

**Elaboración de harina de plátano verde
(*Musa paradisiaca*) y su uso potencial como
ingrediente alternativo para pan y pasta
fresca**

**Sauny Salvador Encarnación Montero
Julio David Salinas Alvarado**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Elaboración de harina de plátano verde
(*Musa paradisiaca*) y su uso potencial como
ingrediente alternativo para pan y pasta
fresca**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Sauny Salvador Encarnación Montero
Julio David Salinas Alvarado**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2017

Elaboración de harina de plátano verde (*Musa paradisiaca*) y su uso potencial como ingrediente alternativo para pan y pasta fresca

**Sauny Salvador Encarnación Montero
Julio David Salinas Alvarado**

Resumen. El plátano verde (*Musa paradisiaca*) deshidratado se puede convertir en harina con aplicaciones múltiples en la industria alimentaria. En Honduras el plátano representa un 11.61% del área agrícola cultivada, siendo el quinto producto de mayor exportación. Este trabajo tuvo como objetivo elaborar y caracterizar fisicoquímicamente harina a partir de plátano verde y evaluar la sustitución parcial en pan molde y pasta fresca. Se evaluaron tres tratamientos de secado de pulpa para elaborar harina. Se realizaron pruebas preliminares para determinar el porcentaje de sustitución en pan molde y pasta fresca. Se utilizó la metodología de Superficie de Respuesta para la optimización de pan molde definiendo como variables independientes el porcentaje de harina de plátano verde y el porcentaje de levadura. Las variables dependientes fueron: dureza, elasticidad, masticabilidad, densidad y área de alveolos. Se caracterizó mediante un análisis proximal completo el pan óptimo y se evaluó sensorialmente contra un pan integral control. Con un secado a 90 °C por 4 horas se obtuvo un porcentaje de humedad de 10.40% y un porcentaje para fibra dietética de 16.70% en la harina. El porcentaje óptimo de sustitución de harina de plátano verde fue 29.70% y 1.16% de levadura. Las variables independientes tuvieron efectos lineales y cuadráticos sobre las variables dependientes. El aporte nutricional de fibra dietética del pan óptimo fue de 7.95%. Los panelistas no detectaron diferencias respecto a la preferencia del pan control y el óptimo. Se recomienda determinar la factibilidad económica de la sustitución de harina de trigo por plátano verde.

Palabras clave: Alveolos, fibra dietética, harina compuesta, pan molde.

Abstract. Dehydrated green banana (*Musa paradisiaca*) can be converted into flour with multiple applications in the food industry. In Honduras the banana represents 11.61% of the cultivated agricultural area, being the fifth product of greater export. This work was aimed to elaborate and characterize physicochemically flour from green banana and evaluate the partial substitution in bread and fresh pasta. Three pulp drying treatments were evaluated for the elaboration of flour. Preliminary tests were performed to determine the percentage of substitution in bread and fresh pasta. The response surface methodology was used for bread optimization, defining the percentage of green banana flour and the percentage of yeast as independent variables. The dependent variables were: hardness, elasticity, chewing, density and area of alveoli. The optimal bread was characterized by a complete proximal analysis and sensorially evaluated against a control whole-grain bread. Drying at 90 °C for 4 hours yielded a moisture content of 10.40% and a percentage for dietary fiber of 16.70% in the flour. The optimal substitution percentage of green banana flour was 29.70% and 1.16% yeast. The independent variables had linear and quadratic effects on the dependent variables. The nutritional contribution of dietary fiber from the optimal bread was 7.95%. The panelists did not detect differences regarding the control and optimum bread preference. It is recommended to determine the economic feasibility of replacing wheat flour with green banana.

Key words: Alveoli, composite flour, dietary fiber, sliced bread.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4. CONCLUSIONES.....	38
5. RECOMENDACIONES.....	38
6. LITERATURA CITADA.....	39
7. ANEXOS	47

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Niveles codificados de las variables independientes.....	11
2. Delineamiento del diseño experimental completo.	11
3. Caracterización proximal de plátano verde variedad Curaré Enano.	13
4. Actividad de agua y pH variedad de plátano Curaré Enano.....	13
5. Análisis de Color escala L a* b* en cáscara y pulpa de plátano verde variedad Curaré Enano.	14
6. Efecto de la temperatura y tiempo de secado en la humedad de la pulpa de plátano verde Curaré Enano.	14
7. Caracterización proximal y fibra dietética de harina de plátano verde.	15
8. Granulometría de harina de plátano verde variedad Curaré Enano.	16
9. Análisis de Color escala L a* b* en harina de plátano verde variedad Curaré Enano.	16
10. Dureza y adhesividad en pruebas preliminares de pan molde con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.	17
11. Porcentaje de aumento de peso y de volumen en pruebas preliminares de pasta fresca con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.	18
12. Porcentaje de aumento de volumen ancho y tiempo de cocción en pruebas preliminares de pasta fresca con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.....	19
13. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la dureza (N) en pan molde.	20
14. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la dureza de pan molde con harina de plátano verde.	21
15. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la elasticidad (mm) en pan molde.....	22
16. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la elasticidad de pan molde con harina de plátano verde.....	23
17. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la masticabilidad en pan molde.	25
18. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la masticabilidad de pan molde con harina de plátano verde.	26
19. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la densidad (g/cm ³) en pan molde.....	27
20. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la densidad aparente de pan molde con harina de plátano verde.	28
21. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre los alveolos (cm ²) en pan molde.....	30

22. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en el área de alveolos de pan molde con harina de plátano verde.	31
23. Caracterización proximal completo de pan óptimo y pan control.	34
24. Parámetros sensoriales de aceptación para pan control y óptimo.	35
25. Parámetros sensoriales de aceptación para pan control y pan óptimo.	36
26. Análisis de preferencia entre pan control y pan óptimo.	37

Figuras	Página
27. Pruebas preliminares de pan molde con sustitución de harina de trigo por harina de plátano en 10 (a), 20 (b), 30 (c) y 40% (d) de sustitución.	18
28. Efecto de la harina de plátano verde (%) y levadura (%) sobre la elasticidad (mm) en la Elaboración de pan molde.	24
29. Efecto de la harina de plátano verde (%) y levadura (%) sobre la densidad (cm ³) en la elaboración de pan molde.	29
30. Efecto de la harina de plátano verde (%) y levadura (%) sobre el área de alveolos (cm ²) en la elaboración de pan molde.	32
31. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas de pan molde con harina de plátano.	33

Anexos	Página
32. Flujo de proceso para la elaboración de pan molde de la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano.	47
33. Etiqueta nutricional pan optimizado.	48
34. Análisis de Coliformes fecales por Número Más Probable.	49
35. Resultados de Hongos y levaduras en pan óptimo.	49

1. INTRODUCCIÓN

En Honduras el plátano representa un 11.61% del área agrícola sembrada equivalente a 87,227 hectáreas (SAG 2015). Este cultivo ocupa gran parte de las tierras fértiles sobre todo en la costa Norte, la mayoría de la producción se destina para la exportación, dejando un pequeño porcentaje para la venta interna (Robles 2007). Honduras es el cuarto país a nivel latinoamericano y mundial mayor exportador de plátanos al mercado de Estados Unidos, exportando en el 2016 un volumen total de 595,247 TM equivalentes a 282 mil dólares (ITC 2017). El plátano es una especie del género *Musa* perteneciente a la familia Musaceae (Araya *et al.* 2014). Es un alimento con elevados contenidos de azúcares, vitaminas, sales minerales y proteínas (Robles 2007). Es de alto valor nutricional sea al natural preparado en pastas, dulces o confituras, es un excelente alimento y con la harina blanda, aromática, dulce, es de fácil digestión, muy apropiada para los enfermos, convalecientes y superior a todas las demás harinas alimenticias (Orozco y Picón 2011).

El plátano verde deshidratado se puede convertir en harina con aplicaciones múltiples en la industria de los alimentos (Pacheco y Testa 2005). Sin embargo, poca información se encuentra disponible sobre parámetros y variables de la deshidratación de plátano macho verde para la elaboración de harinas (Ramírez *et al.* 2007). Honduras es un mercado significativo para la importación de trigo destinado a la panificación en Centroamérica, destacándose como el segundo país en toda la región mayor comprador de dicha materia prima, lo que representó en el 2016 un volumen total de 300,055 TM equivalentes a 71.6 millones de dólares (Centralamericadata 2017).

Se conoce como harina a aquel producto fino triturado obtenido a través de la molturación de cereales como el trigo, maíz, sorgo, entre otros (FEN 2017). Sin embargo, es conocido en el mercado término de harinas compuestas el cual se refiere a mezclas elaboradas preparadas a base de trigo, otros cereales y fuentes de orígenes vegetales las cuáles pueden o no contener harina de trigo (Elías 2010). La harina de plátano es un producto obtenido mediante el secado y trituración de plátanos enteros. Dependiendo del producto a elaborar se puede mezclar con otras harinas como son las de trigo y maíz (García y Ramírez 2012). El índice glucémico de harina de plátano verde es clasificado como bajo. Proporciona una reducción en la presión arterial sistólica, en la circunferencia de la cadera y en la glicemia en mujeres con síndrome metabólico (Tavares *et al.* 2014). La harina de plátano no maduro reduce la respuesta glucémica postprandial (Galvão *et al.* 2014). Por estas bondades nutricionales se puede realizar sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde en productos tales como el pan y la pasta fresca.

El pan es el alimento perecedero que resulta de la cocción de la masa obtenida de la mezcla de harina de trigo, sal común y agua potable. Es fermentada por la especie de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas y Alegre 2002). En la industria de la panificación se conocen varios tipos de pan, los mismos se nombran de acuerdo a la sustitución de ingredientes usados en la formulación. El pan molde o americano, se trata de un pan cuya corteza es blanda y para su cocción se emplean moldes (Mesas y Alegre 2002). El pan de molde integral es un alimento que ayuda a mantener bajo el colesterol, lo cual es beneficioso para nuestro sistema circulatorio y nuestro corazón. Además al no tener purinas, es un alimento que pueden tomar sin problemas aquellas personas que tengan un nivel alto de ácido úrico (Tavara 2015).

Otro de los productos hechos a base de harina de trigo son las pastas, este producto es obtenido por desecación de una masa no fermentada elaborada a base de trigo (duro, semiduro y blando), sémolas o semolinas mediante mezcla con agua (Ortega 2016). Las pastas se realizan mediante el proceso de extrusión el cual consiste en comprimir un alimento hasta conseguir una masa semisólida, que después es forzada a pasar por un orificio de determinada geometría para obtener un producto específico (Teba 2009). En Honduras en cuanto al consumo de derivados de cereales, son usados en más del 50% de los hogares: arroz, pastas y pan dulce (Menchú y Méndez 2012).

Los objetivos planteados en este estudio fueron los siguientes:

- Elaborar y caracterizar fisicoquímicamente una harina elaborada a partir de plátano verde.
- Evaluar los porcentajes de sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde según la textura en pan molde y pruebas de cocción en pasta fresca.
- Optimizar el porcentaje de sustitución de harina de plátano verde y levadura en pan molde de acuerdo a las características de textura.
- Determinar la preferencia y aceptación sensorial del pan molde optimizado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

La investigación tuvo lugar en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Agroindustria Alimentaria en las instalaciones de la Planta de Innovación de Alimentos (PIA), Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ), Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos y el Laboratorio de Microbiología de Alimentos Zamorano (LMAZ).

Materiales.

La materia prima utilizada fue harina de trigo de la marca El Panadero, plátanos verdes variedad Curaré Enano cosechados en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Otros insumos utilizados fueron leche semidescremada, huevos, levadura marca Fermipan, azúcar, sal y margarina.

Equipos Utilizados.

- Unidad de extracción SOXTEC™
- Unidad de destilación Kjeltex
- Horno de convección marca Fisher Scientific
- Mufla marca Sybron
- Módulo de filtración Fibertec™
- Aqualab
- Potenciómetro
- Procesador Hamilton Beach.
- Balanza analítica Ohaus
- Mezcladora marca KitchenAid
- Rodillo moldeador BIOEMHOF
- Horno fermentador EPO

La investigación se dividió en cuatro fases las cuales se describen a continuación.

Fase I.

Caracterización de materia prima y elaboración de harina de plátano.

Se utilizaron plátanos verdes obtenidos de las manos intermedias de racimos de la variedad Curaré Enano cosechados en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y se evaluaron las características fisicoquímicas en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ). Para dicha caracterización se lavaron los plátanos, pelaron y trituraron en un procesador marca Hamilton Beach.

Análisis proximal completo. Se realizó un análisis proximal a la materia prima (plátano verde), a la cual se determinó porcentaje de grasa, proteína, humedad, ceniza y fibra dietética.

Grasa. Mediante el método AOAC 2003.06 para el cual se pesaron 5.0000 ± 0.0005 g de plátano previamente secado a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 horas. El análisis se realizó en la unidad de extracción SOXTEC™ marca Foss modelo 2050. El análisis se realizó por duplicado (AOAC 2011).

Proteína. Se realizó el análisis en la unidad de destilación Kjeltex modelo 8100/8200 mediante el método AOAC 2001.11. Para el análisis se pesaron 0.5000 ± 0.0005 g de plátano verde previamente secados en el horno a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 horas (AOAC 2011).

Humedad. Se determinó la humedad de la pulpa mediante el método AOAC 952.08 disponible en el Laboratorio de Análisis de Alimentos. El análisis consistió en secar dos crisoles de porcelana, se enfriaron y pesaron. Se pesaron $3.0000 \text{ g} \pm 0.0005$ de pulpa en cada crisol y se pusieron en un horno de convección marca Fisher Scientific modelo 750F a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 16 horas. Luego se pesó cada crisol con la muestra seca. El análisis se realizó por duplicado (AOAC 2011).

Ceniza. Se realizó el análisis de cenizas mediante el método AOAC 923.03 en un horno Sybron modelo Thermolyne. Se pesaron $3.0000 \text{ g} \pm 0.0005$ de pulpa la cual fue previamente molida y homogenizada. Se colocaron las muestras por duplicado en crisoles de porcelana en la Mufla a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 8 horas (AOAC 2011).

