias Básicas*, 9, 11–19.
- Masibo, M., & He, Q. (2008). Major Mango Polyphenols and Their Potential Significance to Human Health. *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY*, 7. Recuperado desde <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1541-4337.2008.00047.x>
- Medina, N., Monteiro, L., Apolonio, F., Viana, J., De Souza Dantas, M., Lopes, R., ... Stampini, H. (2016). Extraction of Mangiferin and Chemical Characterization and Sensorial Analysis of Teas from *Mangifera indica* L. Leaves of the Ubá Variety. *Beverages*, 2(4), 33. Recuperado desde <https://doi.org/10.3390/beverages2040033>
- Megazyme. (2017). TOTAL DIETARY FIBER. Recuperado desde https://secure.megazyme.com/files/booklet/k-tdfr_data.pdf
- Mesas, J., & Alegre, M. (2002). EL PAN Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN. *Cienc. Tecnol. Aliment*, 3(5), 307–313. Recuperado desde <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72430508>
- Montgomery, D., & Wiley, L. (2004). *Diseño y Analisis de Experimentos*.
- NTE INEN 2945. (2014). Pan. Requisitos. Recuperado desde http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/nte_inen_2945.pdf
- Obando, C., Directoras, G., Orejas, D. M., Haros, D. M., & Gavara, R. (2013). *Evaluación de nuevas xilanasas fúngicas para el desarrollo de alimentos funcionales derivados de cereales máster en ciencia e ingeniería de los alimentos*. Recuperado desde <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33269/MEMORIACompleta.pdf?sequence=1>
- Olivas, R., Nevárez, G., & Gastélum, M. (2009). *Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos. Tecnociencia Chihuahua*, III(1). Recuperado desde <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v3n1/data/AnalisisSensorialdeAlimentos.pdf>
- Pastukhov, A., & Dogan, H. (2014). Studying of mixing speed and temperature impacts on rheological properties of wheat flour dough using Mixolab. *Agronomy Research*, 12(3), 779–786. Recuperado desde http://agronomy.emu.ee/vol123/2014_3_10_b5.pdf
- Pathak, D., Raychaudhuri, J., & Chakraborty, R. (2017). Study on enrichment of whole wheat bread quality with the incorporation of tropical fruit by-product. *International Food Research Journal*, 24(1), 238–246. Recuperado desde <http://www.ifrj.upm.edu.my/24>

(01) 2017/(30).pdf

- Pineda, S. (2013). *UTILIZACIÓN DE LA HARINA DE MALANGA (Xanthosoma sagittifolium) EN LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL. Recuperado desde http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5042/1/53961_1.pdf
- Popper, L. (n.d.). Enzimas – Las mejores amigas de las harinas Las pequeñas ayudantes de los fabricantes de harinas. Recuperado desde <http://muehlenchemie.de/downloads-expertenwissen/mc-enzyme-popper-esp.pdf>
- Portilla, R. (2008). Proyecto de factibilidad para la producción de pulpa de mango, sin azúcar, para el mercado interno ecuatoriano. Recuperado desde <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/735/1/88415.pdf>
- PRO ECUADOR. (2014). Alimentos frescos y procesados. Recuperado desde <https://www.proecuador.gob.ec/sector1-6/>
- Ramírez, R., Quijada, O., Castellano, G., Burgos, M., Camacho, R., & Marin, C. (2010). *Características físicas y químicas de frutos de trece cultivares de mango (mangifera indica l) en el municipio mara en la planicie de maracaibo physical and chemical characteristics of fruits of thirteen mango*. Recuperado desde <http://www.redalyc.org/pdf/813/81315091002.pdf>
- Rao, S. (2009). Enzymatic hydrolysis of cellulosic fiber. Recuperado desde https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/29639/rao_swati_s_200908_mast.pdf
- Ruiz, H. (2010). Importancia de la fermentación en la panificación. Recuperado desde [http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/7203/Importancia de la fermentacion en la panificacion\(1\).pdf](http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/7203/Importancia%20de%20la%20fermentacion%20en%20la%20panificacion(1).pdf)
- Sandoval, G., Álvarez, M., Paredes, M., & Lascano, A. (2012). Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan. *Scientia Agropecuaria*, 2, 123–131. Recuperado desde <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/viewFile/76/85>
- Schmiele, M., Ferrari, M., Pedrosa, M., & Chang, Y. (2016). 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. Recuperado desde <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.014>
- Siller, A., Alvarez, O., Aguilar, C., & Rojas, R. (2013). Polifenoles de Cáscara de Mango (*Mangifera caesiavar. Ataulfo*): Una Alternativa var. *Ataulfo*): Una Alternativa Antioxidante y Antimicrobiana Antioxidante y Antimicrobiana. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 5. Recuperado desde

