

# UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Aplicación de un diseño proceso-mezclas en el desarrollo de galletas, con sustitución de harina de trigo por harina de plátano (*Musa acuminata* Cavendish), sin adición de azúcar

**Sistematización de experiencias prácticas de investigación y/o intervención**

**Camila Andrea Loaiza Torres**  
**María Gabriela Benítez Salgado**  
Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito, 16 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Aplicación de un diseño proceso-mezclas en el desarrollo de galletas, con sustitución de harina de trigo por harina de plátano (*Musa acuminata* Cavendish), sin adición de azúcar

**Camila Andrea Loaiza Torres**

**María Gabriela Benítez Salgado**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Danny Navarrete , MSc.

Firma del profesor

---

Quito, 16 de mayo de 2017

## Derechos de Autor

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

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_  
Nombres y apellidos: Camila Andrea Loaiza Torres  
Código: 00107135  
Cédula de Identidad: 1717279655  
Lugar y fecha: Quito, mayo de 2017

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_  
Nombres y apellidos: María Gabriela Benítez Salgado  
Código: 00108593  
Cédula de Identidad: 1722634654  
Lugar y fecha: Quito, mayo de 2017

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue desarrollar una galleta con sustitución parcial de harina de trigo por harina de plátano, con mejores condiciones nutricionales, que una galleta con 100% harina de trigo. Para esto se utilizó un diseño experimental de mezclas con variables de proceso en donde se evaluó, utilizando la metodología de superficies de respuesta (RSM), el efecto de la mezcla de las harinas (25%, 50%, y 75% de sustitución de harina de trigo por harina de plátano), la grasa (entre 46% y 54%) y el agua (entre 25% y 37.5%). Se utilizó una función de deseabilidad que determinó un nivel óptimo de agua y grasa con 30.67% y 46.24% del peso de las harinas respectivamente. Se evaluó sensorialmente a tres muestras con igual nivel de deseabilidad y se determinó que las formulaciones con 25% y 50% de sustitución de la harina no fueron significativas entre sí, por lo tanto, con el fin de maximizar el uso de la harina de plátano se seleccionó como formulación óptima a la formulación con 50% de sustitución de la harina de trigo por la harina de plátano. Se analizó la composición proximal de la formulación óptima y de una formulación con harina de trigo únicamente para comparar los efectos de la sustitución de la harina. Se obtuvo que existe una diferencia significativa entre ambas formulaciones. La muestra con 50% de harina de plátano presentó niveles más altos de fibra y carbohidratos; y niveles más bajos de cenizas, azúcares reductores y azúcares totales.

**Palabras clave: Diseño proceso-mezcla, Metodología de Superficies de Respuesta, Harina de Plátano, Galletas,**

## **ABSTRACT**

The objective was to develop a cookie formulation by partially substituting wheat flour with banana flour, achieving a greater nutritional content than a 100% wheat flour cookie. A mixture-process experimental design was used to evaluate, using the response surface methodology (RSM), the effect of the flour mixture (25%, 50% and 75% of flour substitution), the grease content (from 46% to 54%) and the water content (from 25% to 37.5%). A desirability function was used to determine an optimal level of grease (46.24%) and water (30.67%). Three formulations with an equal desirability level were evaluated sensorially, this led to the conclusion that formulations with 25% and 50% of flour substitution had no significant difference, so, in order to maximize the use of banana flour, the 50% flour substitution formulation was determined to be optimal. This last formulation and a 100% wheat flour formulation were chemically analyzed to determine their proximal composition and to observe the effects of the flour substitution. The results showed that there is a significant difference between both formulations; the 50% flour substitution formulation had higher contents of fibre and carbohydrates, while the 25% substitution formulation had higher contents of ashes, reducing sugars, and total sugars.