Carbohidratos totales. Se determinaron con el método AOAC 101.92 el cual realiza el cálculo de carbohidratos totales por diferencia, restando a 100% de alimento la cantidad de grasa, proteína, humedad y cenizas que contiene la matriz alimenticia y la diferencia representa los Carbohidratos totales.

Fibra dietética. Se realizó mediante el método AOAC 985.29 con ayuda del módulo de filtración Fibertec™ marca FOSS modelo 1023. Se pesaron 1.0000 ± 0.0005 g de pulpa. Los procesos de digestión de las muestras establecidos por el método se realizaron en un baño de agua con agitación WB1024 marca Foss WB104 (AOAC 2011).

Actividad de agua. Se determinó dicho parámetro según el proceso de Laboratorio LAA-1210-27 del Laboratorio de Análisis de Alimentos. Se utilizó un Aqualab modelo 3TE serie 0101875. El equipo fue calibrado con una solución estándar Decagon al 0.98 A_w. Se colocó en la bandeja del equipo una rodaja de plátano y se leyó el resultado. Este análisis se realizó por duplicado.

pH. Se utilizó un potenciómetro marca STARTER 2100 y el procedimiento se realizó según el método LAA-1210-26 del Laboratorio de Análisis de Alimentos. Se trituraron 50 g de muestra en un mortero. Se pesaron 20.0000 ± 0.0005 g de pulpa en un beacker plástico y se añadieron 100 ml de agua destilada. Se leyó el resultado. El análisis se hizo por duplicado.

Color de la cáscara y pulpa del plátano. Se determinó el color de la cáscara y pulpa de plátano con el fin de determinar el grado de madurez según el color. Para este análisis se utilizó el método ASTM D6290 mediante el colorímetro Color Flex Hunter Lab y su software. El equipo fue calibrado con un plato color negro y uno blanco. Se escogieron tres rodajas de pulpa y cáscara y se leyeron los resultados en la escala de color L a* b*.

Elaboración de harina. La harina se elaboró a partir de pulpa de plátano verde, se siguió el procedimiento establecido por Barreto *et al.* 2015.

Diseño experimental. Para el secado de pulpa de plátano verde se utilizó un diseño completamente al azar, tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos realizados fueron basados en literatura 105 °C por 4 horas, 105 °C por 5 horas (Torres *et al.* 2013) y 90 °C por 5 horas (Barreto *et al.* 2015).

Análisis estadístico. Se realizó una separación de medias Duncan, con una significancia de 95% mediante el programa "Statistical Analysis System" SAS versión 9.4.

Una vez obtenida la harina de plátano verde se realizaron los siguientes análisis:

Análisis proximal completo. Se realizó un análisis proximal completo a la harina de plátano verde que contenía el porcentaje <15.5% de humedad establecido como parámetro por el Reglamento Técnico Centro Americano. Las mediciones en el análisis proximal se realizaron por duplicado mediante métodos oficiales:

- Grasa cruda: método AOAC 2003.06
- Proteína cruda: método AOAC 2001.11
- Ceniza: método AOAC 923.03
- Humedad: método AOAC 952.08
- Carbohidratos Totales: método AOAC 101.92
- Fibra dietética: método AOAC 985.29

Actividad de agua. Se determinó dicho parámetro según el método oficial AOAC 978.18, se utilizó un Aqualab modelo 3TE serie 0101875. El equipo fue calibrado con una solución

estándar Decagon al 0.20 A_w . Se colocó una cantidad de muestra hasta la mitad de la bandeja del equipo y se leyó el resultado. Este análisis se realizó por duplicado.

Color de la harina de plátano verde. Se determinó el color mediante el método ASTM D6290 utilizando el colorímetro Color Flex Hunter Lab y su software. El equipo fue calibrado con un plato color negro y uno blanco. Se colocó muestra de harina de plátano verde hasta cubrir el lente del equipo y se leyeron los resultados en la escala de color $L a^* b^*$ por duplicado.

Granulometría. El proceso se realizó mediante el método AOAC 965.22 para granulometría (tyler). El tamaño de partícula se clasificó mediante la agitación de 50 g de harina de plátano en tamiz número 20 ($850\mu\text{m}$), se pesó cada tamiz en orden descendente (20, 40, 60, 100 y fondo) antes y después de la agitación. Se registró el peso retenido por cada sarán utilizando una balanza digital para realizar la curva granulométrica (AOAC 2011).

Fase II.

Pruebas preliminares para pan molde y pasta. Con la harina de plátano verde obtenida de la fase I, se realizaron pruebas preliminares con 10, 20, 30, y 40% de sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde en la elaboración de pan molde y pasta fresca. Para determinar el porcentaje de sustitución adecuado, se realizaron pruebas a cada producto con los diferentes niveles de sustitución, al pan molde se realizó pruebas de textura y a la pasta fresca pruebas de cocción.

Pan molde.

Método de sustitución. Se realizaron cuatro panes moldes grandes de 32 rebanadas basados en la formulación de la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano con el porcentaje de sustitución especificado anteriormente. El proceso de elaboración de pan molde se realizó según el establecido por Arias (2015) y adaptado al experimento por los autores como se detalla a continuación:

Pesado. Se utilizó una balanza analítica Ohaus serie 5000 para el pasado de los ingredientes: harina de trigo, harina de plátano, azúcar, levadura, sal, leche, propionato de calcio y margarina.

Mezclado y amasado. Se mezcló la harina de trigo con la harina de plátano en la mezcladora marca KitchenAid, modelo KSM150 PSER, con un acople de gancho especial para masas con levadura por 1 min a velocidad 2 para lograr homogenizar las harinas. Se añadieron los demás ingredientes (azúcar, sal, propionato de calcio, levadura y margarina) y se mezclaron durante 3 min a velocidad 4. Luego se agregó la leche semidescremada y se mezcló por 18 min a velocidad 4.

Cortado. Se dividió la masa en peso de 0.9100 ± 0.0005 kg con ayuda de una balanza analítica Ohaus serie 5000.

Moldeado. El moldeado se realizó con ayuda del equipo rodillo moldeador marca BIOEMHOF modelo 860L, es cual fue preparado para amasar a una distancia de 4 cm. Luego se colocó la masa en moldes de aluminio los cuales previamente fueron engrasados con manteca marca Clover.

Fermentado. Se realizó el fermentado con ayuda del horno fermentador EPO de Duke modelo EPO-3/9. Este proceso se realiza a 27 °C, 80% de humedad relativa y el tiempo usando el criterio de fermentación el cual consiste en dejar crecer el pan hasta 3 cm antes del borde del molde de aluminio.

Horneado. Se realizó el horneado en un horno EPO de Duke modelo EPO-3/9 previamente precalentado por 10 min a 163 °C. El horneado del pan se realizó a 163 °C por 20 minutos.

Enfriado y cortado. El enfriado del pan se realizó a temperatura ambiente por 8 horas. El cortado de pan se realizó con ayuda de un cortador de pan marca THUNDERBIRD modelo ARM 07.

Análisis de textura. Para determinar el rango de porcentaje de sustitución con el que se trabajaría en la optimización de la formulación de pan molde con harina de trigo y harina de plátano se realizaron análisis de textura con ayuda del texturómetro de Brookfield, el procedimiento se realizó según el método AACC 74-10A. Se utilizó un acople de 38.1 mm de diámetro, el equipo se calibró a velocidad de 2 mm/s, fuerza de 0.067 N y porcentaje de deformación de 10% y una sonda TA4/1000. Las variables analizadas fueron: dureza (N), porcentaje de deformación según dureza, adhesividad (mJ) y fuerza de adhesividad (N). Para cada porcentaje de sustitución se realizaron tres repeticiones.

Pasta fresca.

Método de sustitución. La pasta seca se realizó basada en la formulación del proveedor del extrusor ITALVISA modelo P2 con porcentaje de sustitución de 10, 20, 30 y 40%. El proceso y la formulación fueron basados en la recomendación del proveedor y adaptado por los autores para fines de investigación.

Pesado. Se utilizó una balanza analítica Ohaus serie 5000 para el pesado de los ingredientes harina de trigo y harina de plátano. Se utilizó además una probeta plástica de 500 ml para medir el agua utilizada y una cucharada plástica medidora de 15 ml para medir el aceite.

Mezclado y extrusión. La pasta fresca se realizó en una extrusora marca ITALVISA modelos P2. La cual consta de una mezcladora, un tornillo sin fin y una boquilla para determinar la forma de la pasta. Para la elaboración de la masa se añadió 50% de los ingredientes los cuales se mezclaron durante 5 minutos a una velocidad de 2. Luego se mezcló el otro 50% de los ingredientes durante 7 minutos hasta que se observó la masa homogénea. Para el extruido se utilizó la boquilla que da forma de conchas a la pasta fresca.

El proceso de extrusión comienza cuando la masa pasa por el tornillo sin fin que dirige la masa a pasar por medio de la boquilla que da la forma de la pasta. Este proceso se realizó a velocidad 2 y la pasta fue cortada con ayuda del cortador automático del extrusor.

Secado. El secado de la pasta se realizó en un Food Dehydrator marca Excalibur modelo 3526T por 12 horas a 46 °C según la recomendación del manual del extrusor para pastas secas.

Pruebas de cocción. Para determinar el porcentaje de sustitución con el que se trabajará en la optimización de la formulación de pasta fresca tipo concha se realizó el análisis de cocción de pastas de acuerdo al método de cocción AACC 16-50 por triplicado. Los parámetros evaluados fueron Aumento de Peso (AP), Aumento de Volumen (AV), y Tiempo de Cocción. Se realizó este análisis hirviendo 10 g de muestra de pasta con 140 ml de agua potable, hasta lograr la cocción que se caracteriza por la gelatinización de la pasta. La gelatinización del producto se determinó por compresión utilizando dos portaobjetos.

Aumento de peso. Para determinar el aumento de peso de la pasta seca se hirvieron 10 g de pasta cruda hasta lograr la cocción de la pasta. El aumento de peso se determinó usando la ecuación 1 del método AACC 16-50:

$$AP = \frac{P_2 - P_1}{P_2} * 100 \quad [1]$$

Donde:

AP = Aumento de peso

P₁ = Peso de la pasta cruda.

P₂ = Peso de la pasta cocida.

Aumento de volumen. Para determinar el aumento de volumen de la pasta se midió largo, ancho y grosor de la pasta de cada tratamiento de forma cruda y cocida con el fin de determinar el incremento en volumen causado por la absorción de agua durante la cocción. El aumento de volumen de la pasta se determinó mediante la ecuación 2 del método AACC 16-50.

$$AV = \frac{V_1 - V_2}{V_1} * 100 \quad [2]$$

V₁= Volumen de la pasta cocida.

V₂= Volumen de la pasta cruda.

Fase III.

Optimización de pan molde con sustitución de harina de plátano verde y levadura utilizando metodología de Superficie de Respuesta.

Diseño experimental. Las variables independientes utilizadas son porcentaje de sustitución de harina de plátano y porcentaje de levadura. La formulación por tratamiento se realizó en

base a 0.91 kg. El diseño que se utilizó fue un experimento factorial completo 2² metodología de superficie respuesta y con un diseño de composición central rotacional de 2^{do} orden (DCCR). Los parámetros del proceso fueron codificados (-1, 0, +1) y calculados de acuerdo a la Ecuación 3.

$$x_i = \left(\frac{X_i \cdot Z}{\Delta x_i} \right) \quad [3]$$

Donde:

X_i: Valor codificado de la variable x_i.

X_i: valor real de la variable.

Z: Valor real de la variable en el punto central.

Δx_i: Intervalo de la variable x_i.

El diseño experimental cuenta con variables axiales las cuales fueron codificadas como +α y -α, este valor depende del número factorial (F= 2^k), donde k representa el número de variables independientes (k=2), los valores fueron definidos por la fórmula (ecuación 4).

$$(f) \frac{1}{4} = (2^k) \frac{1}{4} = (2^2)^{1/4} = 1.4142 \quad [4]$$

Para determinar los tratamientos se utilizó la ecuación 5.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [5]$$

Donde:

2^k: número de puntos factoriales

2k: número de puntos axiales

M: número de repeticiones del punto central.

Se utilizaron dos variables independientes y dos variables codificadas para un total de 12 unidades experimentales, siendo cuatro factoriales -1 y +1, cuatro axiales -α y +α y cuatro puntos centrales para el error experimental y la precisión del modelo matemático. El experimento se realizó por triplicado para determinar la variabilidad de los datos. La amplitud en el rango de las variables se determinó mediante pruebas preliminares. Para el análisis de los resultados, este método describe el comportamiento de la combinación de las variables independientes (X^k), las variables dependientes o la respuesta (Yⁱ). Se determinó mediante la ecuación 6.

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad [6]$$

Las respuestas se ajustaron a través de un análisis de regresión lineal con un polinomio cuadrático con las variables (X^k) para cada respuesta (Y). Para predecir el comportamiento de cada respuesta se utilizó la ecuación 7.

$$Y_i = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{12}X_1X_2 + \varepsilon \quad [7]$$

Donde:

Y_i: función respuesta. ε= Error experimental.

X_1, X_2 : valores de las variables independientes.

B_0 : coeficiente relativo de la interpretación con la respuesta en el eje.

B_1, B_2 : Coeficientes lineales estimados por el mínimo cuadrado.

B_{11}, B_{23} : coeficientes de variables cuadráticas.

B_{12}, B_{13}, B_{23} : coeficientes de interacción entre las variables independientes.

Los niveles de las variables independientes son las combinaciones de todos los niveles, axiales ($\alpha= 1.4142$), puntos centrales y estos son referentes a las proporciones que se utilizaron en la fórmula como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Niveles codificados de las variables independientes.