[http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No. 10/2 polifenoles.pdf](http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.10/2%20polifenoles.pdf)

Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., & Perera, C. O. (2010). Properties of Bread Dough with Added Fiber Polysaccharides and Phenolic Antioxidants: A Review. Recuperado desde <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x>

Sumaya, M. T., Herrera, M. L., Torres, G., & Paredes, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales, 30. Recuperado desde <https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/120464/2/4.Articulo-Red-Valor-Mango-Corregido-9Julio.pdf>

Tahir, M., Masood, B., Anjum, M., & Asgher, M. (2009). Improving Bread Quality by Carboxymethyl Cellulase Application. *ISSN Online Int. J. Agric. Biol*, 11, 1560–8530. Recuperado desde <http://www.fspublishers.org>

Villanueva, S. (2016). *Introducción a la tecnología del mango* (1era ed.). Guadalajara: CONACYT. Recuperado desde http://ciatej.mx/libros_ciatej/INTROD-TECNOL-MANGO.pdf

Wilde, P. (2012). *Foam formation in dough and bread quality. Breadmaking: Improving quality, Second Edition.* Recuperado desde <https://doi.org/10.1533/9780857095695.2.370>

Xiao, Z., & Yi, P. (2013). Cellulases: Characteristics, Sources, Production, and Applications. *Bioprocessing Technologies in Biorefi Nery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Polymers.* Recuperado desde <https://doi.org/10.1002/9781118642047.ch8>

Yepes, S. M., Naranjo, L. J., & Sánchez, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en medellín y el sur del valle del aburrá, colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61(1), 4422–4431. Recuperado desde <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24742>

6. ANEXOS

ANEXO 1. FICHAS TÉCNICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS

FICHA TÉCNICA DE HARINA TRIGO

MODERNA ALIMENTOS	POCC: Certificado Plantas	Versión: 01		
	CERTIFICADO DE CALIDAD	Vigencia: Enero 2017		
		Pag: 1 de 1		
<i>Harina:</i>	PANIPLUS NORMAL			
<i>Presentación</i>	50Kg			
<i>Lote:</i>	PN102318626			
<i>Fecha de Elaboración:</i>	Del 12 al 18 de Diciembre del 2017			
<i>Tiempo de consumo</i>	90 días a partir de la fecha de elaboración			
Análisis	Especificación	Resultado	Unidades	Método
Humedad		13,20	%	POCC - I15
Gluten húmedo		36,1	%	POCC - I08
Gluten Seco		12,1	%	POCC - I08
Gluten Index		93,0	%	POCC - I08
Falling Number		345	segundos	POCC - I10
Cenizas (BH)		0,66	%	POCC - I05
Farinógrafo Absorción		67,50	%	POCC - I01
Farinógrafo Estabilidad		10,9	min.	POCC - I01
Acidez		0,14	%	POCC - I02
Análisis Microbiológico	Especificación	Resultado	Unidades	Método
E. coli	<10	<10	UFC/g	POCC - I23
Mohos y Levaduras	<1000		UFC/g	POCC - I23
<i>Observaciones</i>				
<i>Premezcla vitamínica según acuerdo ministerial 370</i>				
<i>Producto libre de transgénicos</i>				
<i>Los resultados microbiológicos serán enviados via mail, una vez se encuentren disponibles.</i>				

FICHA TÉCNICA DE ENZIMA CELULASA**VERON[®] CP****Description and Specification**2016.01.06
Rev. Nr. 8**Description**

VERON[®] CP is an cellulolytic enzyme preparation with hemicellulase side activities for the treatment of whole meal and rye flours. The enzyme is obtained from specific cultures of a classical *Trichoderma reesei*.