**Key words: Process-Mixture Design, Response Surface Methodology, Banana Flour, Cookies.**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
DESARROLLO DEL TEMA .....	11
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
MATERIAS PRIMAS .....	11
FORMULACIÓN DE LAS GALLETAS .....	12
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	12
PREPARACIÓN DE LAS GALLETAS .....	14
CARACTERIZACIÓN DE LAS GALLETAS .....	15
MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO Y LA ALTURA DE LA GALLETA .....	15
MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LA GALLETA .....	16
PÉRDIDA DE PESO AL HORNEAR DE LA GALLETA .....	16
ACTIVIDAD DE AGUA .....	17
ANÁLISIS SENSORIAL DE LAS GALLETAS ÓPTIMAS .....	17

COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS GALLETAS .....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO Y LA ALTURA DE LA GALLETA .....	20
MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LA GALLETA .....	22
PÉRDIDA DE PESO AL HORNEAR DE LA GALLETA .....	23
ACTIVIDAD DE AGUA .....	24
FUNCIÓN DE DESEABILIDAD .....	26
MEDICIÓN SENSORIAL DE LAS GALLETAS ÓPTIMAS .....	27
MEDICIÓN DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS GALLETAS.....	28
CONCLUSIONES .....	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32
ANEXO A: TABLA DE CORRIDAS DE LA EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA CON LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR .....	35
ANEXO B: SUPERFICIES DE RESPUESTA DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS, Y DE LA FUNCIÓN DE DESEABILIDAD .....	36
ANEXO C: TABLA DEL ANÁLISIS DE DESEABILIDAD .....	37
ANEXO D: TABLA DE EVALUACIÓN SENSORIAL .....	37

ANEXO E: TABLA DEL ANÁLISIS PROXIMAL DE LA GALLETA ..... 38



## INTRODUCCIÓN

El banano es el producto no petrolero que más se exporta en el Ecuador, con un total de 5.3 millones de toneladas métricas exportadas en el 2013 (FAO, 2015). El nivel de rechazo de la producción bananera en el Ecuador es del 16.96% (Gonzabay, s.f.), lo que implica \$820, calculados en función al precio del banano por tonelada métrica (FAO, 2015; Gonzabay, s.f.). Es decir, que se dejan de vender alrededor de 738 millones de USD anuales.

Por otro lado, la obesidad es uno de los problemas de salud pública globales más graves. Se calcula que en el 2014, 600 millones de adultos sufrían de obesidad y 41 millones de niños menores a 5 años sufrían de obesidad o sobrepeso. Esto conlleva a enfermedades secundarias como diabetes tipo 2, enfermedades coronarias, entre otras. Para apoyar al tratamiento contra la diabetes, se buscan alimentos con bajos índices glicémicos y altos contenidos de almidón. En sí, alimentos que tengan altos contenidos de carbohidratos no digeribles, con el fin de prevenir picos en los niveles de glucosa sanguínea al consumirlos (WHO, 2016).

Adicionalmente, el banano en su estado verde, es un alimento rico en minerales, tiene alto contenido de potasio y sodio, además en comparación a su versión madura, tiene contenidos más altos de

proteína y fibra cruda. El banano tiene altos índices de almidón, de fibra y de carbohidratos no digeribles, por tanto, su harina también presenta grandes cantidades de estos elementos (Pacheco-Delahaye, 2008).

Con el fin de lograr este tipo de alimentos, varios estudios se han realizado para desarrollar productos en los que la harina de trigo ha sido sustituida por: harina sin grasa de ajonjolí (Cleirici, et al., 2013), quínoa (Bick, et al., 2014), sorgo (Adeyeye, 2016), chufa (Bamigbola, et al., 2016), yuca y castaña (Bala, et al., 2015). En varios de estos, se ha logrado comprobar que, a pesar de que algunos de los parámetros físicos y químicos de los productos varían, la aceptación del consumidor se mantuvo en el mismo nivel; logrando productos con aspectos nutricionales mucho mejores que aquellos, solo a base de harina de trigo.

El objetivo del estudio fue desarrollar una galleta con sustitución parcial de harina de trigo por harina de plátano, empleando un diseño experimental de mezclas con variables de proceso y utilizando un diseño experimental de proceso-mezclas; además de: generar un uso alternativo para los plátanos que no cumplen con especificaciones de exportación en el Ecuador; sustituir el azúcar por edulcorante a base de stevia y aumentar sus características nutritivas, y finalmente

realizar una evaluación sensorial y química de las galletas óptimas obtenidas previamente con el modelo estadístico.