Variables independientes	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
x_1	0	5	15	25	30
x_2	0.7	0.8	1.05	1.3	1.4

x_1 = porcentaje de harina de plátano verde

x_2 = porcentaje de levadura

El delineamiento del experimento percibe todas las variables independientes, codificadas y decodificadas, las cuales se usaron para la obtención de un análisis de varianza y los coeficientes de regresión, así como la diagramación de las superficies de respuesta como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Delineamiento del diseño experimental completo.

Tratamiento	Niveles de Variables codificadas		Niveles de Variables decodificadas	
	X_1	X_2	x_1	x_2
1	-1	-1	4.5	0.8
2	-1	1	4.5	1.3
3	1	-1	25.4	0.8
4	1	1	25.4	1.3
5	-1.41	0	0.2	1.05
6	1.41	0	29.7	1.05
7	0	-1.41	15	0.7
8	0	1.41	15	1.4
9 ©	0	0	15	1.05
10 ©	0	0	15	1.05
11 ©	0	0	15	1.05
12 ©	0	0	15	1.05

X_1 y x_1 = % harina de plátano; X_2 y x_2 = % Levadura; © = Punto central del experimento

Análisis de textura. Se realizó el análisis de textura con ayuda del texturómetro Brookfield según el método AACC 74-10A. Se utilizó un acople de 38.1 mm de diámetro, el equipo se calibró a velocidad de 2 mm/s, fuerza de 0.067 N y porcentaje de deformación de 10% y una sonda TA4/1000. Las variables analizadas fueron: dureza (N), elasticidad (mm), masticabilidad (mJ), adhesividad (mJ) y cohesividad. Para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones.

Pruebas de pan. Este análisis se realizó con ayuda de un pie de rey digital, el cual se utilizó para medir altura máxima de pan (mm), ancho (mm) y grosor (mm) de una rodaja de pan. Con ayuda de una balanza digital se pesó una rodaja de pan (g) y estos datos se utilizaron para calcular el volumen (cm³) y densidad (g/cm³) del pan con ayuda del programa Image J.

Análisis de alveolos. Se midieron las dimensiones (largo, ancho y grosor) de la miga de pan. Se tomó una fotografía de cada tratamiento y su repetición. Se usó el software Image J versión 1.46r (2012), el equipo fue calibrado utilizando una escala con el propósito de hacer una conversión de unidades (píxeles a centímetros) utilizando una distancia conocida (ancho). Desde la pestaña “File” en la opción “Open” del programa se abrió el archivo en formato JPG. Con la herramienta “Straight” (línea) se trazó una línea en el ancho de la miga. En la opción Set Scale de la pestaña “Analyze” en la casilla “Known distance” se colocó la longitud del ancho para realizar la conversión de unidades píxeles a centímetros. Luego en la pestaña “Image” se escogió la opción “Adjust” y luego “Color Threshold”. Se ajustó la saturación del color hasta obtener un área homogénea cubierta de amarillo de cada alveolo. Se determinó el área en la pestaña “Analyze”, opción “measure”. El dato fue reportado en centímetros cuadrados (Ferreira y Rasband 2012).

Pan óptimo.

Al obtener el pan óptimo de acuerdo a la sustitución de harina de plátano verde y porcentaje de levadura determinado por la metodología de Superficie de Respuesta se realizaron los siguientes análisis:

Análisis proximal. Al obtener la combinación de las variables independientes que optimizan el pan molde, se comparó la composición química con un pan control el cual es pan molde integral elaborado en la Planta de Innovación de Alimento de Zamorano. Las mediciones se realizaron por duplicado mediante los siguientes métodos:

- Grasa cruda: método AOAC 2003.06
- Proteína cruda: método AOAC 2001.11
- Ceniza: método AOAC 923.03
- Humedad: método AOAC 952.08
- Carbohidratos totales: método AOAC 101.92
- Fibra dietética: método AOAC 985.29

Análisis de alveolos. Además se realizó un análisis de alveolos al pan óptimo y control. El procedimiento que se siguió fue el mismo descrito en la fase II como medición de variable dependiente.

Etiqueta nutricional. La etiqueta nutricional se realizó con ayuda del Software Genesis R&D Food Formulation, versión 11.2.224. Se utilizaron los datos encontrados en el análisis proximal para el pan optimizado y lo demás según la base de datos del programa.

Análisis microbiológico. Se realizaron pruebas para determinar Coliformes fecales mediante el Número Más Probable (NMP) con diluciones de 10^{-1} hasta 10^{-3} . Se incubaron los tubos a 35 °C por 48 h. Los resultados se reportaron de acuerdo al número de tubos que presentaron producción de gas y efervescencia (FDA 2002).

La determinación de hongos y levaduras se realizó mediante el método de vaciado en placa con Agar Papa Dextrosa (APD), utilizando 1 ml de dilución con 15 ml de APD acidificado con ácido tartárico de pH 3.5, atemperado a 45 °C. Se realizaron diluciones desde 10^{-1} hasta 10^{-4} en platos Petri los cuales se incubaron a 25 °C durante cinco días, los datos obtenidos se reportaron en Log₁₀ UFC/g de pan (Vanderzant 1992).

Fase IV.

Análisis sensorial. Se realizaron pruebas afectivas de aceptación y preferencia. Se contó con la participación de 100 panelistas no entrenados. Los tratamientos presentados fueron "A" representa el tratamiento óptimo y "B" un tratamiento control elaborado en base a la formulación de pan integral de la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano. Se utilizó una escala hedónica de 09 puntos, siendo 01 "Me disgusta extremadamente" y 09 "Me gusta extremadamente". Los atributos evaluados fueron: apariencia, color, textura de tacto, olor, textura en boca, sabor y aceptación general. Textura de tacto se evalúa comprimiendo la miga con el dedo y evalúa atributos como la compacidad y la elasticidad. Textura en boca se evalúa cuando se introduce la miga de pan en la boca y se evalúa humedad, adhesividad y cohesividad (Callejo 2010). Para estos dos últimos atributos se especificó en la hoja de evaluación sensorial en qué consistía cada parámetro ya que nuestros panelistas son no entrenados.

Para determinar la diferencia significativa entre atributos sensoriales del pan optimizado y el tratamiento control se realizó una prueba de Chi cuadrado. El análisis estadístico de esta metodología se determinó con el programa SAS versión 9.4. Para el análisis de aceptación se realizó un multifactorial con siete factores.

Para la prueba de preferencia se presentaron al panelista la muestra "A" que correspondía al pan óptimo y la muestra "B" que correspondía al pan integral de la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano, de estas muestras el panelista seleccionó el pan de su mayor preferencia. Luego se analizaron los resultados mediante el programa SAS. Para el análisis de preferencia se realizó una prueba de Chi cuadrado con un 95% de confiabilidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase I. Caracterización de materia prima y elaboración de harina de plátano.

El plátano es un alimento nutritivo y energético. Es pobre en proteínas y lípidos, aunque su contenido en estos componentes supera al de otras frutas. En su composición destaca su riqueza en hidratos de carbono (FEN 2017). Los resultados mostrados en el Cuadro 3 coinciden con los encontrados por Izidoro *et al.* (2008) reportaron los valores del análisis proximal de pulpa verde de *Musa cavendish* en base seca: humedad 89.05%, cenizas 3.38%, proteínas 2.56%, grasa 1.19% y fibra < 0,91%, lo cual comparado con los datos presentados en el cuadro 3 podemos observar que el contenido de proteína es similar y que la variedad curaré enano contiene un porcentaje de grasa cruda menor a la variedad *Musa cavendish*.

Cuadro 3. Caracterización proximal de plátano verde variedad Curaré Enano.

Parámetro	Resultado (%)
	Media \pm DE
Fibra Cruda	0.14 \pm 0.01
Grasa Cruda	0.15 \pm 0.06
Cenizas	1.38 \pm 0.18
Proteína	2.25 \pm 0.02
Carbohidratos Totales	38.50 \pm 0.34
Humedad Total	57.58 \pm 0.18

DE: Desviación Estándar.

Se encontró un pH 6.32 y A_w 0.98 (Cuadro 4), dichos datos coinciden con los reportados por Quiceno *et al.* 2014 en cuyo estudio sobre la especie AAB variedad Simmonds reportan valores de pH entre 6.2 – 6.5 y actividad de agua (A_w) de 0.989 – 0.992.

Cuadro 4. Actividad de agua y pH variedad de plátano Curaré Enano.

pH	6.32
Actividad de agua (A_w)	0.98

El color de la cáscara es a menudo el principal criterio poscosecha utilizado por los investigadores, productores y consumidores para determinar la madurez (Dadzie y Orchard 1997). Se encontró un valor para $L = 35.40$, $a^* = -1.29$ y $b^* = 19.83$. Para la pulpa se encontraron valores de $L = 76.48$, $a^* = 13.02$ y $b^* = 30.54$ (Cuadro 5) indicando esta última el color amarillo de la misma. Torres *et al.* (2013) encontraron un valor para a^* de -0.06 relacionado directamente con el estado verde para plátano, por lo tanto, el valor de -1.29

para la escala a* denota el estado verde de la variedad analizada en este estudio. En la mayoría de los híbridos de plátanos, el color de la pulpa es usualmente amarillo pálido en las frutas inmaduras, no obstante este valor cambia a amarillo/naranja según el tiempo de almacenamiento de la fruta (Dadzie y Orchard 1997).

Cuadro 5. Análisis de Color escala L a* b* en cáscara y pulpa de plátano verde variedad Curaré Enano.

Análisis	L	a*		b*
		Media ± DE		
Cáscara	35.40 ± 0.60	-1.29 ± 0.50		19.83 ± 0.54
Pulpa	76.48 ± 0.70	13.02 ± 0.59		30.54 ± 0.31

DE: Desviación Estándar

El contenido de humedad en las harinas es muy importante ya que define su estabilidad en el almacenamiento. En diferentes condiciones de secado para este estudio se encontraron a 90 °C por 4 horas porcentajes de humedad de 10.40%, 105 °C por 4 horas 2.77% y 105 °C por 5 horas 1.56% (Cuadro 6), determinándose que un secado de la pulpa a 90°C durante 4 horas son las condiciones idóneas que permiten conseguir un porcentaje de humedad avalado por el Reglamento Técnico Centro Americano (RTCA 2010). Este organismo regulador ha establecido 15.5% de humedad como porcentaje máximo para harina de trigo. Sin embargo, reportan Barreto *et al.* (2015), que debido a la no existencia de un porcentaje específico para humedad en harina de plátano, valores entre 11 – 12% son considerados óptimos. En este mismo orden, Soto (2010) en la composición nutricional de la harina de *Musa cavendishii* reporta un valor de 9.45% de humedad, lo que deja en evidencia que el porcentaje de 10.40% de humedad en la harina de la variedad Curaré Enano reportado en este estudio se adecúa a los rangos establecidos.

Cuadro 6. Efecto de la temperatura y tiempo de secado en la humedad de la pulpa de plátano verde Curaré Enano.

Tratamiento	Humedad (%)
Media ± DE	
90 °C/ 4 h	10.40 ± 0.62 ^a
105 °C/ 4 h	2.77 ± 0.05 ^b
105 °C/ 5 h	1.56 ± 0.11 ^c
CV (%)	7.42
R ²	0.99

DE: Desviación Estándar.

^{a-c}: diferente letra minúscula representa diferencia significativa estadísticamente.

CV: Coeficiente de variación

El análisis proximal de la harina de plátano verde reportó valores de grasa cruda 0.27%, proteína 2.35%, cenizas 3.11%, carbohidratos totales 70.23% y fibra dietética 16.70%

(Cuadro 7). En su estudio de la caracterización proximal de la especie Musa ABB Simmonds (variedades Pelipita y Panocho), Martínez (2009) reporta valores para grasa cruda 0.35%, 2.35% proteína, 3.65% cenizas, 76.53% carbohidratos por lo que los datos mencionados anteriormente coinciden con los encontrados en este estudio, difiriendo únicamente en el porcentaje de fibra dietética ya que los estudios consultados no hacen mención de este último componente de la harina. En este mismo contexto, Sosa (2011) en su estudio sobre la harina de la variedad Hartón; común reporta porcentajes de 3.45% para cenizas el cual tiene similitud con el porcentaje de cenizas (3.11%) encontrado en este estudio, lo cual es bueno, pues las cenizas representan el porcentaje de materia seca en una matriz alimenticia, cuyo contenido resalta la presencia de minerales que allí se encuentran, tales como Ca, P, Zn, K y Mg (Sosa 2011).

El plátano es un alimento con 6 – 15.5% de fibra dietética (Sosa 2011). Debido a esto es posible la obtención de harinas integrales a partir de dicha materia prima (Barreto *et al.* 2015). En su estudio sobre Harina de banano verde como ingrediente funcional en productos alimenticios, Silva *et al.* (2015) reportaron valores de 15% de fibra dietética, dicho porcentaje es semejante al reportado en este estudio (16.70%). Por lo tanto, la harina elaborada a partir de plátano verde en este estudio puede declararse como una harina integral (Cuadro 7). La presencia de fibra dietética en los alimentos aporta beneficios a la salud tales como: prevención y tratamiento de la obesidad, efectos hipocolesterolémicos y diabetes, pues reduce la ingesta energética, baja el colesterol, reduce la glucosa sanguínea y los requerimientos de insulina en pacientes diabéticos (Pak 2000).

Cuadro 7. Caracterización proximal y fibra dietética de harina de plátano verde.

Parámetro	Resultado (%)
	Media ± DE
Fibra cruda	0.14 ± 0.01
Grasa cruda	0.27 ± 0.06
Proteína	2.35 ± 0.13
Cenizas	3.11 ± 0.09
Humedad total	10.40 ± 0.08
Fibra dietética	16.70 ± 0.01
Carbohidratos totales	70.23 ± 0.01

DE: Desviación Estándar.