- IUB-Nr.: 3.2.1.4
- CAS-Nr.: 9012-54-8

Properties

The product has the following characteristics

- a) solid product
- b) light beige coloured with aromatic smell

Activity

VERON[®] CP contains a declared minimum activity of 2400 CU mg⁻¹.
1 CU corresponds to that enzyme activity which reduces the viscosity of a carboxymethylcellulose-solution for a specified value under standard conditions.

Application

VERON[®] CP is used for treating flours, or added to bread improvers, which are meant for producing whole meal or rye bread.

The doughs manufactured using VERON[®] CP are characterized by dry, stable and excellent processable properties. Also a significant increase in baking volume will be achieved

Dosage

1 – 3 g / 100 kg flour

The optimum dosage should be determined by means of baking tests.

VERON[®] CP

Specification

The product fulfils the requirements of the FAO/WHO's Joint Expert Committee for Food Additives (JECFA) and Food Chemicals Codex (FCC).

The total viable counts are within the upper limit of $5 \times 10^4 \text{ g}^{-1}$

E.coli: Absent in 25 g

Composition

Wheat flour, Cellulase, Sunflower oil

Storage

Stored in a dry place at room temperature the activity loss will be less than 10 % within one year.

Handling

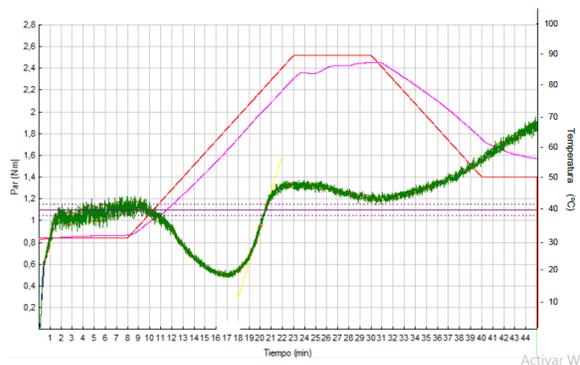
When handling enzyme products in powder form, direct skin contact and dust formation should be avoided. Enzymes may irritate the skin and eyes; the inhalation of enzyme dust may provoke sensitisation of the respiratory organs.

For further details on the safe handling of our products, please consult our safety data sheet and the technical information sheet "Precautionary measures when handling enzyme products in powder form."