## **DESARROLLO DEL TEMA**

### **Materiales y métodos**

#### **Materias Primas.**

Los ingredientes utilizados en la formulación de las galletas fueron harina de plátano, harina de trigo fortificada sin polvo de hornear (HARINA YA fortificada con hierro como fumarato, niacina, excipientes, tiamina, riboflavina, ácido fólico, enzima y antioxidante E300), edulcorante a base de stevia apto para hornear, canela, clavo de olor y nuez moscada en polvo, sal de mesa, fermento químico, mantequilla sin sal pasteurizada, esencia de vainilla, yemas de huevo y agua purificada. Todos estos ingredientes fueron adquiridos en un supermercado local.

### **Formulación de las Galletas.**

Para la formulación de las galletas se estableció la cantidad de cada ingrediente como un porcentaje establecido en función a la cantidad de harinas total. Los factores utilizados fueron harina de trigo (25% - 75%), harina de plátano (25% - 75%), edulcorante (28%), huevo (44%), sal (1%), fermento químico (0.7%), una mezcla equitativa de los tres condimentos (0.7%), esencia de vainilla (2%), mantequilla (6%) y agua (22%). Cabe recalcar que los niveles de agua y grasa mencionados se utilizaron como base, y niveles variables de estos dos ingredientes fueron considerados en el diseño experimental explicado a continuación.

### **Diseño experimental.**

Se utilizó un diseño experimental avanzado de metodología de superficies de respuesta de optimización: diseño proceso-mezclas (*Mixture Process Model Design and Basics*) (Myers, et al., 2016).

Para empezar, un diseño de mezclas es un tipo especial de experimentos de superficie de respuesta, donde los factores son ingredientes o componentes de una mezcla, y la variable de respuesta es una función de la proporción de los ingredientes. Las proporciones de los ingredientes utilizados en la mezcla de harina para la elaboración de las galletas del experimento se miden en gramos. De

manera específica en este experimento, la mezcla consiste de  $q=2$  ingredientes. Los niveles de cada uno de estos factores deben formar una mezcla en su 100%, como se muestra en la ecuación (1) (Myers, et al., 2016).

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

Adicionalmente al modelo de mezclas, en esta experimentación se utilizó dos factores de proceso más que varían en la preparación. Es decir, factores que no son una mezcla pero que pueden afectar las propiedades de la misma (Myers, et al., 2016). Para solucionar esta disyuntiva, se realizó el diseño de mezclas en cada combinación de los tratamientos del diseño factorial donde se representan las combinaciones de los nuevos factores. Los niveles escogidos para dichos factores fueron, en su nivel alto 37.50% y 54% para agua y grasa respectivamente, y en su nivel bajo 31.25% y 48% respectivamente. Se utilizó un diseño *I-optimal* obtenido en el software de *Design Expert*, el cual busca ubicar un espacio reducido del diseño en el que la varianza es mínima (Montgomery, 2013). Esto quiere decir que es un modelo que minimiza el promedio de la varianza de predicción. Para obtener dicho modelo, fue necesario realizar 20 corridas, de las cuales, se tienen 12 requeridas por el modelo, 3 más para la falta de ajuste y 5 réplicas.

Finalmente, se utilizó la función de deseabilidad para poder

combinar las múltiples variables de respuesta al unificarlas en un solo modelo de optimización. Se trabajó con un modelo multiplicativo, que buscó proteger al resultado, del bajo rendimiento de cualquiera de las variables de respuesta. En la ecuación (2) se presenta la función de deseabilidad, siendo  $d_i$  las variables de respuesta unificadas y  $w_i$  los pesos asignados a cada variable:

$$D = d_1^{w_1} * d_2^{w_2} * d_3^{w_3} * d_4^{w_4} \quad (2)$$

### **Preparación de las galletas.**

Para la preparación de las galletas se inició pesando la cantidad específica de los ingredientes, después se procedió a colocar ambas harinas junto con la sal, los condimentos, el fermento químico y el edulcorante en el tazón de una batidora de pedestal (Planetary Mixer BM20, China). Utilizando una paleta tipo “*Raquete*”, se batió la mezcla por 1 minuto a velocidad baja, enseguida fueron adicionados los ingredientes líquidos y se procesó por 4 minutos a velocidad media.