En el Cuadro 8 puede observarse la distribución del tamaño de partícula de la harina a partir de plátano verde Curaré Enano. Se encontró que el 37.13% de las partículas (mayor porcentaje) quedaron retenidas en el tamiz número 30. Aunque valores similares respecto al porcentaje de retención de partículas por tamiz son reportados por otros autores, no es correcto establecer una comparación, puesto que los métodos de molienda difieren de un lugar a otro. Martínez (2009) encontró 12.50% de retención en el tamiz número 40 y aunque en este estudio también se encontró un porcentaje similar (12.77%) para el mismo número de tamiz, no es adecuado establecer una comparación a modo de validar tal resultado, ya

que en los demás número de tamices los porcentajes de retención tienden a variar entre uno y otro, además los métodos de análisis granulométrico también difieren de un lugar a otro.

Cuadro 8. Granulometría de harina de plátano verde variedad Curaré Enano.

Número de tamiz	Apertura (μ)	Peso (g)	Retención (%)	Retención acumulada (%)
20	1000	13.20	26.35	26.35
30	600	18.60	37.13	63.47
40	425	6.40	12.77	76.25
60	250	8.00	15.97	92.22
100	150	3.20	6.39	98.60
FINOS	292.8	0.70	1.40	100.00
Sumatoria		50.10	100.00	

En el Cuadro 9 pueden observarse los resultados del análisis de color, el cual reporta valores para $L = 87.73$, $a^* = 1.76$ y $b^* = 14.28$. Valores similares a los reportados en este estudio fueron encontrados por Sosa (2011) en la determinación del color de la harina de plátano verde variedad Hartón común, los cuales fueron 85.56 para L , 1.77 para a^* y 10.05 para b^* . En su estudio sobre Obtención y caracterización de harina de plátano de 18 clones, Molina (2010) reporta rangos de valores en las tres escalas de color L a^* b^* . En el caso de L , su valor oscila entre 76.9 – 85.53, indicando luminosidad o blancura, esto se debe a que en la harina de plátano no ocurren reacciones de oscurecimiento enzimático y no enzimático. Valores para a^* oscilan entre 1.50 – 3.16, lo cual obedece a la presencia de pigmentos rojos presentes en la harina. En el caso de b^* su valor oscila entre 9.94 – 13.94, el cual se debe a la presencia de pigmentos de tipo carotenoides o flavonoides.

Cuadro 9. Análisis de Color escala L a^* b^* en harina de plátano verde variedad Curaré Enano.

Análisis	L	a^*	b^*
	Media \pm DE		
Harina de plátano	87.73 ± 0.11	1.76 ± 0.06	14.28 ± 0.18

DE: Desviación Estándar

Fase II. Pruebas preliminares para pan molde y pasta fresca.

Se considera una harina de trigo diluido las que contienen una sustitución de hasta 40% de harina de una fuente diferente al trigo (Pérez 2016), por esta razón se realizaron pruebas preliminares para pan molde y pasta seca con sustitución de hasta 40% de harina de trigo por la harina de plátano verde elaborada y así determinar el rango de sustitución a optimizar en el pan y pasta fresca.

La dureza es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada (Castro y de Hombre 2007), en el cuadro 9 se puede observar como los tratamientos preliminares con 30 y 40% de sustitución no muestran diferencia estadísticamente representativa con valores de dureza altos entre 28 y 29 N contrario a el tratamiento control que contiene un valor de dureza menor a 10 N. Los panes comerciales cuyo promedio oscila entre 6.24 N de dureza son admitidos como panes de buena calidad respecto a tal característica, valores superiores a 9.81N se sitúan en la línea de pérdida calidad (Acosta 2013). Se observa la tendencia a medida que aumenta la sustitución de harina de plátano también aumenta la dureza del pan.

Se describe adhesividad como la fuerza que se requiere para retirar del paladar el alimento adherido (CIAL 2011). En el cuadro 10 se observa que el tratamiento control y con 10% de sustitución no presentan diferencia estadísticamente representativa y son los valores más bajos en cuanto a adhesividad entre los tratamientos preliminares. Franco y Hernández (2016) reportan valores entre 0.4 y 1.2 mJ de adhesividad para panes con sustitución de harina de trigo por almidón de yuca. Comparado con los resultados obtenidos (Cuadro 9) el pan con sustitución de harina de plátano tiene valores de dureza superiores lo cual pone en riesgo la aceptación sensorial en cuanto al atributo textura del pan y porcentajes similares de adhesividad a los datos presentados anteriormente lo cual es bueno ya que el pan no tiene a pegarse en el paladar.

Cuadro 10. Dureza y adhesividad en pruebas preliminares de pan molde con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.

Sustitución (%)	Dureza (N)	Adhesividad (mJ)
	Media ± DE	Media ± DE
Control	1.89 ± 0.03 ^d	0.10 ± 0.02 ^c
10	11.44 ± 1.35 ^c	0.04 ± 0.10 ^c
20	17.35 ± 0.68 ^b	0.42 ± 0.10 ^b
30	28.72 ± 0.87 ^a	0.77 ± 0.06 ^a
40	29.34 ± 1.19 ^a	0.29 ± 0.06 ^b
CV (%)	5.06	9.40
R ²	0.99	0.99

DE: Desviación Estándar.

a, b, c, d: letras diferentes representan diferencia significativa estadísticamente (P<0.05).

CV: Coeficiente de variación

La figura 1 muestra los tratamientos preliminares con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde. En el caso del tratamiento con 40% de sustitución de harina se observó que no fue capaz de expandirse de forma uniforme tal como lo muestra la figura 1, esto se debe a que la harina de trigo es el único tipo de harina capaz de desarrollar una red de gluten sin romperse con facilidad (Arias 2015) y a medida se sustituye la harina de trigo la proteína se va debilitando, por lo cual la optimización del pan molde se realizó hasta un 30% de sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.

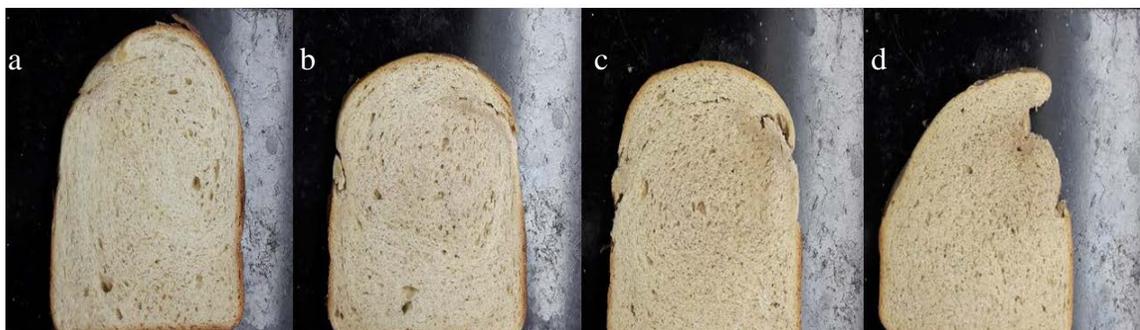


Figura 1. Pruebas preliminares de pan molde con sustitución de harina de trigo por harina de plátano en 10 (a), 20 (b), 30 (c) y 40% (d) de sustitución.

La evaluación de las propiedades de cocción en productos de pastificio es importante, sobre todo cuando se trata de materiales novedosos, distintos a las pastas simples (Marioxy 2009). Según Ramírez (2015) el comportamiento de las pastas durante y después de la cocción es el parámetro de calidad de mayor importancia para los consumidores de pasta donde se observa el tiempo, aumento de peso y volumen de la pasta.

En el cuadro 11 se observa que hubo diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos para los parámetros de aumento de peso y aumento de volumen largo. En el caso de aumento de peso con valores entre 44 y 54% y valores para aumento de volumen largo entre 11 y 16%, además se observa que la pasta con 40% de sustitución no muestra valores debido a que no soportó la cocción y se deformó. López *et al.* (2012) presentan que para fideos frescos se espera un 170% de aumento en peso por cocción. Una pasta debe hincharse el doble de su volumen a los 10 minutos de ser hervidos con agua (Ramírez 2015). El aumento de peso y volumen están relacionados con la capacidad de absorción de agua de las masas, lo cual refleja el rendimiento de la pasta (Teba 2009). También el aumento de volumen es dependiente del contenido y calidad de proteína (Ormenese *et al.* 2001).

Cuadro 11. Porcentaje de aumento de peso y de volumen en pruebas preliminares de pasta seca con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.

Sustitución (%)	Aumento de peso (%)	Aumento de volumen largo (%)
	Media ± DE	
10	50.37 ± 0.16 ^b	16.63 ± 0.37 ^a
20	50.51 ± 0.11 ^b	11.77 ± 0.19 ^b
30	54.59 ± 0.19 ^a	11.11 ± 0.08 ^b
40	44.48 ± 0.11 ^c	-
CV (%)	0.30	2.49

DE: Desviación Estándar.

CV: Coeficiente de Variación.

^{a-c}: diferencia estadística significativa (P<0.05)

El Cuadro 12 muestra diferencia significativa entre los tratamientos preliminares para aumento de volumen ancho y tiempo de cocción. De igual forma el tratamiento con 40% de sustitución no muestra valor debido a que no soporto la cocción y se deformato. El tiempo de cocción presento tiempos de cocción entre 18 y 26 minutos. El tiempo de cocción depende del tipo de pasta y grosor de la misma. El tiempo de cocción está determinado por la interacción entre gliadinas, gluteninas y el almidón (Souza y Ferreira 2004).

Cuadro 12. Porcentaje de aumento de volumen ancho y tiempo de cocción en pruebas preliminares de pasta fresca con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde.

Sustitución (%)	Aumento de volumen ancho (%)	Tiempo de cocción (min)
	Media ± DE	
10	37.64 ± 0.23 ^a	18.50 ± 0.71 ^c
20	6.26 ± 0.20 ^c	26.00 ± 1.41 ^a
30	16.60 ± 0.52 ^b	25.00 ± 1.41 ^a
40	-	23.00 ± 0.70 ^b
CV (%)	1.41	5.83

DE: Desviación Estándar.

CV: Coeficiente de Variación.

^{a-c}: diferencia estadística significativa (P<0.05)

Debido a que los tratamientos preliminares no cumplieron con los parámetros anteriormente mencionados para pruebas de cocción y tiempo de cocción de pastas (Cuadros 11 y 12) en la fase III se realizó únicamente la optimización de pan molde con sustitución hasta 30% de harina de trigo por harina de plátano verde debido a que el mismo si mostró potencial para resistir la sustitución.

Fase III. Optimización de pan molde con sustitución de harina de plátano verde y levadura utilizando metodología de Superficie de Respuesta.

Análisis de textura. En el análisis de textura se midieron parámetros como dureza, elasticidad y masticabilidad los cuales son características que definen la textura de un alimento (AACC 74-10.02) además de densidad y área de alveolos en pan.

Dureza. Estadísticamente para el análisis de dureza del pan molde se encontraron diferencias y similitudes entre tratamientos (Cuadro 13), con un coeficiente de variación de 5.36% entre tratamientos. El tratamiento con menor porcentaje de dureza fue el uno el cual posee 4.5% de harina de plátano y 0.80% de levadura esto debido a que a menor sustitución de harina la red de gluten se mantiene firme debido a mayor presencia de las gliadinas y gluteninas (Arias 2015). Los tratamientos con más de 15% de sustitución de harina muestran valores de dureza mayores a 10 N lo cual según Acosta (2013) recomienda que valores mayores a 10 N en la dureza de pan se debe tener el cuidado que los mismos no tengan la dureza similar a la de una galleta por lo cual las pruebas sensoriales son las

encargadas de determinar si los panelistas aprueban la dureza del pan mediante el parámetro de textura.

Cuadro 13. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la dureza (N) en pan molde.

Tratamientos	Harina de plátano (%)	Levadura (%)	Dureza (N)
			Media \pm DE
1	4.5000	0.8000	5.23 \pm 0.61 ^f
2	4.5000	1.3000	7.80 \pm 0.23 ^e
3	25.4000	0.8000	14.28 \pm 1.41 ^c
4	25.4000	1.3000	9.86 \pm 1.46 ^d
5	0.1530	1.0500	7.35 \pm 0.01 ^e
6	29.7056	1.0500	13.26 \pm 0.06 ^c
7	15.0000	0.6965	6.54 \pm 0.05 ^{ef}
8	15.0000	1.4035	6.48 \pm 0.11 ^{ef}
9	15.0000	1.0500	8.03 \pm 0.01 ^{de}
10	15.0000	1.0500	31.70 \pm 0.06 ^a
12	15.0000	1.0500	24.83 \pm 0.99 ^b
CV (%)			5.36
R ²			0.99

DE: Desviación Estándar

CV: Coeficiente de variación

^{a-f}: variables con diferentes letras muestran diferencias estadísticas a una probabilidad <0.05

En el Cuadro 14 las variables porcentaje de harina de plátano (X_1 y X_1^2) y porcentaje de levadura (X_2 y X_2^2) no fueron significativas con una $P > 0.10$. El coeficiente de regresión R^2 indicó un valor de 64.7%, el valor F tabular fue mayor que el F calculado, la falta de ajuste no fue significativa por lo cual la variable se considera tendenciosa. Además la firmeza del producto se relaciona con la distribución uniforme de las celdas de aire o alveolos de la miga de pan (López *et al.* 2012).

Cuadro 14. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la dureza de pan molde con harina de plátano verde.