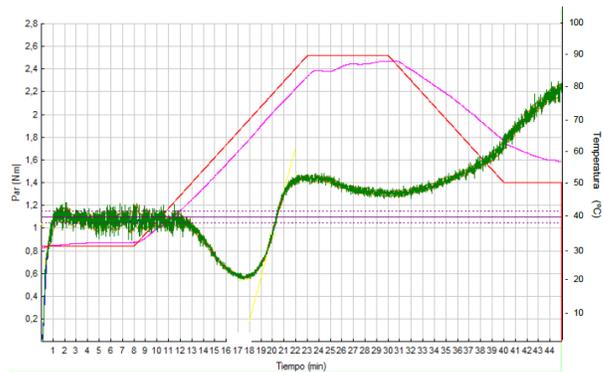
ANEXO 2. RESULTADOS MIXOLAB™

CURVAS DE MIXOLAB

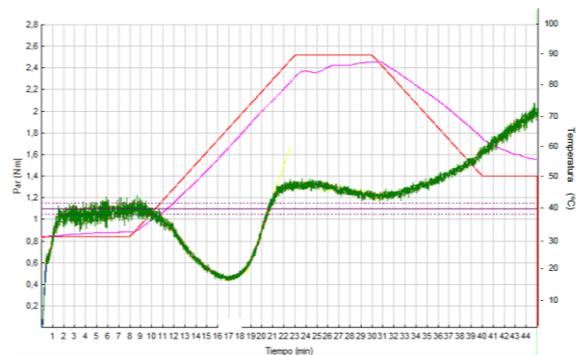
Tratamiento 1



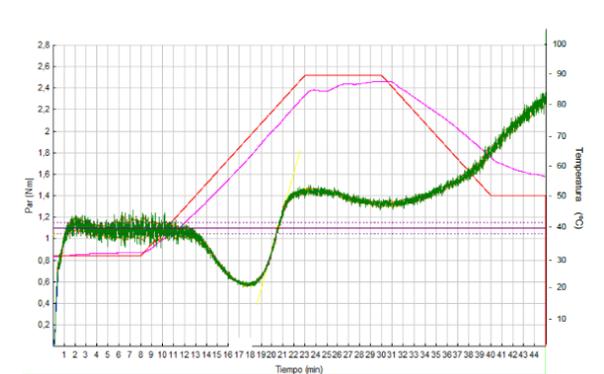
Tratamiento 2



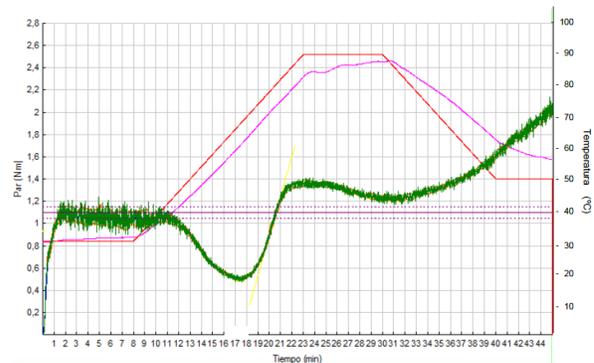
Tratamiento 3



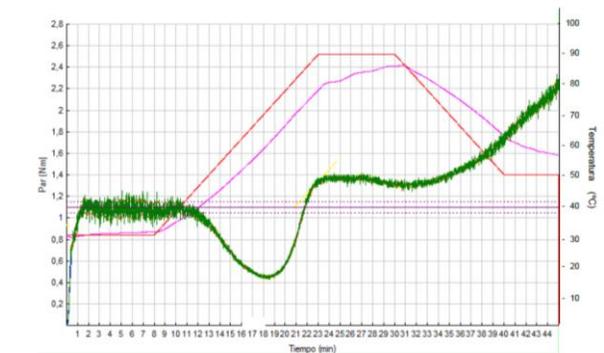
Tratamiento 4



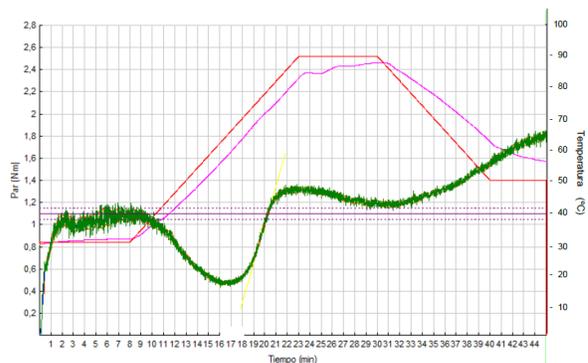
Tratamiento 5



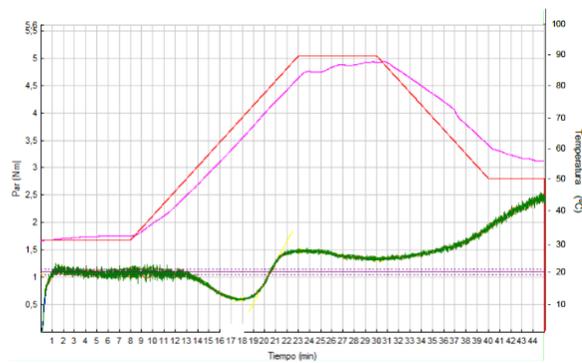
Tratamiento 6



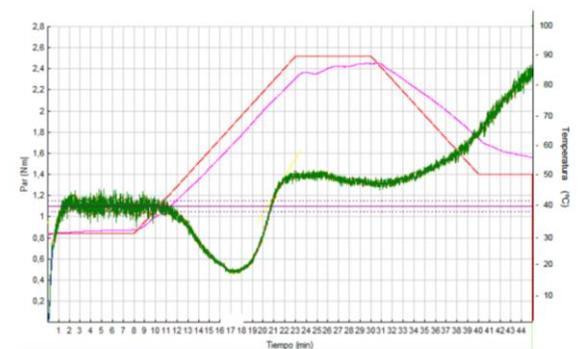
Tratamiento 7



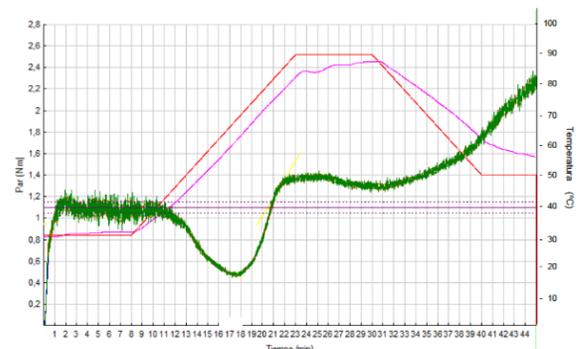
Tratamiento 8



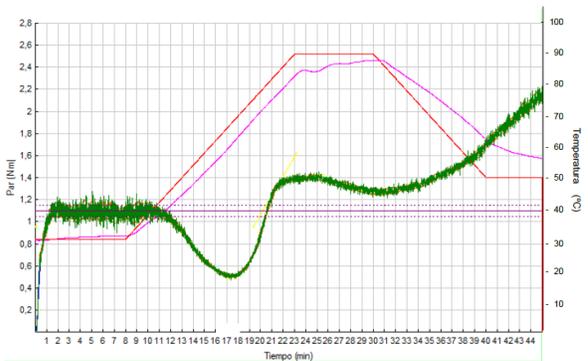
Tratamiento 9C



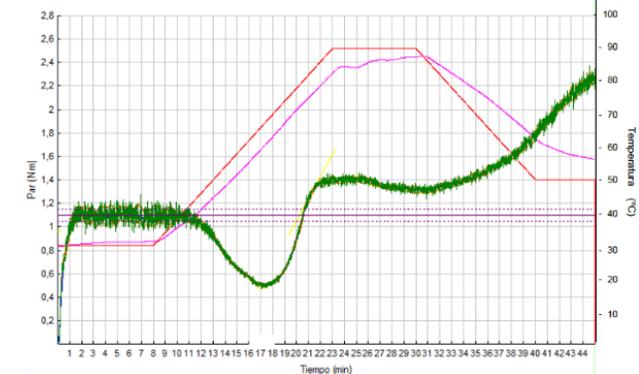
Tratamiento 10C



Tratamiento 11C



Tratamiento 12C



ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Absorción de agua (g/100g)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	3,49	4	0,87	17,84	2,96	6,03	0,001
Residuos	0,34	7	0,05				
Falta de ajuste	0,151824	4	0,04				
Erro puro	0,190000	3	0,06				
Total	3,827292	11					

DDT (min)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	75,59	3	25,20	15,36	2,92	5,26	0,001
Residuos	13,12	8	1,64				
Falta de ajuste	13,10999	5	2,62				
Erro puro	0,01020	3	0,00				
Total	88,71032	11					

Estabilidad (min)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	11,87	2	5,93	470,43	3,01	156,29	0,000
Residuos	0,11	9	0,01				
Falta de ajuste	0,05029	6	0,01				
Erro puro	0,06322	3	0,02				
Total	11,98076	11					