Para la formación de las galletas se tomaron porciones de masa  $30 \pm 0.05$  gramos para cada una y sobre papel encerado se colocó la masa en latas, con ayuda de una cuchara se dió la forma circular característica de las galletas; posteriormente fueron horneadas en un horno eléctrico automático (Tecnipan Pratica, Brasil) por 16 minutos a

170 °C. Las galletas fueron enfriadas a temperatura ambiente y almacenadas en bolsas plásticas con cierre hermético.

### **Caracterización de las galletas.**

En el diseño experimental, las galletas fueron caracterizadas en función a cuatro variables de respuesta:

#### ***Medición del índice de relación entre el diámetro y la altura de la galleta.***

Para calcular los valores de altura y diámetro de la galleta, se realizó un promedio de tres mediciones realizadas a la galleta en tres puntos diferentes. Se trabajó con el promedio de las mediciones de 6 galletas de cada una de las corridas. Este índice se calculó al dividir el diámetro ( $D$ ) de las galletas para la altura ( $A$ ) de la misma (Jan, et al., 2016), utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de relación} = D/A \quad (3)$$

#### ***Medición de la densidad de la galleta.***

Para obtener el volumen aparente de la galleta se utilizó la metodología establecida por (Qiu, et al., 2015), con una ligera modificación. Se trabajó en función al desplazamiento de semillas de amaranto. Primero se introdujo la galleta en las semillas. Se midió el volumen desplazado de estas, y se determinó el volumen aparente de



la galleta mediante la igualdad: volumen sumergido es igual a volumen desplazado. Finalmente utilizando la relación entre la masa y el volumen se obtuvo la densidad de la galleta. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \text{Masa}/\text{Volumen} \quad (4)$$

### ***Pérdida de peso de la galleta al hornear.***

En base a los métodos establecidos por (Bick, et al., 2014), se realizó la medición del rendimiento de la masa de las galletas en función a la pérdida de peso de la galleta al hornear, es decir la diferencia porcentual entre el peso inicial de la masa en crudo y el peso final de la masa horneada. Para empezar, se tomó una muestra de 6 galletas de cada una de las corridas antes de hornear. Se las pesó utilizando una balanza semianalítica (MonoBlock PB3001-S, Estados Unidos) y se comparó con el peso final una vez horneadas, calculando la diferencia porcentual entre el peso final y el peso inicial.

### ***Actividad de agua.***

Para la determinación de la actividad de agua se utilizó una muestra de dos galletas por cada corrida. Se trituró las galletas y se utilizó una sonda para la medición de actividad de agua (Rotronic, Suiza).

### **Análisis sensorial de las galletas óptimas.**

El objetivo de la medición sensorial fue el evaluar a las galletas como nuevo producto en un mercado determinado para identificar el nivel de agrado de las galletas óptimas, obtenidas previamente. Tras elegir 3 galletas óptimas en base a los resultados obtenidos con la función de deseabilidad, se realizaron las pruebas sensoriales. Los participantes formaron parte de una población objetivo seleccionada y no recibieron ningún tipo de capacitación especial para realizar estas pruebas. La selección de la población objetivo se basó en la fórmula del tamaño de muestra para una población infinita (Fuentelsaz, 2004). Como describen Ulrich & Eppinger, por condiciones de accesibilidad, conocimiento y ubicación se trabajó con la población de la comunidad de la Universidad San Francisco de Quito, donde se realizó el estudio (Ulrich & Eppinger, 2012). Para los cálculos de la muestra, se trabajó con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 11% (Torres, 2006); alcanzando una muestra requerida de 80 personas. Sin embargo, en la prueba se tuvieron 5 participantes extras por lo que el tamaño final de la muestra fue de 85. Adicionalmente, en base al trabajo de Wells (Wells, et al., 2010), la segmentación realizada fue correcta fundamentada por el ambiente amigable y confiable de la universidad, lo que fue beneficioso para el participante y su desempeño en las pruebas. Las galletas se evaluaron en cuanto a

