



Desarrollo de un producto de panadería con alto valor nutricional a partir de la harina obtenida del banano verde con cáscara: una nueva opción para el aprovechamiento de residuos de la industria de exportación¹

Maritza Andrea Gil Garzón² / Lina María Vélez Acosta³ / Leonidas de Jesús Millán Cardona⁴
María Antonia Acosta Hurtado⁵ / Astrid Carolina Díez Rodríguez⁵
Natalia Cardona Taborda⁵ / Luis Alfonso Rocha Gutiérrez⁶ / Gloria Cristina Villa Mejía⁷

Developing a bakery product with a high nutritional value from the flour obtained from green banana with its peel: a new option for the use of waste from banana export industry

Desenvolvimento de um produto de padaria com alto valor nutricional a partir da farinha obtida da banana verde com casca: uma nova opção para o aproveitamento de resíduos da indústria de exportação

¹ Artículo Originado del proyecto "Elaboración de subproductos a partir de la harina de banano con cáscara" en la Corporación Universitaria Lasallista, Caldas - Antioquia. ²Ingeniera de Alimentos, Magíster en Ciencias-Química. Docente coordinadora del programa de Ingeniería de Alimentos, Corporación Universitaria Lasallista. ³Ingeniera de Alimentos, Magíster en Desarrollo, docente de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Pontificia Bolivariana. ⁴Ingeniero Industrial, especialista en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, docente de la Corporación Universitaria Lasallista. ⁵Estudiantes del programa de Ingeniería de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, ⁶Ingeniero Mecánico, Coordinador de Desarrollo Tecnológico, C.I BANACOL. ⁷Ingeniera de Alimentos. Jefe de Proyectos, Fundación Social BANACOL- CORBANACOL.

Correspondencia: Maritza Andrea Gil Garzón, e-mail: magil@lasallista.edu.co

Artículo recibido: 10/03/2011; Artículo aprobado: 15/05/2011

RESUMEN

Introducción. Los seres humanos no llegan a consumir ni un tercio de las frutas y vegetales que se producen en el mundo, situación que se presenta en gran medida por las pérdidas post-cosecha. Uno de los cultivos que presentan un porcentaje elevado de producción de residuos por la alta exigencia de calidad en las exportaciones es el de banano (*cavendish*), residuos que han sido aprovechados para la obtención de harina de banano verde con cáscara, como insumo para la preparación de harinas compuestas con alto valor nutritivo con potencial para la industria de panificación. **Objetivo.** Desarrollar un producto de panadería elaborado con diferentes mezclas de harina de banano verde con cáscara, como opción para el aprovechamiento de los residuos de la industria bananera y alternativa nutricional para poblaciones con diferentes grados de desnutrición. **Materiales y métodos.** Se desarrolló un pan tajado bajo la aplicación de una formulación convencional a partir de diferentes mezclas de harina de trigo y harina de banano verde con cáscara (10 a 16%); la mejor mezcla se eligió empleando un diseño experimental basado en mezclas de vértices extremos, que obedece a las variaciones de la actividad acuosa respecto a la temperatura y la sustitución adecuada de harina de trigo por harina de banano verde con cáscara, como también a los coeficientes estimados de la superficie de respuesta para las variables dependientes. **Resultados.** Se determinaron los porcentajes de sustitución de la harina de trigo por harina de banano verde con cáscara para obtener los valores mínimos de actividad acuosa en función de la temperatura (14.5% y 16% de harina de banano verde con cáscara, respectivamente). **Conclusión.** Los valores obtenidos son un punto de referencia para la estandarización y optimización del desarrollo de un producto de panificación, a partir del aprovechamiento de un alimento con propiedades funcionales obtenido del residuo orgánico de uno de los cultivos más importantes en el mundo y especialmente en Colombia, como lo es el banano.

Palabras clave: pan, banano, harina compuesta, *cavendishuna*, *musáceae*, actividad acuosa, propiedades nutricionales, residuo orgánico.