Coeficientes	Dureza	Probabilidad
Intercepto	-153.7701	0.1704 ^{ns}
X ₁	2.7595	0.3640 ^{ns}
X ₁ ²	-0.0610	0.2295 ^{ns}
X ₂	297.1392	0.1476 ^{ns}
X ₂ ²	-137.1822	0.1484 ^{ns}
X ₁ × X ₂	-0.6692	0.7755 ^{ns}
Falta de Ajuste		0.9988
R ²		0.6465
F calculado < F tabular		0.7078 < 2.9610

X₁: % Harina de plátano

X₂: % Levadura

*: Significativo a P < 0.10

^{ns}: No significativo

Elasticidad. Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre los tratamientos con un coeficiente de variación de 3.2% (Cuadro 15). Los tratamientos uno (4.5% Harina de plátano y 0.80% Levadura) y siete (15% de harina de plátano y 0.70% Levadura) fueron los tratamientos con mayor porcentaje de elasticidad, encontrándose diferencia no significativa entre ambos tratamientos. Valores superiores a los encontrados por Arone (2015) de 6.84 mm de elasticidad en panes con sustitución de 25% de harina integral proveniente de la quinua. La elasticidad se define como el grado en el que un alimento recupera su forma original después de haber sido comprimido por los dientes (CIAL 2011). El gluten es responsable de la elasticidad de la masa de harina, debido a la presencia de las gliadinas y gluteninas, lo que permite su fermentación, así como la consistencia elástica y esponjosa de los panes y masas horneadas (Arroyave y Esguerra 2006). Por lo que, la elasticidad es una característica dependiente del tipo de harina integral y el porcentaje de sustitución empleado en la elaboración de panes con sustitución parcial de harinas especiales.

Cuadro 15. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la elasticidad (mm) en pan molde.

Tratamientos	Harina de plátano (%)	Levadura (%)	Elasticidad (mm)
			Media \pm DE
1	4.50000	0.8000	9.91 \pm 0.70 ^a
2	4.50000	1.3000	8.56 \pm 0.22 ^{cd}
3	25.4000	0.8000	6.32 \pm 0.13 ^e
4	25.4000	1.3000	7.91 \pm 0.08 ^d
5	0.15300	1.0500	8.36 \pm 0.13 ^{cd}
6	29.7056	1.0500	6.54 \pm 0.30 ^e
7	15.0000	0.6965	9.87 \pm 0.04 ^a
8	15.0000	1.4035	9.32 \pm 0.16 ^{ab}
9	15.0000	1.0500	8.84 \pm 0.11 ^{bc}
10	15.0000	1.0500	4.98 \pm 0.25 ^f
11	15.0000	1.0500	5.12 \pm 0.16 ^f
12	15.0000	1.0500	5.26 \pm 0.16 ^f
CV (%)			3.23
R ²			0.98

DE: Desviación Estándar.

CV: Coeficiente de variación

^{a-f}: variables con diferentes letras muestran diferencias estadísticas a una probabilidad <0.05.

Según el Cuadro 16, las variables independientes porcentaje de harina de plátano lineal X₁, porcentaje de levadura lineal X₂ y cuadrática X₂² son estadísticamente significativas a una P < 0.10. El coeficiente de regresión R² indicó que el 70.60% de las variables se ajustaron a la ecuación 8 y el 29.40% no se ajustaron, el valor F tabular fue mayor que F calculado, la falta de ajuste no fue significativa por lo cual el modelo tiene un comportamiento tendencioso para la variable elasticidad.

Cuadro 16. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la elasticidad de pan molde con harina de plátano verde.

Coeficientes	Elasticidad	Probabilidad
Intercepto	42.9419	0.0003 *
X ₁	-0.5425	0.0000 *
X ₁ ²	0.0056	0.3511 ^{ns}
X ₂	-61.1030	0.0462 *
X ₂ ²	26.9717	0.0000 *
X ₁ × X ₂	0.2801	0.2843 ^{ns}
Falta de Ajuste		0.9724
R ²		0.7060
F calculado < F tabular	0.8201	2.9240

X₁: % Harina de plátano

X₂: % Levadura

*: Significativo a P < 0.10

^{ns}: No significativo

Basado en las variables significativas en el cuadro 16 se construyó la ecuación matemática que ayuda a predecir el comportamiento de las variables estadísticamente significativas sobre la elasticidad del pan.

$$Elasticidad = 42.3 - 0.543x_1 - 61.1x_2 + 27x_2^2 \quad [8]$$

De acuerdo a la ecuación 8, se elaboró un gráfico de superficie respuesta (figura 2) que muestra el efecto de las variables significativas sobre la elasticidad del pan. Donde se puede observar que a medida disminuimos el porcentaje de sustitución de harina nos acercamos más a nuestro punto óptimo, esto debido a la presencia de la gluteninas proteína encargada de la elasticidad del pan (Arias 2015) y a menor cantidad de sustitución más óptima será la elasticidad en el pan. Las levaduras también influyen ya que el oxígeno posibilita procesos de oxidación que forman enlaces entre puentes de sulfuro que dotan al gluten de una tenacidad, elasticidad y extensibilidad claves para la elaboración de pan (Flecha 2015).

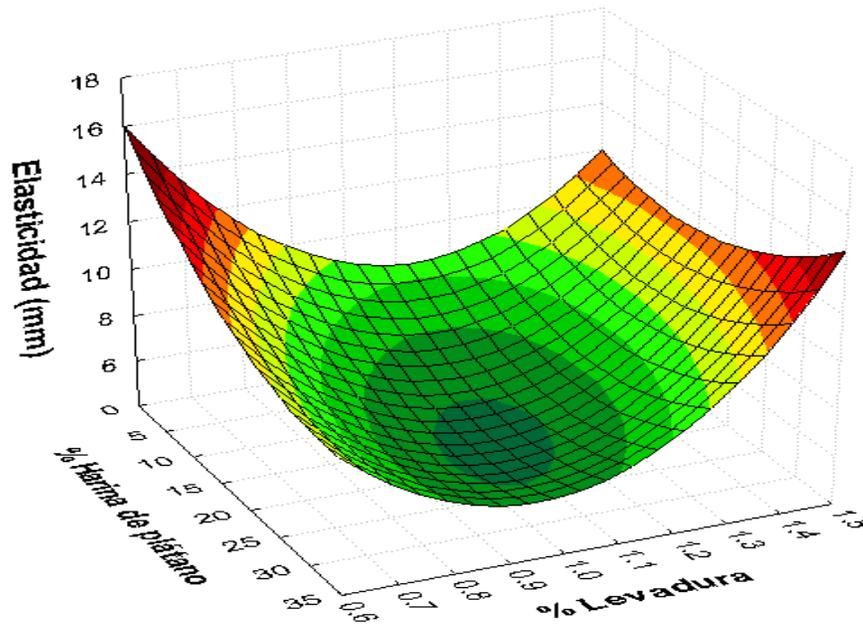


Figura 2. Efecto de la harina de plátano verde (%) y levadura (%) sobre la elasticidad (mm) en la Elaboración de pan molde.

Masticabilidad. Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 6.01% entre tratamientos (Cuadro 17). Los tratamiento con menor porcentaje de masticabilidad fueron el 7 y 8 los cuales poseen 15% de harina de plátano, 0.70% y 1.40% de levadura respectivamente. Bajaña y Setti (2015) reportan valores de masticabilidad similares a los presentados en Cuadro 17 en panes con sustitución de harina de trigo por harina de plátano donde tratamientos con 10% harina de plátano presenta 15.05 mJ de masticabilidad, 24.89 mJ con 20% de harina de plátano y 47.22 mJ con 30% de harina de plátano. Además presentan que entre más verde el estado de madurez del banano mayor será la masticabilidad del pan. La masticabilidad representa el trabajo necesario para desintegrar las muestras de pan hasta que esté listo para ser deglutido (Franco y Hernández 2016).

Cuadro 17. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la masticabilidad en pan molde.

Tratamientos	Harina de plátano (%)	Levadura (%)	Masticabilidad (mJ)
			Media \pm DE
1	4.5000	0.8000	31.36 \pm 1.08 ^e
2	4.5000	1.3000	40.41 \pm 0.29 ^{cd}
3	25.4000	0.8000	43.53 \pm 0.23 ^c
4	25.4000	1.3000	43.35 \pm 3.11 ^c
5	0.1530	1.0500	35.82 \pm 0.82 ^{cde}
6	29.7056	1.0500	43.25 \pm 0.68 ^c
7	15.0000	0.6965	34.34 \pm 0.33 ^{de}
8	15.0000	1.4035	34.99 \pm 0.05 ^{de}
9	15.0000	1.0500	39.39 \pm 1.38 ^{cd}
10	15.0000	1.0500	83.98 \pm 7.21 ^a
12	15.0000	1.0500	66.53 \pm 3.86 ^b
CV (%)			6.01
R ²			0.98

DE: Desviación Estándar

Coefficiente de Variación.

^{a-e}: variables con diferentes letras muestran diferencias estadísticas a una probabilidad <0.05.

Según el Cuadro 18 las variable independientes porcentaje de harina de plátano (X_1 y X_1^2) y porcentaje de levadura (X_2 y X_2^2) no son estadísticamente significativas a una $P < 0.10$. El coeficiente de regresión R^2 indicó un valor de 65.9%, el valor F calculado fue mayor que el F tabular, la falta de ajuste no fue significativa en la variable masticabilidad (mJ) en pan molde realizado.

Cuadro 18. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la masticabilidad de pan molde con harina de plátano verde.

Coeficientes	Masticabilidad	Probabilidad
Intercepto	-247.6920	0.1879 ^{ns}
X ₁	4.6660	0.3669 ^{ns}
X ₁ ²	-0.1150	0.1951 ^{ns}
X ₂	521.6450	0.1392 ^{ns}
X ₂ ²	-239.7660	0.1412 ^{ns}
X ₁ × X ₂	-0.8840	0.8243 ^{ns}
Falta de Ajuste		0.9947
R ²		0.6593
F calculado > F tabular	4.5421	2.9240

X₁: % Harina de plátano

X₂: % Levadura

*: Significativo a P <0.10

^{ns}: No significativo

Densidad. La densidad del pan fue calculada basando en los datos de peso y volumen del mismo. Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 2.06% entre tratamientos. El tratamiento 6 que contiene 29.7% de harina de plátano 1.05% de levadura fue el que mayor densidad presentó (Cuadro 19). La densidad se relaciona en su mayoría con el volumen del pan. Peso, volumen y densidad son características importantes en la elaboración de productos de panadería, ya que se relaciona con las celdas de aire presentes en el interior del pan (López *et al.* 2012).

Cuadro 19. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre la densidad (g/cm³) en pan molde.

Tratamientos	Harina de plátano (%)	Levadura (%)	Densidad (g/cm ³)
			Media ± DE
1	4.5000	0.8000	51.54 ± 1.32 ^{abc}
2	4.5000	1.3000	49.87 ± 1.01 ^{bc}
3	25.4000	0.8000	50.42 ± 1.14 ^{bc}
4	25.4000	1.3000	52.84 ± 1.13 ^{ab}
5	0.1530	1.0500	45.08 ± 1.09 ^d
6	29.7056	1.0500	54.05 ± 1.39 ^a
7	15.0000	0.6965	42.31 ± 1.08 ^d
8	15.0000	1.4035	42.46 ± 0.68 ^d
9	15.0000	1.0500	48.66 ± 0.41 ^c
10	15.0000	1.0500	50.12 ± 0.98 ^{bc}
11	15.0000	1.0500	50.18 ± 0.80 ^{bc}
12	15.0000	1.0500	49.11 ± 1.00 ^c
CV (%)			2.06
R ²			0.95

DE: Desviación Estándar

CV: Coeficiente de Variación.

^{a-d}: variables con diferentes letras muestran diferencias estadísticas a una probabilidad <0.05.

Según el Cuadro 20 las variable independientes porcentaje de harina de plátano (X_1 y X_1^2) son estadísticamente significativas a una $P < 0.10$. El coeficiente de regresión R^2 indicó un valor de 74.8%, el valor F calculado fue mayor que F tabular, la falta de ajuste no fue significativa para la variable densidad.

Cuadro 20. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en la densidad aparente de pan molde con harina de plátano verde.

Coefficientes	Densidad	Probabilidad
Intercepto	47.2283	0.0308 *
X ₁	-1.1058	0.0581 *
X ₁ ²	0.0264	0.0198 *
X ₂	23.7577	0.3574 ^{ns}
X ₂ ²	-15.8034	0.2170 ^{ns}
X ₁ × X ₂	0.3810	0.3025 ^{ns}
Falta de Ajuste		0.2108
R ²		0.7476
F calculado > F tabular	3.1509	2.9240

X₁: % Harina de plátano

X₂: % Levadura

*: Significativo a P <0.10

^{ns}: No significativo

Basado en el resultado del cuadro 20 se construyó la ecuación matemática que ayuda a predecir el comportamiento de las variables estadísticamente significativas sobre la densidad del pan.

$$Densidad = 47.5 - 1.11x_1 + 0.0264x_1^2 \quad [9]$$

De acuerdo a la ecuación 9, se elaboró un gráfico de superficie respuesta (Figura 3) que muestra el efecto de las variables cuantitativas el porcentaje de harina de plátano y porcentaje de levaduras y su efecto sobre la densidad del pan. Donde se puede observar cómo a medida aumentamos nuestro porcentaje de harina de plátano verde nos acercamos más al punto óptimo, esto debido a que el volumen del pan está ligado al contenido de proteína el cual debilita la fuerza de la masa por falta de gliadinas y gluteninas (Arias 2015).