apariciencia, textura, sabor, gusto global y el nivel de dulzor. El nivel de agrado se evaluó con una escala hedónica de nueve puntos desde 9 (me gusta extremadamente) hasta 1 (me disgusta extremadamente (Chauban, et al., 2015), mientras el dulzor se evaluó con una escala JAR (Just about right). Dentro de la encuesta empleada para la prueba sensorial se utilizaron dos preguntas de filtro, que permitieron validar que los participantes sí formaban parte de la población objetivo. En cuanto a los detalles de la prueba, se presentaron galletas de un tamaño uniforme, servidas una por una en platos desechables blancos, a temperatura ambiente, horneadas el día previo a la prueba. El orden de presentación de las muestras se realizó de forma secuencial monádica a través de un diseño latino cuadrado mutuamente ortogonal para minimizar los efectos de contexto. Se realizó un diseño de bloques completamente aleatorizado y el análisis estadístico a través de un análisis de varianza en el software Minitab versión 16. A continuación se presenta el modelo matemático resultante de este análisis: (Ecuación 5):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

Donde  $y_{ij}$  indica la variable de respuesta,  $\mu$  representa la media de la variable estudiada,  $\tau_i$  indica el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\beta_j$  indica el efecto del  $j$ -ésimo bloque, y  $\varepsilon_{ij}$  muestra el error aleatorio. Finalmente  $i$  tomó valores de 1, 2 y 3; y  $j$  de 1 a 85.

### **Composición proximal de las galletas.**

Se realizó un análisis de: ceniza, humedad, carbohidratos, proteína, fibra, azúcares totales y azúcares reductores; utilizando metodología descrita por la AOAC. Se evaluó la galleta con mayor nivel de agrado según las pruebas sensoriales y una galleta a base de harina de trigo únicamente, con la que se comparó los resultados en función a la sustitución de la harina. Se realizó una prueba t para identificar si los resultados obtenidos tenían una diferencia significativa entre las dos formulaciones evaluadas.

### **Resultados y discusión**

Los resultados obtenidos para las distintas variables se muestran en el *Anexo A* y las superficies de respuesta obtenidas para cada variable se muestran en el *Anexo B*. Se identificó que los factores de la mezcla no son significativos para las variables de respuesta seleccionadas; sin embargo las variables de proceso, es decir la grasa y el agua si son significativos en la formulación. Se muestran los modelos en cada variable de respuesta donde  $x_1$  se refiere a la grasa y  $x_2$  se refiere al agua.

### **Medición del índice de relación entre el diámetro y la altura de la galleta.**

Los resultados obtenidos para el índice de relación entre el diámetro y la altura de la galleta varían entre 3.165 y 4.848. El modelo matemático obtenido (*Ecuación 6*) presenta como no significativas a las variables de mezclas, pero significativas a las variables de proceso. Es decir que la media representa a las variables de mezclas y un modelo cuadrático representa las variables de proceso. El modelo obtenido fue:

$$4.587 - 0.023x_1 + 0.019x_2 - 0.320x_1x_2 - 0.670x_1^2 + 0.067x_2^2 \quad (6)$$

Para este modelo se obtiene un valor p de 0.072 lo que implica que el modelo tuvo 7% de probabilidad de generarse debido a ruido o variabilidad; y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.482. La interacción entre el agua y la grasa es la fuente más significativa para el modelo con un coeficiente negativo de 0.320, es decir que es el término que más afectó el resultado de la variable de respuesta.

A partir de las gráficas de contorno (*Anexo B*) se pudo verificar que los valores de este índice de relación aumentaron para la interacción entre porcentajes intermedios de grasa y porcentajes altos de agua. Como se explica en el estudio de (Mudgil, et al., 2017), esto podría atribuirse a los niveles más bajos de proteínas disponibles para retener el agua sujeto a la disminución de gluten por la sustitución de

harina de trigo por harina de plátano. Adicionalmente en el mismo estudio, considerando mayor cantidad de grasa, se obtuvo un índice de relación mayor entre el diámetro y la altura; y menores valores de dureza en la galleta. El índice de relación entre el diámetro y la altura de la galleta, representa una medida de calidad, por lo tanto para obtener mejores galletas, se buscó maximizar esta variable (Mudgil, et al., 2017).