ABSTRACT

Introduction. Human beings do not get to consume not even a third of the fruits produced in the world, and one of the main reasons for this are the losses after harvesting. One of the crops that produces a high number of waste material given the high demands under quality terms is banana (*Cavendish*) and that waste has been used to produce flour from green banana with its peel as an input to produce composed flours with a high nutritional value, and with a potential use in bakery. **Objective.** To develop a bakery product made with several green banana with its peel mixtures, as an option for the use of waste from banana industries and as a nutritional alternative for people with different malnutrition degrees. **Materials and methods.** A sliced bread was developed under the application of a conventional formula departing from different mixtures of wheat flour and green banana with its peel flour (10 to 16%). The best mixture was chosen by the use of an experimental model based on extreme vertices mixtures, which responds to the variations of the aqueous activity according to the temperature and the proper substitution of the wheat flour with green banana with its peel flour, as to the coefficients of the response surface estimated for the depending variables. **Results.** The substitution percentages of the wheat flour with the flour made from green banana with its peel, in order to obtain the minimum aqueous activity values according to the temperature (14.5% and 16% of green banana with its peel flour, respectively) were determined. **Conclusion.** The values obtained are a benchmark for the standardization and the optimization of the development of a bakery product, departing from the use of a food with functional properties obtained from the organic waste of one of the most important crops worldwide, and especially in Colombia: The banana.

Key words: bread, banana, composed flour, *cavendishuna*, *musaceae*, aqueous activity, nutritional properties, organic waste.

RESUMO

Introdução. Os seres humanos não chegam a consumir nem um terço das frutas e vegetais que se produzem no mundo, situação que se apresenta em grande parte pelas perdas pós-colheita. Um dos cultivos que apresen-

tam uma percentagem elevada de produção de resíduos pela alta exigência de qualidade nas exportações é o de banana (cavendish), resíduos que foram aproveitados para a obtenção de farinha de banana verde com casca, como insumo para a preparação de farinhas compostas com alto valor nutritivo com potencial para a indústria de panificação. **Objetivo.** Desenvolver um produto de padaria elaborado com diferentes misturas de farinha de banana verde com casca, como opção para o aproveitamento dos resíduos da indústria bananeira e alternativa nutricional para populações com diferentes graus de desnutrição. **Materiais e métodos.** Desenvolveu-se um pão de forma sob a aplicação de uma formulação convencional a partir de diferentes misturas de farinha de trigo e farinha de banana verde com casca (10 a 16%); a melhor mistura se elegeu empregando um desenho experimental baseado em misturas de vértices extremos, que obedece às variações da atividade aquosa com respeito à temperatura e a substituição adequada de farinha de trigo por farinha de banana verde com casca, como também aos coeficientes estimados da superfície de resposta para as variáveis dependentes. Resultados. Determinaram-se as percentagens de substituição da farinha de trigo por farinha de banana verde com casca para obter os valores mínimos de atividade aquosa em função da temperatura (14.5% e 16% de farinha de banana verde com casca, respectivamente). **Conclusão.** Os valores obtidos são um ponto de referência para a estandardização e otimização do desenvolvimento de um produto de panificação, a partir do aproveitamento de um alimento com propriedades funcionais obtido do resíduo orgânico de um dos cultivos mais importantes no mundo e especialmente na Colômbia, como o é a banana.

Palavras importantes: pão, banana, farinha composta, cavendishuna, musáceae, atividade aquosa, propriedades nutricionais, resíduo orgânico.

INTRODUCCIÓN

Se dice que los seres humanos no llegan a consumir ni un tercio de las frutas y vegetales que se producen en el mundo, situación que se presenta en gran medida por las pérdidas post-cosecha, las cuales varían entre productos, áreas de producción y épocas del año. Se han diseñado diferentes estrategias que buscan disminuir estas pérdidas, que en algunos países pueden llegar hasta un 50% de la producción anual debido a efectos bióticos, abióticos y factores socioeconómicos que afectan la eficiencia del proceso de recolección, almacenamiento y de transporte^{1,2}. Es así como a partir de la revisión a los desechos generados por la industria alimentaria, se ha definido que muchos de ellos mantienen altos contenidos de vitaminas, minerales, proteínas y fibras, componentes de los alimentos que están siendo valorados por su aporte funcional a los mismos³. Sin embargo, las estrategias no funcionan de la misma manera para todas las frutas y en todas las regiones, por lo tanto, es necesario contar con diversas opciones que permitan hacer uso de los residuos o desechos generados desde la recolección misma o los generados en los diferentes procesos industriales.