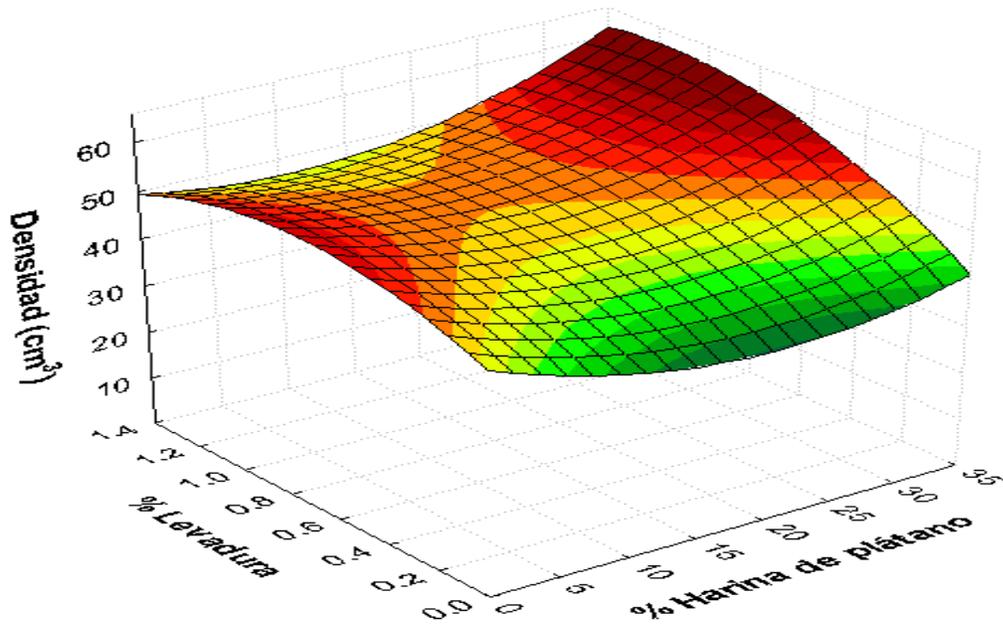


Figura 3. Efecto de la harina de plátano verde (%) y levadura (%) sobre la densidad (cm^3) en la elaboración de pan molde

Área de alveolos. La estructura de la miga, se puede evaluar a través de medidas del tamaño de alveolo por medio de análisis de imágenes de la miga de pan (Franco y Hernández 2016). Estadísticamente se encontraron diferencias y similitudes entre tratamientos, con una probabilidad ($P < 0.05$) (Cuadro 21). Los tratamientos con menor área de alveolos fueron el uno y dos los cuales no presentan diferencia estadísticamente representativa. Por otro lado, el tratamiento 8 que contiene 15% de harina de plátano y 1.40% de levadura fue el que mayor área de alveolos presentó con 7.15 cm^2 , un pan molde blanco con harina de trigo presenta un área alrededor de 3.30 cm^2 de alveolos (Sanz 2011). A mayor número de alveolos se da un rompimiento de las células de gas en la fermentación y se debilita la red de gluten (Pacheco y Testa 2005).

Cuadro 21. Promedio y desviación estándar (DE) de las variables independientes sobre los alveolos (cm²) en pan molde.

Tratamientos	Harina de plátano (%)	Levadura (%)	Alveolos (cm ²)
			Media ± DE
1	4.5000	0.8000	4.66 ± 0.34 ^d
2	4.5000	1.3000	4.78 ± 0.77 ^d
3	25.4000	0.8000	5.26 ± 0.08 ^{cd}
4	25.4000	1.3000	5.78 ± 0.71 ^{bcd}
5	0.1530	1.0500	2.64 ± 0.38 ^e
6	29.7056	1.0500	6.84 ± 0.29 ^{ab}
7	15.0000	0.6965	6.13 ± 0.09 ^{abc}
8	15.0000	1.4035	7.15 ± 0.05 ^a
9	15.0000	1.0500	6.11 ± 0.21 ^{abc}
10	15.0000	1.0500	6.30 ± 0.18 ^{abc}
11	15.0000	1.0500	6.19 ± 0.19 ^{abc}
12	15.0000	1.0500	6.49 ± 0.21 ^{ab}
CV (%)			6.72
R ²			0.94

DE: Desviación Estándar.

CV: Coeficiente de Variación

^{a-d}: diferencia estadística significativa.

Según el cuadro 22 las variables independientes porcentaje de harina de plátano (X_1 y X_1^2) son estadísticamente significativas a una $P < 0.10$. El coeficiente de regresión R^2 indicó un valor de 80.9%, el valor F calculado fue mayor que F tabular, la falta de ajuste fue significativa por lo cual el modelo tiene un comportamiento tendencioso para la variable alveolos.

Cuadro 22. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión cuadrático aplicado en el área de alveolos de pan molde con harina de plátano verde.

Coeficientes	Alveolos	Probabilidad
Intercepto	3.3074	0.0783*
X ₁	0.2980	0.0043*
X ₁ ²	-0.0083	0.0008*
X ₂	-0.9231	0.7090 ^{ns}
X ₂ ²	0.6612	0.5706 ^{ns}
X ₁ × X ₂	0.0385	0.3093 ^{ns}
Falta de Ajuste		0.0070
R ²		0.8089
F calculado > F tabular	6.7891	3.0060

X₁: % Harina de plátano

X₂: % Levadura

*: Significativo a P < 0.10

^{ns}: No significativo

Basado en el resultado del cuadro 22 se construyó la ecuación matemática que ayuda a predecir el comportamiento de las variables estadísticamente significativas sobre el área de alveolos de pan.

$$\text{Alvéolos} = 3.31 + 0.298x_1 - 0.0083x_1^2 \quad [10]$$

De acuerdo a la ecuación 10, se elaboró un gráfico de superficie respuesta (Figura 4) que muestra el efecto de las variables cuantitativas el porcentaje de harina de plátano y porcentaje de levaduras y su efecto sobre el área de alveolos del pan. En el cual se puede observar el área óptima de sustitución basado en el porcentaje de harina de plátano, además el número de alveolos en la miga de pan se ve afectado directamente proporcional al porcentaje de sustitución de harina de trigo por harinas integrales (Arias 2015) y un exceso de tiempo de fermentación puede provocar alveolos muy abiertos (Acosta 2013).

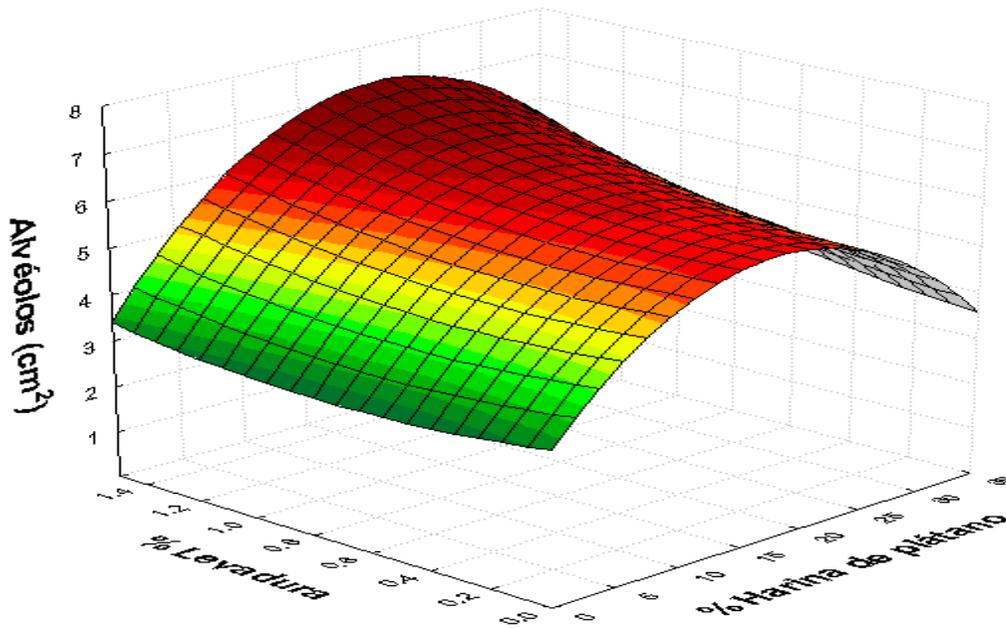


Figura 4. Efecto de la harina de plátano verde (%) y levadura (%) sobre el área de alveolos (cm^2) en la elaboración de pan molde.

Función de utilidad. En la Figura 5 se muestran los valores óptimos de las variables independientes porcentaje de harina de plátano y porcentaje de levadura. Estos datos se calcularon bajo las condiciones de disminuir las variables dureza y masticabilidad y aumentar las variables elasticidad, densidad y área de alveolos esto para obtener un pan óptimo de mayor calidad. Los valores óptimos de las variables independientes que se encontraron son 29.70% de harina de plátano y 1.17% de levadura. Los valores obtenidos representan para harina de plátano el valor de sustitución mayor estudiado lo cual representa que el punto óptimo según el porcentaje de harina de plátano es mayor al rango mayor estudiado utilizando un 1.17% de levadura.

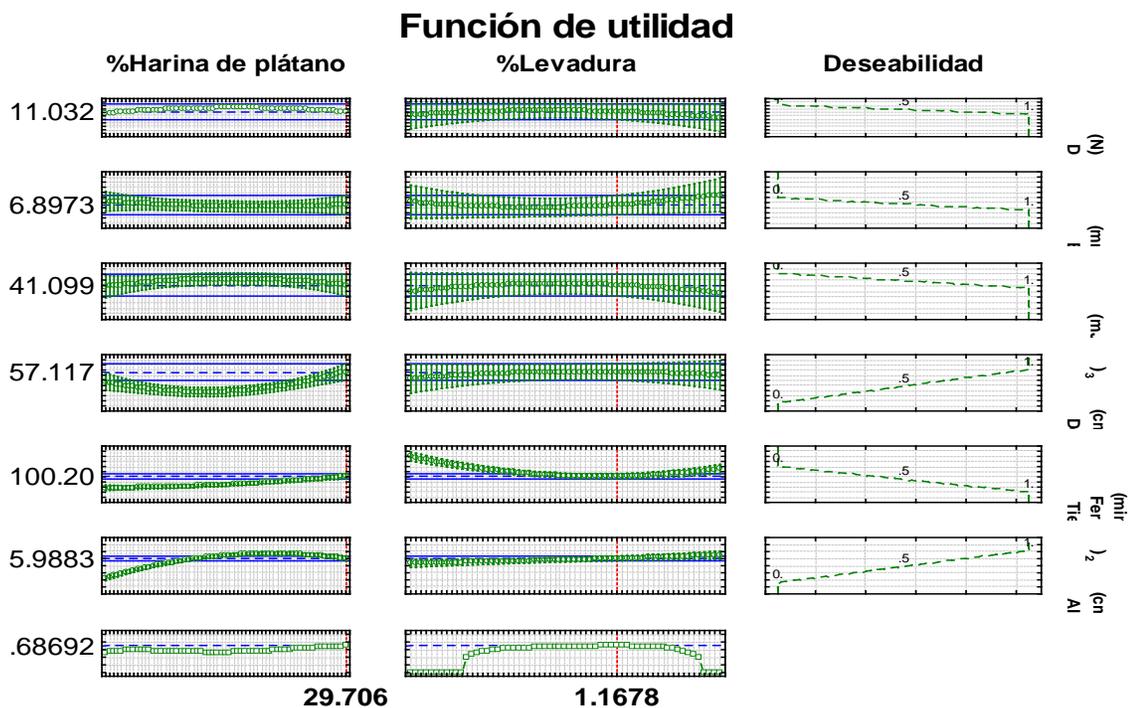


Figura 5. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas de pan molde con harina de plátano.

Análisis proximal de pan óptimo y pan control.

Carbohidratos totales. Los tratamientos control y óptimo no presentaron diferencia estadísticamente representativa. Se encontró un porcentaje de 54.57% para el control y 53.64% para el óptimo de carbohidratos totales (Cuadro 23). Los carbohidratos totales están constituidos en su mayor proporción por el almidón seguido de fibra cruda y por último una cantidad menor de azúcares (Sosa 2011). El almidón de la harina de plátano se considera como fibra dietética e ingrediente funcional, debido a que al momento de la digestión no es digerido; sin embargo, es fermentado en el intestino grueso. Durante esta fermentación se producen ácidos grasos de cadena corta que contribuyen a la reducción de índice glucémico, menor absorción de colesterol y prevención del cáncer de colon (Ameh *et al.* 2013).

Humedad total. La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) establece un rango de humedad para productos de panadería de 20 a 40% (NTE 2014). Tanto el pan control como el pan óptimo cumplen con la NTE (Cuadro 23) ya que el pan control contiene 31.62% y el pan óptimo 31.24% de humedad no presenta diferencia estadísticamente representativa. El endurecimiento del pan es causado por la pérdida de humedad de la miga (Salgado y Jiménez 2012).

Fibra dietética. Se encontraron valores para el tratamiento control de 9.41 y 7.95% para el óptimo. El Cuadro 23 no presenta diferencia estadísticamente representativa entre el control y el óptimo. El Reglamento Técnico Centro Americano establece que para declarar un

alimento como Alto en, buena fuente de y excelente fuente de fibra debe de contener mayor a 6 g por 100 g de producto (RTCA 2010), por ende, el pan óptimo con sustitución de 29.70% de harina de trigo por harina de plátano verde y 1.17% de levadura cumple con el requisito para declararse como un pan con excelente fuente de fibra (Cuadro 23). Un pan integral debe de contener 6.9% de fibra dietética total, lo cual el pan óptimo lo cumple (Cuadro 23). De este 6.9% de fibra dietética el 76.8% es fibra insoluble y 23.2% es fibra soluble (Pak 2000). Basados en los porcentajes anteriores el pan óptimo podría contener 6.11% de fibra insoluble y 1.84% de fibra soluble.

Grasa cruda. El control obtuvo 4.39% y el pan óptimo 4.23% lo cual no representa diferencias estadísticamente representativas ya que el ingrediente margarina es el que podría variar este valor entre tratamientos pero este se mantuvo constante en la elaboración de ambos panes. Pacheco y Testa (2005) presentan panes molde con 20% de sustitución de harina de trigo por harina de plátano valores de 2.33% de grasa. Ingredientes como la grasa tienen objetivos como aumentar el valor nutritivo del pan y proporcionarle un determinado sabor (Mesas y Alegre 2002).

Cenizas. Según el cuadro 23 no existió diferencia estadística entre el tratamiento control y el óptimo, el control contiene 2.40% y el óptimo 2.62% de cenizas. Pan molde con sustitución de harina de trigo por harina de plátano en 20% presenta valores de 2.30% (Pacheco y Testa 2005), la composición de las cenizas depende del tipo de harina utilizada, basado en la etiqueta nutricional del pan óptimo las cenizas presentes son calcio y hierro que suplen el 10 y 8% de los valores diarios requeridos.