Slope alfa

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,02	4	0,00	92,11	2,96	31,12	0,000
Residuos	0,00	7	0,00				
Falta de ajuste	0,000293	4	0,00				
Erro puro	0,000015	3	0,00				
Total	0,016487	11					

C3 (Nm)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,02	2	0,01	116,08	3,01	38,56	0,000
Residuos	0,00	9	0,00				
Falta de ajuste	0,000303	6	0,00				
Erro puro	0,000562	3	0,00				
Total	0,023160	11					

C4 (Nm)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,02	3	0,01	16,61	2,92	5,69	0,001
Residuos	0,00	8	0,00				
Falta de ajuste	0,001672	5	0,00				
Erro puro	0,001655	3	0,00				
Total	0,024054	11					

C5 (Nm)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,32	4	0,08	29,88	2,96	10,10	0,000
Residuos	0,02	7	0,00				
Falta de ajuste	0,002687	4	0,00				
Erro puro	0,016011	3	0,01				
Total	0,337997	11					

C5 -C4 (Nm)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,18	4	0,04	29,94	2,96	10,11	0,000
Residuos	0,01	7	0,00				
Falta de ajuste	0,001642	4	0,00				
Erro puro	0,008612	3	0,00				
Total	0,185659	11					

pH masa antes fermentación

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,50	2	0,25	134,08	3,01	44,54	0,000
Residuos	0,02	9	0,00				
Falta de ajuste	0,013009	6	0,00				
Erro puro	0,003800	3	0,00				
Total	0,517632	11					

pH masa después fermentación

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,30	1	0,30	63,38	3,29	19,26	0,000
Residuos	0,05	10	0,00				
Falta de ajuste	0,033746	7	0,00				
Erro puro	0,013831	3	0,00				
Total	0,349096	11					

Volumen Específico (cm³/g)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	3,77	2	1,88	100,04	3,01	33,24	0,000
Residuos	0,17	9	0,02				
Falta de ajuste	0,085987	6	0,01				
Erro puro	0,083517	3	0,03				
Total	3,937943	11					

pH pan

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	0,43	2	0,21	111,88	3,01	37,17	0,000
Residuos	0,02	9	0,00				
Falta de ajuste	0,008651	6	0,00				
Erro puro	0,008475	3	0,00				
Total	0,442914	11					

Fibra Dietética Total (g/100g)

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medios	F cal	F tab	Fcal/Ftab (>1)	p-valor (p<0,1)
Regresión	5,35	4	1,34	14,61	2,96	4,94	0,002
Residuos	0,64	7	0,09				
Falta de ajuste	0,501621	4	0,13				
Erro puro	0,139764	3	0,05				
Total	5,995346	11					

ANEXO 3. EVALUACIÓN SENSORIAL

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Quito, 26 de abril del 2018

Yo, _____ acepto participar en la evaluación sensorial de pan. Comprendo que algunos ingredientes del producto pueden contener gluten y afirmo no padecer ninguna alergia; además, doy constancia de que no sufro algún problema de salud como sobrepeso, hipertensión, diabetes y alguna otra enfermedad que me impida realizar esta evaluación.

Firma:

C.I:

PLANILLA EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre: _____

Fecha: _____

Sexo: M () F ()

Edad: _____ años

Por favor, evalúe las muestras servidas de izquierda a derecha e indique cuanto a usted le gusta o disgusta el producto de acuerdo a cada uno de los atributos sensoriales, calificando de acuerdo a la siguiente escala:

9	Me gusta extremadamente		683	941
8	Me gusta mucho			
7	Me gusta moderadamente	Sabor	_____	_____
6	Me gusta poco			
5	Ni me gusta ni me disgusta	Aroma	_____	_____
4	Me disgusta poco			
3	Me disgusta moderadamente	Textura (Firmeza de la miga)	_____	_____
2	Me disgusta mucho			
1	Me disgusta extremadamente			

Comentarios: _____