Los niveles de calidad exigidos por el mercado exportador han traído grandes problemas desde el punto de vista ambiental; se estima que entre un 20 y un 25% v/v del banano tipo *Cavendish valery* es rechazado⁴. En la actualidad gran parte de dichos rechazos se utilizan para la producción de compost, en rellenos sanitarios, otro tanto se destina para alimentación animal. Esta materia prima ha sido objeto de estudio para su aprovechamiento en sistemas agroindustriales diversos como: producción de bioetanol, de almidón, celulosa, aumento de fibra dietaria en alimentos, entre otros^{5,6}.

Una de las frutas objeto de estudio por la alta producción de desechos generados en la post-cosecha es el banano, cultivo que se extienden por todas las zonas húmedas tropicales más importantes en el mundo y es el cuarto cultivo en producción mundial. El banano proviene de la planta comprendida dentro de las Monocotiledóneas y pertenecen a la familia botánica Musáceae y esta al orden Scitamineae⁷, y es la variedad *Valery* es un clon triploide de *Cavendishuna* de las más producidas para la exportación, aunque se produce también la variedad *Dwarf* que reemplazó la *Gran Enaine* en Colombia, Australia, Martinica, Hawai y Ecuador⁸.

Las principales causas del alto porcentaje de rechazo de banano para exportación están enmarcadas en procesos de control de calidad rigurosos que buscan garantizar que el producto llegue, en condiciones óptimas, a los lugares de consumo ubicados en Norte América y Europa. Este control ha llevado a que entre un 20% y un 25% del total producido sea rechazado. El rechazo del material para exportación se presenta debido a diferentes circunstancias; las más significativas son: superación del punto óptimo de cosecha, selección durante los procesos de post-cosecha y el desecho de la fruta en puerto⁹.

En Colombia, a partir del año 2000 se ha presentado un incremento en el área total cultivada, con el consecuente aumento de la producción de material de primera calidad y de residuos agroindustriales¹⁰. Esta situación ofrece la posibilidad de generar valor sobre subproductos de esta cadena productiva que tiene garantizada la disponibilidad y abastecimiento de materias primas de alto contenido energético para los procesos de transformación; entre sus componentes más importantes se encuentran el potasio, las vitaminas B6 y C, el magnesio y la fibra dietaria que presenta valores de alrededor de 1.7% del peso total de la fruta¹¹.

En la actualidad, uno de los subproductos de mayor valor nutricional obtenidos a partir del banano verde con cáscara, que es rechazado para exportación, es su harina, la cual puede ser empleada para el desarrollo de harinas compuestas, que según la FAO pueden ser clasificadas en dos categorías: en la primera se agrupan las “harinas de trigo diluidas”, en las que se sustituye la harina de trigo por otras harinas hasta un porcentaje del 40%; en la segunda categoría se agrupan las harinas compuestas que no contienen trigo. Las mezclas más frecuentes se realizan con harina de soya¹².

En la tabla I se muestra la composición fisicoquímica de la harina de banano verde con cáscara producida en Colombia por la Fundación Social Banacol-Corbanacol, que puede ser una opción de producción de harinas compuestas, no con la finalidad de fuente de proteína como tradicionalmente se producen, sino con el fin de aumentar el aporte de micronutrientes requeridos para la salud integral, así como el incremento de la fibra dietaria total.

Un reto importante de la industria de alimentos será desarrollar una amplia variedad de productos en la que se aprovechen los beneficios de la harina de banano verde con cáscara que pueden ser constituidos como alimentos funcionales debido a su aporte nutricional benéfico para la prevención o disminución de enfermedades como: diarrea infantil, hipertensión arterial, memoria, problemas de corazón y musculares, úlceras, entre otros, debido principalmente al equilibrio del contenido de micronutrientes, fibra e hidratos de carbono¹⁴⁻¹⁸.