Cuadro 23. Caracterización proximal completo de pan óptimo y pan control.

Análisis (%)					
TRT	CT ± DE	HT ± DE	FD ± DE	GC ± DE	CZ ± DE
Control	54.57 ± 0.01 ^a	31.62 ± 0.44 ^a	9.41 ± 0.06 ^a	4.39 ± 0.01 ^a	2.40 ± 0.13 ^a
Óptimo	53.64 ± 0.08 ^a	31.24 ± 0.08 ^a	7.95 ± 0.06 ^a	4.23 ± 0.06 ^a	2.62 ± 0.11 ^a
Pr > F	0.21	0.36	0.25	0.06	0.21

^{a-b} promedios con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes.

TRT: Tratamiento

CT: Carbohidratos Totales

HT: Humedad Total

FD: Fibra Dietética

GC: Grasa Cruda

CZ: Ceniza

DE: Desviación estándar

Pr>F: Probabilidad del valor F

Proteína. Se encontró un porcentaje de 6.89% para el control y 7.57% para el óptimo. La Norma Técnica Ecuatoriana establece un valor de 7% de proteína como porcentaje mínimo de requisito fisicoquímico en pan (NTE 2014). La leche es un ingrediente que se puede utilizar en panificación para mejorar la calidad proteica y además contribuye a aumentar la firmeza de la miga (Milde *et al.* 2009).

Fase IV. Análisis Sensorial.

Aceptación sensorial de apariencia. La apariencia del pan control y óptimo muestran diferencia estadísticamente significativa con una probabilidad ($P < 0.05$) (Cuadro 24). El pan control obtuvo una calificación media de 7.00 ubicado en la escala hedónica como "Me gusta moderadamente", comparado con el tratamiento óptimo que obtuvo una nota media de 6.44 ubicado en la escala como "Me gusta levemente". El atributo de apariencia es evaluado mediante la vista y evalúa color de la miga, color de la corteza, número de alveolos, forma y regularidad del pan (Callejo 2010).

Aceptación sensorial de color. El color del pan control y óptimo muestran diferencia estadísticamente significativa con una probabilidad ($P < 0.05$) (Cuadro 24). El pan control obtuvo una calificación media de 6.92 ubicado en la escala hedónica como "Me gusta levemente", comparado con el tratamiento óptimo que obtuvo una evaluación media de 6.58 ubicado en la escala como "Me gusta moderadamente". Arias (2015) no encontró aceptación sensorial en el color de pan molde realizado con sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde. El tipo de harina empleado en la elaboración del pan también influye en el color de la miga aunque existen determinados factores, como la oxidación de los pigmentos carotenoides que tiene lugar durante el amasado que pueden incidir (Callejo 2010).

Aceptación sensorial de textura en boca. La textura en boca del pan control y óptimo muestran diferencia estadísticamente significativa con una probabilidad ($P < 0.05$) (Cuadro 24). El pan control obtuvo una calificación de 6.83 ubicada en la escala hedónica como "Me gusta moderadamente", comparada con el tratamiento óptimo que obtuvo una evaluación media de 6.51 ubicada en la escala como "Me gusta levemente". La textura en boca mide factores como la humedad, cohesividad y adhesividad del pan (Callejo 2010).

Cuadro 24. Parámetros sensoriales de aceptación para pan control y óptimo.

Tratamientos	Apariencia	Color	Textura en boca
Media ± DE			
Control	7.00 ± 1.21 ^a	6.92 ± 1.40 ^a	6.83 ± 1.66 ^a
Óptimo	6.44 ± 1.49 ^b	6.58 ± 1.45 ^b	6.51 ± 1.45 ^b
%CV	6.40	6.00	6.89

DE: Desviación Estándar.

CV: Coeficiente de Variación.

^{a-b}: letras diferentes significan diferencia estadísticamente representativa Probabilidad ($P < 0.05$). Medición escala 9 puntos.

Aceptación sensorial de textura en tacto. La textura en tacto del pan control y óptimo muestran diferencia estadísticamente significativa con una probabilidad de ($P < 0.05$) (Cuadro 25). El pan control tuvo una calificación de 6.55 ubicándose en la escala hedónica como "Me gusta moderadamente", comparada con el tratamiento óptimo que obtuvo una evaluación media de 5.91 ubicada en la escala como "me gusta levemente". La textura en tacto evalúa atributos tales como la firmeza y la elasticidad de la miga (Callejo 2010). La firmeza de pan molde se ve afectada por la sustitución de harina de trigo por harina de plátano verde (Pacheco y Testa 2005). Además, se evaluó la elasticidad del pan óptimo que es 6.53 mm (cuadro 15) lo cual se relaciona como un valor apropiado para la elasticidad en pan molde.

Aceptación sensorial de olor. El olor del pan control y óptimo no muestran diferencia estadísticamente significativa con una probabilidad de ($P < 0.05$) (Cuadro 25). El pan control y el óptimo se ubican en la escala "Me gusta moderadamente", el no encontrar diferencia estadísticamente significativa se debe al grupo de panelistas los cuales no son entrenados y no se clasificaron solo como consumidores de pan integral.

Aceptación sensorial del sabor. El sabor del pan control y óptimo muestran diferencia estadísticamente representativa con una probabilidad de ($P < 0.05$) (Cuadro 25). El pan control obtuvo una calificación de 7.01 ubicada en la escala como "Me gusta moderadamente", comparada con el tratamiento óptimo que obtuvo una evaluación media de 6.49 ubicada en la escala como "Me gusta levemente". El sabor de pan disminuye por el incremento de la harina de plátano ya que aporta fibras que disminuyen la aceptabilidad gustativa (Arias 2015). El amasado es un proceso que ayuda a preservar los pigmentos carotenoides responsables del sabor (Chiemela 2014).

Aceptación sensorial general. La aceptación general del pan control y óptimo muestran diferencia estadísticamente representativa con una probabilidad de ($P < 0.05$) (Cuadro 25). El pan control obtuvo una calificación de 7.15 ubicada en la escala como "Me gusta moderadamente", comparada con el tratamiento óptimo que obtuvo una evaluación media de 6.84 ubicada en la escala como "Me gusta moderadamente". La aceptación involucra la aceptación de todos los atributos del pan de parte del consumidor.

Cuadro 25. Parámetros sensoriales de aceptación para pan control y pan óptimo.

Tratamiento	Textura tacto	Olor	Sabor	Aceptación General
Media \pm DE				
Control	6.55 \pm 1.69 ^a	6.90 \pm 1.62 ^a	7.01 \pm 1.51 ^a	7.15 \pm 1.36 ^a
Óptimo	5.91 \pm 1.76 ^b	6.88 \pm 1.45 ^a	6.49 \pm 1.57 ^b	6.84 \pm 1.29 ^b
%CV	6.56	4.61	5.26	5.32

DE: Desviación Estándar

Coefficiente de Variación.

a-b: letras diferentes significan diferencia estadísticamente representativa.

Probabilidad ($P < 0.05$).

Medición en escala hedónica de 9 puntos

Entre el pan control y pan óptimo no se encontró diferencia estadísticamente representativa en la preferencia debido a que la probabilidad del Chi cuadrado (0.3173) fue mayor que 0.05 (Cuadro 26). La prueba de preferencia de comparación pareada permite al consumidor o juez determinar cual muestra es de su preferencia (González *et al.* 2014).

Cuadro 26. Análisis de preferencia entre pan control y pan óptimo

Tratamiento	Panelistas	Preferencia (%)
Control	55	55
Óptimo	45	45
		100
Chi cuadrado		1.0000
Pr> Chi cuadrado		0.3173

4. CONCLUSIONES

- Las condiciones de secado de pulpa de plátano verde para la elaboración de harina es de 90 °C durante 4 horas.
- Debido al porcentaje de 16.70% de fibra dietética la harina de plátano verde se puede clasificar como una harina integral.
- Los porcentajes de sustitución de harina de plátano verde que tuvieron mejor respuesta a la textura del pan fueron 10, 20 y 30% respectivamente.
- La sustitución de harina de plátano verde en pastas frescas no cumple con los estándares en pruebas de cocción.
- El porcentaje de sustitución de harina de plátano verde que optimiza las características de textura del pan son 29.70% con 1.16% de levadura.
- Los panelistas no tuvieron preferencia entre el pan óptimo y el control.
- El pan óptimo tuvo una aceptación general de 6.54 clasificado como "Me gusta levemente".

5. RECOMENDACIONES

- Determinar la factibilidad económica de la sustitución de harina de plátano verde en pan molde.
- Evaluar el uso potencial de la harina de plátano verde con otro tipo de harinas en productos para celíacos.
- Optimizar el tiempo y temperatura en la elaboración de harina de plátano verde.
- Mejorar la aceptación sensorial del pan óptimo mezclando otro tipo de harinas que puedan dar una mejor textura y sabor.

6. LITERATURA CITADA

AACC International. Approved Methods of Analysis. 11th Ed. Method 74-10.02. Measurement of Bread Firmness – Compression Test. Approved 3, 2017. AACC International, Dahle, L. and Sambucci, November 30, 1999. U.S.A. ISBN: 978-1-891127-68-2.

AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 16-50. Pasta Cooking Test. Approved November 3, 1999. AACC International, St. Paul, MN. U.S.A. ISBN: 978-1-891127-68-2.

Acosta V. 2013. Evaluación de la textura del pan, elaborado a partir de harina de trigo nacional (*Triticum vulgare*), con adición de gluten vital [Tesis]. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias e Ingeniería de Alimentos. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6578/1/AL%20517.pdf>.

Ameh MO, Gernah DI, Igbabul BD. 2013. Physico-Chemical and Sensory Evaluation of Wheat Bread Supplemented with Stabilized Undefatted Rice Bran. FNS (Food and Nutrition Sciences). 04(09):43–48. doi:10.4236/fns.2013.49A2007.

AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2011. Official Methods of Analysis Official Methods of Analysis: Métodos 2003.06, 2001.11, 923.03, 952.08, 101.92, 985.29, 978.18 y 965.22, 965.18 Ed. Washington D.C, Estados Unidos.

Arias T. 2015. Evaluación del efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum spp*) por harina de banano cavendish (*Musa acuminata*) grado de madurez 3 sobre las características de masa y pan [Tesis]. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11035>

Araya Y., Morales A., Vargas P., Wexler L. 2014. Potencial tecnológico de harina de plátano verde con cáscara (*Musa AAB*) como sustituto de grasa para geles cárnicos. Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. (9):51–58. <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/256/243>. ISSN: 1688 – 3691.

Arone H. 2015. Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (*Chenopodium quinua Willd*) y chía (*Salvia hispanica L*) [Tesis]. Andahuaylas: Universidad Nacional José María Arguedas, Facultad

de Ingeniería. <http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/210/16-2015-EPIA-Arone%20Palomino-Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20del%20pan%20molde.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Arroyave LM, Esguerra C. 2006. Utilización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild*) en el proceso de panificación [Tesis]. Bogotá: Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería de Alimentos. <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15521/T43.06%20A69u.pdf?sequence=1>.

ASTM D6920-13, Standard Test Method for Total Sulfur in Naphthas, Distillates, Reformulated Gasolines, Diesels, Biodiesels, and Motor Fuels by Oxidative Combustion and Electrochemical Detection, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org.

Bajaña SA, Setti DM. 2015. Sustitución parcial de la harina de trigo por harina de banano y su efecto en las propiedades fisicoquímicas del pan tipo molde [Tesis]. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/88451/D-88115.pdf>.

Barreto JA, Calderón EA, Cedeño VK, Chavarría RL, Hidalgo RJ, Rodríguez ML. 2015. Elaboración de harina de plátano (*Musa paradisiaca*) a tres temperaturas diferentes para establecer los porcentajes de humedad [Tesis]. Manabí: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Agroindustria. https://www.academia.edu/21252630/HARINA_DE_PLATANO.

Callejo M. 2010. Principales atributos sensoriales del pan: la importancia de la cata. Pastry Revolution. (1194 - 1195):8-12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3179246>. ISSN: 0026 - 900X.

Castro E, De Hombre R. 2007. Parámetros mecánicos y textura de los alimentos [Tesis]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121381/ParamMecTexAlim07.pdf?sequence=1>.

Centralamericadata. Septiembre 18, 2017. Precios de trigo importado a la baja. Costa Rica: Central América Data. Consultado: octubre 09, 2017.. https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Precios_de_trigo_importado_a_la_baja.

CIAL (Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación). 2011. Curso de análisis sensorial de alimentos. México: Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/63961/1/358508.pdf>.

Dadzie BK, Orchard JE. 1997. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Montpellier, Francia: INIBA (Guías Técnicas INIBAP). ISBN: 29108102169782910810214. https://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Routine_post-harvest_screening_of_banana_plantain_hybrids__Criteria_and_methods_235_ES.pdf.

Elías L. 2010. Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas. Ciudad de Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Consultado: junio 08, 2017. <http://www.bvssan.incap.org.gt/local/file/ppnt006.pdf>.

FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2002. Bacteriological analytical manual: enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. Maryland: U. S. Food & Drug Administration; [actualizado 18 de julio de 2017]. Food Science. Consultado: octubre 10, 2017. <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>.

FEN (Fundación Española de la Nutrición). 2017. Plátano: Banana (*Musa acuminata*/*Musa paradisiaca*). Madrid: Fundación Española de la Nutrición. <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/platano.pdf>.

Ferreira, T., Rasband, W. 2012. ImageJ user guide. Segunda edición. Texas: ImageJ/Fiji. Consultado: julio 15, 2017. <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/index.html>.

Flecha M. 2015. Procesos y técnicas de panificación. Primera edición. Galicia, España: Junta de Galicia. Procesamiento de alimentos. https://www.edu.xunta.gal/.../Procesos_y_tecnicas_de_panificacion-MANUAL.pdf.

Franco I., Hernández, O. 2016. Efectos sobre las propiedades reológicas y panificables de la enzima transglutaminasa en masas con almidón de yuca (*Manihot esculenta*). *Revistas Académicas*. 12(2): 56 - 67. <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/1236/html>.