El objetivo de este proyecto fue desarrollar un producto de panadería elaborado con diferentes mezclas de harina de banano verde con cáscara como opción para el aprovechamiento de los residuos de la industria bananera y alternativa nutricional para poblaciones con altos niveles de desnutrición.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

Las materias primas empleadas para la elaboración del pan tajado fueron: harina de trigo de calidad panadera con un contenido proteico de 11%; sal y azúcar comercial; agua potable y levadura prensada, todas estas fueron obtenidas en un mercado local de Medellín, Antioquia. La harina de banano verde con cáscara fue donada por la Fundación Social Banacol. Los reactivos empleados en los análisis fueron grado reactivo marca MERCK.

Tabla I. Composición fisicoquímica de la harina de banano verde con cáscara

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO	RESULTADO
Tamaño de porción (g)	100,00
Calorías (kcal/g)	359,99
Carbohidratos totales (g)	81,75
Proteína (%)	4,00
Humedad (%)	7,46
Grasa total (%)	0,79
Fibra dietaria total (%)	18,67
Fibra cruda (%)	2,35
Sodio (mg)	78,00
Ácido fólico (mg)	157,52
Vitamina A (UI)	32,01
Vitamina B1 (mg)	1,06
Vitamina B2 (mg)	0,73
Vitamina B3 (mg)	2,71
Vitamina C (mg)	1,81
Potasio (g)	1,82
Calcio (mg)	461,00
Zinc (mg)	117,00
Fósforo (mg)	430,00
Magnesio (mg)	91,00
Nitrógeno (mg)	63,00
Cobre, expresado como Cu mg/100g	0,31
Hierro mg/100g	2,27

Fuente: Arroyave Bejarano y otros¹³ Roselin y ROCHA, Luis Alfonso. Reporte técnico de la harina de banano. Corbanacol. Fundación Social Banacol. (2009). 5 p.

Métodos

Caracterización fisicoquímica de la harina de banano verde con cáscara

La harina de banano con cáscara fue caracterizada empleando los métodos estandarizados por la AOAC (2007)¹⁹. Las propiedades evaluadas fueron: humedad, cenizas, proteína, nitrógeno, grasa, carbohidratos, calorías, cloruros, fibra dietaria total, fibra dietaria soluble y fibra dietaria insoluble.

Preparación del pan tajado

El proceso de elaboración del pan tajado con diferentes mezclas de harina de trigo y de banano verde con cáscara se realizó en la planta de alimentos de la Corporación Universitaria Lasallis-

ta. De acuerdo con un procedimiento determinado en la misma planta de alimentos, el pan fue obtenido por un método directo que consistió en mezcla de harina de trigo y de banano verde con cáscara al 61%, agua al 36% y, la sal, el azúcar y la levadura al 1% cada una, respectivamente. Todos los ingredientes fueron mezclados y amasados manualmente; después de un reposo de 10 minutos la masa fue nuevamente amasada mecánicamente en un cilindro marca CARVI durante 15 minutos. La masa se dejó reposando 10 minutos antes de ser llevada a la cámara de fermentación marca GHERSON'S a 35°C durante 1 hora y 40 minutos en porciones de 180 g. Posteriormente, las porciones fueron horneadas en un horno marca CITALSA a 165°C durante 45 minutos. Finalmente, el tajado se realizó a las 17 horas siguientes en una tajadora marca THUNDERBIRD, modelo N° ARM-07A.

Una vez obtenido el pan fresco se almacenó a temperatura ambiente y se le realizaron las pruebas de actividad acuosa.

Actividad acuosa

La actividad acuosa se determinó por medio de un medidor AQUALAB marca DECAGON modelo SERIES 3 TE, con una exactitud de $\pm 0.003\%$. De acuerdo con el manual de instrucciones; el equipo fue calibrado con carbón activado cuya actividad acuosa es de 0.5; posteriormente se calibró con agua destilada que presenta una actividad de 1.

Para establecer la actividad acuosa de las muestras se tomó una porción de 1 cm desde la corteza hacia el centro de la rebanada de pan; posteriormente se colocó en el centro del portaobjetos del equipo y se realizó la lectura automática después de 5 minutos. La medición se llevó a cabo por triplicado.

Diseño de experimentos

Las variables objeto de estudio "porcentaje de sustitución del harina de trigo por harina de banano con cáscara" se definieron entre el 10% y 16% de sustitución. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el paquete Statgraphics versión 16. El diseño experimental empleado fue un diseño de mezclas de vértices extremos y mediante la metodología de superficies de respuesta se encontró la región óptima. El orden de los experimentos se aleatorizó totalmente. Los arreglos para cada variable se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Arreglos para las variables consideradas en el estudio

Factor (componente en la mezcla)	Variable asociada	Nivel mínimo	Nivel máximo
Harina de banano verde con cáscara	X_1	10	16
Harina de trigo	X_2	84	90
Total		100%	

Fuente: elaboración propia

La cantidad de ingredientes totales se fijó en 100% ($X_1 + X_2 = 100\%$, $\sum x = 1$). Siguiendo el modelo experimental, el arreglo para cada variable es el siguiente:

$$x_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, q), \sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1 \quad (1)$$

Donde q representa el número de componentes en el sistema bajo estudio y x_i representa la proporción del i -ésimo componente en la mezcla. La sumatoria de la proporción de los componentes o su fracción debe ser igual a la unidad (100%). En la tabla 3, se presentan las combinaciones propuestas del diseño experimental por mezclas de vértices extremos ^{20,21}.

Tabla 3. Combinaciones de los diferentes porcentajes de mezcla entre la harina de trigo y la harina de banano verde con cáscara obtenida del diseño experimental por mezclas de vértices extremos

Mezcla	X_1 : harina de banano verde con cáscara	X_2 : harina de trigo
1	10,0	90,0
2	14,5	85,5
3	16,0	84,0
4	13,0	87,0
5	10,0	90,0

Fuente: elaboración propia

La variable respuesta tomada en cuenta en el diseño de mezclas fue la actividad acuosa en función de la temperatura. La optimización de las variables se realizó maximizando la función de "deseabilidad", con el fin de encontrar el porcentaje más adecuado de sustitución de harina de trigo por harina de banano verde con cáscara.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Caracterización del harina de banano verde con cáscara: en la tabla 4 se muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la harina de banano verde con cáscara.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de la harina de banano verde con cáscara

Propiedad	Valor
Humedad, %	9,02 ± 0,02
Cenizas, %	4,64
Proteína%	5,15
Nitrógeno %	0,82
Grasa %	1,99
Carbohidratos% (por diferencia de componentes)	79,2
Calorías kcal/100g (a partir de grasa, proteína, carbohidratos)	355,31
Cloruros (expresados como NaCl) %	0,71
Fibra dietaria total %	14,94
Fibra dietaria soluble %	2,47
Fibra dietaria insoluble % (a partir de fibra soluble y fibra total)	12,47

Fuente: elaboración propia

Una de las propiedades más críticas en la determinación de la calidad de las harinas es la humedad; de allí que el Codex Standard 152-1985 haya determinado un contenido máximo de humedad permitido en la harina de trigo, como referencia de harinas más empleada para consumo humano, en 15,5% m/m, aunque este contenido puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas y de almacenamiento de cada país²². El porcentaje hallado para la harina de banano verde con cáscara por ser inferior al de la harina de trigo puede ser considerado un aspecto positivo en formulaciones en las que se realicen mezclas de estas harinas para el desarrollo de productos perecederos como los panes, ya que la humedad es uno de los aspectos más críticos a controlar para el seguimiento de la calidad y la conservación de alimentos; de allí que estén establecidos límites máximos de humedad para la mayoría de productos procesados como: queso cheddar <39%, cereales preparados convencionales (4% a 8%), inflados (7% a 8%), etc²³.