Galvão Cândido F, Silva Ton WT, Gonçalves Alfenas RdC. 2014. Addition of dietary fiber sources to shakes reduces postprandial glycemia and alters food intake. *Nutrición Hospitalaria*. 31(1):299–306. eng. <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=14c387bd-8e5e-4b35-9b05-efdae4797d3c%40sessionmgr4010>. doi:10.3305/nh.2015.31.1.7578.

García M. Ramírez L. 2012. Potencial del plátano macho verde para la elaboración de botanas saludables. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*. 3(5):5–7. <http://www.redalyc.org/pdf/4981/498150313002.pdf>. ISSN: 2007 – 7467.

González V, Rodeiro C, Sanmartín C, Vila S. 2014. Introducción al análisis sensorial: estudio hedónico del pan en el IES Mugardos [Tesis]. España: Instituto de Educación Secundaria de Mugardos. Consultado: octubre 08, 2017. <http://www.seio.es/descargas/Incubadora2014/GaliciaBachillerato.pdf>.

ITC (International Trade Centre). 2017. Lista de los mercados proveedores para un producto importado por Estados Unidos de América: 0803 plátanos, incl. plátanos, frescos o secos. Ginebra: International Trade Centre. Consultado: octubre 09, 2017. http://trademap.org/Country_SelProductCountry_TS_Graph.aspx?nvpm=3%7C842%7C%7C%7C%7C0803%7C%7C%7C4%7C1%7C1%7C1%7C2%7C1%7C2%7C1%7C1.

Izidoro D.R., Scheer AP, Sierakowski M-R, Haminiuk CW. 2008. Influence of green banana pulp on the rheological behavior and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). *LWT - Food Science and Technology*. 41(6):1018–1028. Doi:10.1016/j.lwt.2007.07.009.

López JF, Sandoval ER, Sepúlveda JU. 2012. Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agronómica*. 61(3):273–279. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122012000300009.

Marioxy V. 2009. Propiedades de cocción, físicas y sensoriales de una pasta tipo fettuccine elaborada con sémola de trigo durum y harina deshidratada de cebollín (*Alium fistulosum* L.). Universidad Central de Venezuela. 21(1):70–76. <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1389/1/09PROPIEDADES%20DE%20COCCI%C3%93N.pdf>.

Martinez E. 2009. Elaboración de harina de plátano para la formulación de productos instantáneos tipo atol con bajo y alto contenido de fenilalanina [Tesis]. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Departamento de Tecnología de Alimentos. <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/9276/1/Tesis%20MARTINEZ%20EDWARD.pdf>.

Menchú M. Méndez, H. 2012. Análisis de la situación alimentaria en Honduras. Primera edición (200 ejemplares): 19 – 35. Tegucigalpa: Papelería e Imprenta Honduras.

Mesas JM, Alegre MT. 2002. El pan y su proceso de elaboración the bread and its processing o pan e o seu proceso de elaboração. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 3(5):307–313. doi:10.1080/11358120209487744.

Milde LB, Valle C, Rybak A, Oliveira C, González KG. 2009. Metodología de Superficie de Respuesta para Optimizar Panificado Libre de Gluten con Grasa, Huevo y Leche. *Revista de Ciencia y Tecnología*. (11):55–58. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872009000100009.

Molina M. 2010. Obtención y caracterización de harina de [Tesis]. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Biología. <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/9051/1/Tesis%20Mar%C3%ADa.%20G.%20Molina.pdf>.

NTE (Norma Técnica Ecuatoriana). 2014. Pan. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización (67.060.00) (NTE INEN 2945). 2014. http://www.normalizacion.gob.ec/wpcosalntent/uploads/downloads/2015/07/nte_inen_2945.pdf.

Ormenese R. Faria E. Gomes C. Yotsuyanagi K. 2001. Massas alimentícias não convencionais à base de arroz perfil sensorial e aceitação pelo consumidor. Brazilian Journal of Food Technology. 4(60):67–74. <http://bj.ital.sp.gov.br/artigos/brazilianjournal/2001/p0160.pdf>. ISSN: 1981 – 6723.

Orozco AF, Picón JL. 2011. Plan de exportación de harina de plátano de la empresa Brito Vaca Cia. LTDA. Molino El Fenix de la ciudad de Riobamba al mercado de Estados Unidos ciudad de Miami FL. [Tesis]. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Administración de Empresas. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1790/1/52T00199.pdf>.

Ortega A. 2016. Variación del perfil nutricional en pastas alimenticias frescas con el empleo de harina de chufa e hidrocoloides en su formulación [Tesis]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/66071/-ORTEGA%20%20Variaci%C3%B3n%20del%20perfil%20nutricional%20en%20pasta%20alimenticias%20frescas%20con%20el%20empleo%20de%20harina%20.pdf?sequence=1>.

Pacheco E, Testa G. 2005. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. Interciencia. 30(5):300–304. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910410>. ISSN: 0378 – 1844.

Pak N. 2000. La fibra dietética en la alimentación humana, importancia en la salud. Anales de la Universidad de Chile. VI (11). <http://www.anales.uchile.cl/index.php/ANUC/article/viewArticle/2504/2396>. Doi:10.5354/0717-8883.2000.2504.

Pérez E. 2016. Harinas y almidones de fuentes no convencionales: elaboración y usos. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Delegación de la Comisión Europea en Argentina. <https://www.inti.gov.ar/ue/pdf/publicaciones/cuadernillo29.pdf>.

Quiceno MC, Geraldo GA, Villamizar RH. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. UGciencia. 20(48 - 54). <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/313>.

Ramírez A. 2015. Evaluación de características físicas, químicas y sensoriales de pasta Fettuccine con sustitución parcial de la harina de trigo por almidón de yuca y cáscara de huevo [Tesis de grado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Departamento de Agroindustria Alimentaria. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4652/1/AGI-2015-033.pdf>.

Ramírez N, López C, García F, Bello A, López B, Aguilar A. 2007. Secado en lote de plátano macho verde (*Musa paradisiaca L.*) a tres temperaturas [Tesis]. Morelos, México: Universidad de Guanajuato, Instituto de Ciencias Agrícolas. respyn2.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-86.pdf.

RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano). 2010. Anexo a la Resolución 201 - 2007 (COMIECO - XLV). Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones. Nicaragua: La Gaceta (67.060 RTCA 67.01.15:07) (87). 11 de Mayo del 2010; [actualizado mayo 11, 2010]. Consultado: octubre 02, 2017. [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/DF67EE153DE227B20625778400720FA8?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/DF67EE153DE227B20625778400720FA8?OpenDocument).

Robles K. 2007. Harina y productos de plátano. Primera edición: 11 – 34. Cali: Universidad del Valle. <http://www.ilustrados.com/documentos/harina-producto-platano-240807.pdf>.

SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería). 2015. Honduras alcanza un área de 101,000 hectáreas para la producción de frutas. Tegucigalpa: Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado: mayo 20, 2017. <http://www.sag.gob.hn/sala-de-prensa/noticias/ano-2015/mayo-2015/honduras-alcanza-un-area-de-101000-hectareas-para-la-produccion-de-frutas/>.

Salgado, A. Jimenez, M. 2012. Métodos de control de crecimiento microbiano en el pan. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. 6(2):160–172. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Salgado-Nava-et-al-2012.pdf>.

Sanz N. 2011. Desarrollo de panes especiales con harina integral de amaranto [Tesis]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14087/DESARROLLO%20DE%20PANES%20ESPECIALES%20CON%20HARINA%20INTEGRAL%20DE%20AMARANTO.pdf?sequence=1>.

Silva AdA, Barbosa Junior JL, Barbosa MIMJ. 2015. Farinha de banana verde como ingrediente funcional em produtos alimenticios. Ciencia. Rural. 45(12):2252–2258. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782015001202252.
Doi:10.1590/0103-8478cr20140

Sosa G. 2011. Formulación de una base de sopa deshidratada de harina de plátano [Tesis]. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias; Escuela de Biología.

<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/9238/1/Tesis%20Gina%20Sosa%20Gonz%C3%A1lez.pdf>.

Soto V. 2010. Cuantificación de almidón total y almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa cavendishii*) y banana verde (*Musa paradisiaca*). *Revista Boliviana de Química*; [accessed 2010 Oct 15]. 27(2). <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v27n2/v27n2a04.pdf>.

Souza R. Ferreira F. 2004. Efeito da adição de CO₂ nas características tecnológica e sensorial do macarrão massa fresca tipo talharim. *Ciência e Agrotecnologia*. 28(4):848–855. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542004000400017. doi:10.1590/S1413-70542004000400017.

Tavara F. 2015. Comprobación de la norma sanitaria RM No 1020-2010/MINSA en la elaboración de pan molde comercializado en la ciudad de Sullana [Tesis]. Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Industrial. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/701>.

Tavares da Silva S, Araújo Dos Santos C, Marvila Girondoli Y, Mello de Azeredo L, Fernando de Sousa Moraes L, Keila Viana Gomes Schitini J, Flávio C de Lima M, Cristina Lopes Assis Coelho R, Bressan J. 2014. Women with metabolic syndrome improve anthropometric and biochemical parameters with green banana flour consumption. *Nutrición Hospitalaria*. 29(5):1070–1080. eng. doi:10.3305/nh.2014.29.5.7331.

Teba C. 2009. Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica [Tesis]. Río de Janeiro: Universidad Federal de Río de Janeiro, Instituto de Tecnología de Alimentos. <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp089722.pdf>.

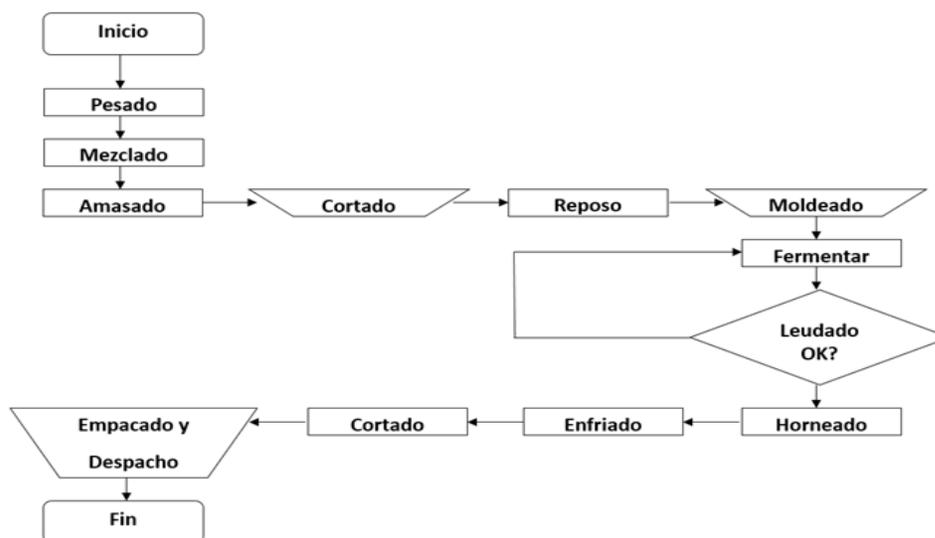
Torres R, Montes EJ, Pérez OA, Andrade RD. 2013. Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Físicoquímicas de Frutas Tropicales. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*. 24(3):51–56. doi: 10.4067/S0718-07642013000300.

Vanderzant C, editor. 1992. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. 3. ed. Washington, DC: American Public Health Assoc. XL, 1219 S. ISBN: 0875531733.

7. ANEXOS

Anexo 1. Flujo de proceso para la elaboración de pan molde de la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano.

FLUJO DE PROCESO



Anexo 2. Etiqueta nutricional pan optimizado.

Nutrition Facts			
Datos de Nutrición			
Serving Size 1 Slice (51g) / Tamaño Por Ración 1 Rebanada (51g)			
Serving Per Container 32 approx. / Raciones Por Envase 32 aprox.			
Amount Per Serving/Cantidad Por Ración			
Total Energy/Energía Total 550kJ (130kcal)			
Energy from Fat/Energía de la Grasa 75kJ (20kcal)			
	%Daily Value*/ % Valor Diario*		
Total Fat/Grasa Total 2g	3%		
Saturated Fat/Grasa Saturada 1g	5%		
Trans Fat / Grasa Trans 0g			
Cholesterol/Colesterol 5mg	2%		
Sodium/Sodio 340mg	14%		
Total Carbohydrate/Carbohidratos Totales 28g	9%		
Dietary Fiber/Fibra Dietética 4g	16%		
Sugars/Azúcares 4g			
Protein/Proteínas 4g			
Vitamin A/Vitamina A	0%		
Vitamin C/Vitamina C	4%		
Calcium/Calcio	10%		
Iron/Hierro	8%		
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:			
*Los Porcentajes del Valores Diarios están basados en una dieta de 2,000 calorías. Sus valores diarios pueden ser mayores o menores, dependiendo de las calorías que usted necesite.			
	Calories/Calorias	2,000	2,500
Total Fat/Grasa Total	Less than/Menos de	65g	80g
Sat Fat/Grasa Saturada	Less than/Menos de	20g	25g
Cholesterol/Colesterol	Less than/Menos de	300mg	300mg
Sodium/Sodio	Less than/Menos de	2400mg	2400mg
Total Carbohydrate/Carbohidratos Totales		300g	375g
Dietary Fiber/Fibra Dietética		25g	30g

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Resultados de Coliformes fecales por Número Más Probable en pan óptimo.

Dilución	10⁻¹	10⁻²	10⁻³	Combinación
Resultado	0/3	0/3	0/3	0-0-0

Resultado: < 3 NMP/g

Anexo 4. Resultados de Hongos y levaduras en pan óptimo.

Parámetro	10⁻¹	10⁻²	10⁻³	10⁻⁴	Resultado
Hongos	0	0	0	0	<10 UFC/g
Levaduras	0	0	0	0	<10 UFC/g

Resultado: < 10 UFC/g Hongos y levaduras