De los resultados reportados, es importante resaltar que los valores de cada propiedad son muy similares a los reportados en la tabla 1; esto demuestra la estandarización de la calidad nutricional de la harina de banano verde con cáscara producida a partir de los desechos orgánicos de este cultivo del Urabá antioqueño, Colombia. Entre los valores nutricionales más representativos que pueden ser considerados como un aporte de esta materia prima en el producto de panificación a elaborar son los reportados para el yodo, el hierro y la fibra, responsables en las bondades atribuidas al banano y derivados sobre la salud, antes mencionados.

Relación de la actividad acuosa en función de la temperatura con la mezcla de harinas compuestas

La actividad acuosa (a_w), definida como la relación que existe entre la presión parcial de vapor de agua de una sustancia y la presión de vapor de agua del agua pura a la misma temperatura²⁴, es uno de los factores más críticos para determinar la calidad y seguridad de los productos que se consumen a diario, ya que afecta la vida útil, la seguridad, la textura, el sabor, y el olor de los alimentos. De esta forma el conocimiento de la actividad acuosa de cada alimento permitirá prever el comportamiento con respecto: al desarrollo de microorganismos, que se ve favorecido con valores de a_w altos; la oxidación de lípidos que se dará a menor velocidad a bajos valores (0,2 a 0,35); el pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard que puede provocar la modificación del sabor y reducción del valor nutritivo del alimento y puede propiciarse su desarrollo máximo en un rango entre 0,5 a 0,7 de a_w ; y las reacciones enzimáticas que comienza a manifestarse a partir de valores de 0,2 de a_w , aumentando considerablemente cuando se superan valores de 0,7 de a_w ²⁵.

A partir de los factores mencionados, se determinó la actividad acuosa del pan obtenido a partir de las diferentes mezclas de harina de trigo y de banano verde con cáscara, como se muestra en la tabla 5, con el fin de establecer los rangos que pueden afectar en menor medida la calidad de un pan tajado con nutrientes esenciales para la salud.

Se puede observar un comportamiento tanto dependiente como independiente de ambas harinas, debido a que sus comportamientos individuales tienen una relación directamente proporcional a la temperatura y la actividad acuosa; de forma contraria, ocurre cuando ambas harinas son mezcladas, presentando la relación inversa. Este comportamiento se puede confirmar con la aplicación de los modelos estadísticos aplicados en el diseño de vértices y el cálculo de los coeficientes estimados de la superficie de respuesta para las variables dependientes: la actividad de agua y la temperatura, como se muestra en la tabla 6. La harina de banano verde con cáscara y la harina de trigo aumentan la temperatura y la actividad de agua cuando se analizan de manera individual; caso contrario sucede con la mezcla entre ellas.

La tabla 7 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual minimiza la temperatura y la actividad de agua. También presenta la deseabilidad, procedimiento que ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales, que simultáneamente optimiza varias respuestas (temperatura y la actividad de agua). Cada una de las respuestas actualmente está establecida como, minimizar simultáneamente la temperatura y la actividad de agua.

Según la optimización de los resultados, el mínimo valor de temperatura y de actividad de agua se puede obtener si se formula con 14% de harina de banano verde con cáscara y 85.2% de harina de trigo. De lo contrario, si prepara el producto bajo condiciones de máxima temperatura y actividad de agua, se debería obtener una mezcla con 16% de harina de banano verde con cáscara y 84% de harina de trigo. Los valores obtenidos concuerdan con estudios previos sobre harinas compuestas en los que definieron porcentajes de sustitución óptimos de reemplazo en 15% de la harina de trigo con otro tipo de harinas como: harina de chachafuto, de soja, yuca, sorgo, entre otras^{26,27}. Estos estudios mencionados, al igual que los resultados presentados, buscan alternativas para obtener productos de panadería de aceptación organoléptica y con un beneficio adicional para la salud del consumidor, ya sea por el aumento de proteína o de micronutrientes, como es el caso del uso de la harina obtenida de los residuos de cáscara de banano verde.

Tabla 5. Actividad acuosa del pan a base de la mezcla de harina de trigo y harina de banano verde con cáscara

Mezcla (harina de banano verde con cáscara: harina de trigo)	Valores observados de Actividad acuosa, a_w	Valores ajustados de Actividad acuosa, a_w	Valores de temperatura observados	Valores de temperatura ajustados
1 (10,0:90,0)	0,903 ± 0,003	0,910	27,6	27,6
2 (14,5:85,5)	0,911 ± 0,001	0,910	28,1	28,1
3 (16,0:84,0)	0,918 ± 0,001	0,920	29,5	29,5
4 (13,0:87,0)	0,918 ± 0,002	0,930	27,9	28,25
5 (10,0:90,0)	0,939 ± 0,001	0,930	28,6	28,25

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Coeficientes estimados de la superficie de respuesta para las variables dependientes

Parámetro	Temperatura	Actividad de Agua
	Estimado ± DS	Estimado ± DS
β_1 : Harina de banano	29,50±0,49	0,9162±0,0110
β_2 : Harina de trigo	28,25±0,35	0,9288±0,0081
$\beta_1*\beta_2$	-3,10±2,32	-0,0607±0,0495
$\beta_1*\beta_2(\beta_1-\beta_2)$	-10,73±6,91	

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Optimización de los valores de la temperatura y la actividad de agua en los panes tajados obtenidos a partir de las diferentes mezclas de harinas

Variables	Niveles		Variable respuesta					
	Mínimo	Máximo	Temperatura		Actividad de Agua		Deseabilidad	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Harina de banano verde con cáscara	10	16	14	16	14	10	14	16
Harina de trigo	84	90	85.2	84	85.2	90	85.2	84

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Se determinaron los porcentajes de sustitución de la harina de trigo por harina de banano verde con cáscara para obtener los valores mínimos de actividad acuosa en función de la temperatura (14.5% y 16% de harina de banano verde con cáscara, respectivamente).

Los valores obtenidos son un punto de referencia para la estandarización y optimización del desarrollo de un producto de panificación, a partir del aprovechamiento de un producto obtenido de residuo orgánico de uno de los cultivos más importantes en el mundo y especialmente en Colombia.

La mezcla de una harina con alto contenido en micronutrientes es una de las alternativas para la oferta de un alimento funcional de gran aceptación en la comunidad.

REFERENCIAS

1. AULAR, J. Consideraciones sobre las pérdidas y el manejo postcosecha de frutas en Venezuela. En: Salamanca, G. (Ed.) Anales del II Seminario Hortofrutícola Colombiano y I Congreso Iberoamericano sobre Sistemas de Procesado. Ibagué-Tolima: 59-62. 2006.
2. KADER, A. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *En: Acta Hort.* 2005. Vol. 682. p. 2169-2175.
3. YEPES, S.; MONTOYA, L., y OROZCO, F. Valorización de residuos agroindustriales –frutas– en Medellín, el sur del Valle del Aburrá, Colombia. *En: Revista Facultad Agronomía. Universidad Nacional.* 2008. Vol. 61, No. 1. p. 442-443.
4. HINCAPIE, A. F. Uso del banano verde de rechazo y urea en el engorde de novillos cebú en un sistema de estabulación en la zona de Urabá. *En: Boletín técnico Cenibanano.* Abril de 2004. No. 5. p. 2-8.
5. AFANADOR, Angélica. El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante. *En: Revista EIA.* 2005. No. 3. p. 51-58.
6. VÉLEZ, L. y otros. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial. Aprovechamiento de la fibra dietaria de frutas y/o residuos de su transformación en la elaboración de productos de panificación y de maíz. *En: Revista Universidad del Cauca,* 2009. Vol. 7 n.º 2.

7. VARGAS REYES, José Leonel. Antecedentes del banano. [En línea]. [Citado el 12 de noviembre de 2010]. Url disponible En: <http://www.monografias.com/trabajos73/antecedentes-banano-platano/antecedentes-banano-platano2.shtml>
8. MORTON, Julia. Banana. Miami: 1987. [En línea]. [Citado el 2 febrero del 2009]. Url. disponible En: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/banana.html>
9. AFANADOR, Angélica. El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante. En: Revista EIA. Medellín. 2005. No. 3. p. 51-58.
10. MARTÍNEZ COVALEDA, Héctor; PEÑA MARÍN, Yadira y ESPINAL G., Carlos Federico. La cadena de banano en Colombia. [En línea]. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Observatorio Agrocadenas Colombia, Enero 2006. [Citado el 3 de mayo de 2009]. Disponible en: http://www.agrocadenas.gov.co/banano/documentos/caracterizacion_banano.pdf
11. GUTIÉRREZ, L. y RAMÍREZ, G. Comparación entre los contenidos de fibra dietaria total y fibra cruda de los alimentos descritos en la tabla de composición de alimentos colombianos. En: Vitae – Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquia. Sep. 1998 – Mar. 1999. Vol. 6, No. 1. p. 19-29.
12. ELÍAS, Luís. Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas. En: Temas de Actualidad. 1996. Vol. 121, No. 2. p. 179 – 182.
13. ARROYAVE BEJARANO, Roselin y ROCHA, Luis Alfonso. Reporte técnico de la harina de banano. Corbanacol. Fundación Social Banacol, 2009. 5 p.
14. VALERA, Jorge. Harina de plátano. [En línea]. Lima, Perú: [s.n], 2009. [Citado el 19 de septiembre de 2009]. Url disponible en: http://www.medicinasnaturistas.com/harina_platano_anorexia_ardor_estomago_caida_cabello_colesterol_diarrea_gastritis.php
15. DÁVILA, René. Harina de plátano macho para mejorar calidad nutricional de la población. [En línea]. México: Wordpress, 2009. [Citado 9 de agosto de 2009]. Url disponible en: <http://journalmex.wordpress.com/2009/04/08/harina-de-platano-macho-para-mejorar-calidad-nutricional-de-la-poblacion/>
16. LICATA, Marcela. Hierro. [En línea]. [Citado 7 de agosto de 2009]. Url disponible en: <http://www.zonadiet.com/nutricion/hierro.htm>
17. LICATA, Marcela. El yodo en la nutrición. [En línea]. [Citado 7 de agosto de 2009]. Url disponible en: <http://www.zonadiet.com/nutricion/yodo.htm>
18. LICATA, Marcela. El fósforo en la nutrición. [En línea]. [Citado 7 de agosto de 2009]. Url disponible en: <http://www.zonadiet.com/nutricion/fosforo.htm>
19. OFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNATIONAL (AOAC). Methods of Analysis. Gaithersburg: AOAC, 2007.
20. LEWIS, Gareth A. y MATHIEU, Didier. Pharmaceutical Experimental Design. New York: Marcel Dekker Inc. 1999, 498 p.
21. CORNELL, John. Experiments with mixtures. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2002, 649 p.
22. MÉXICO. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Norma Codex para la harina de trigo. Codex Stan 152.1985 (Rev. I.1995), (Diario oficial de la federación, 27 de julio de 2009).
23. VIGO, M. S.; et al. Estudios sobre alimentos tradicionales de humedad intermedia elaborados en la Argentina- En: Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. 1981. Vol. 21, No. 1. p. 91-99.

24. FENNEMA, Owen. Química de los Alimentos. 2a ed. España: Editorial Acribia S.A., 2000, p. 1258.
25. GIANNUZZI, I.; PARADA, J. L. Crecimiento de *Staphylococcus aureus* en medios sólidos de actividad acuosa inferior a 0,86. En: Rev. argent. Microbiol. 1991. Vol. 23, No. 2. p. 79-85.
26. HENAO, Sergio. Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación. Palmira, 2004, p. 128. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración.
27. SURCO, Juan C., ALVARADO, Juan A. Harinas compuestas de sorgo-trigo para panificación. En: Revista Boliviana de Química. 2010. Vol. 27, No. 1. p. 19 – 28.