#### **Medición de la densidad de la galleta.**

Los resultados para la densidad aparente se ubican en un rango de 0.503 a 0.583. Al igual que el índice antes evaluado, las variables de mezcla se ajustan con la media (no significativas), y las variables de proceso siguen un modelo cuadrático ( $p < 0.05$ ) con un coeficiente de determinación de 0.534; donde el factor de agua es la fuente más significativa con un coeficiente de 0.011. Esto implica que la respuesta resultó más afectada con el aumento o disminución de este término que con otros términos del modelo. El modelo obtenido (*Ecuación 7*) fue:

$$0.510 + 0.006x_1 + 0.011x_2 - 0.002x_1x_2 - 0.026x_1^2 + 0.010x_2^2 \quad (7)$$

Esta variable de respuesta está directamente relacionada a la variable del índice de relación entre el diámetro y la altura de la galleta. Varios trabajos, como en (Jisha, et al., 2010)

demuestran que la densidad está inversamente relacionado al índice de relación entre el diámetro y la altura. Conforme aumenta la densidad, este índice disminuye. Por lo tanto para mantener características de calidad de la galleta se busca minimizar la densidad. En el análisis de los resultados de la densidad aparente (*Anexo B*), se encontró que para obtener soluciones con valores más pequeños de densidad, se necesitó niveles bajos de agua y niveles intermedios de grasa; esto se debe a que, las formulaciones con menores porcentajes de agua presentaron una mayor pérdida de peso y por tanto fueron más livianas.

#### **Pérdida de peso de la galleta al hornear.**

Para la pérdida de peso de la galleta al hornear se obtuvo con un coeficiente de determinación de 0.419, un modelo lineal ( $p < 0.05$ ) para las variables de proceso: grasa y agua. Las variables de mezcla fueron no significativas. Los valores de los resultados obtenidos para esta variable se encuentran entre 26% y 29%. El modelo obtenido fue (*Ecuación 8*):

$$0.280 + 0.0002x_1 - 0.001x_2 \quad (8)$$

Esta medición es de importancia puesto que el principal motivo de la pérdida de peso durante el horneado se refiere a la pérdida de agua de la masa de la galleta en el horno. Por lo que se busca

maximizar esta característica.

A partir de la experimentación y el análisis de las gráficas de contorno (*Anexo B*), se logró determinar que existe mayor pérdida de peso durante el horneado, cuando existen niveles bajos de agua y altos de grasa, considerando que a medida que aumenta el agua se gelatiniza el almidón presente en las harinas, la porción de agua que se evapora se mantiene prácticamente constante mientras que la cantidad adicional de agua presente en las muestras con nivel más alto de agua permanecen en la galleta adheridas a los almidones de la harina (Pineda-Gómez, et al., 2010).

#### **Actividad de agua.**

La actividad de agua es un concepto que hace referencia a la cantidad de agua libre que está disponible en los alimentos para el crecimiento microbiano. Todos los microorganismos necesitan una cierta cantidad de agua para vivir, crecer y reproducirse, por esta razón los métodos de conservación de alimentos se fundamentan, al menos parcialmente en la reducción de la disponibilidad de agua (Rockland & Stewart, 2013).

Los resultados de la actividad de agua se encuentran entre 0.801 y 0.855, a partir de un modelo cuadrático para las variables de proceso ( $p < 0.05$ ) y la media para las variables de mezcla, pues estas últimas



no son significativas. Con un coeficiente de determinación de 0.748 el modelo obtenido (*Ecuación 9*) fue:

$$0.840 + 0.004x_1 + 0.003x_2 + 0.004x_1x_2 - 0.029x_1^2 + 0.036x_2^2 \quad (9)$$

Se logró determinar que los valores más bajos de actividad de agua se obtuvieron con un nivel medio de agua y el nivel más alto de grasa. Esto se explica con el concepto antes analizado en la pérdida de peso, conforme aumenta el porcentaje de agua se gelatiniza el almidón de las harinas, pero la porción de agua que se evapora permanece constante mientras se retiene mayor cantidad de agua adherida a los almidones de la harina. Por otro lado, los valores de la actividad de agua aumentan en niveles intermedios de grasa y niveles extremos de agua.

En comparación con una galleta común que tiene un valor de actividad de agua menor a 0.600 (Sakac, et al., 2016), las galletas desarrolladas en el proyecto presenta valores elevados para esta característica. Para compensar algunas características físicas que se vieron afectadas por la sustitución total de azúcar (Cabeza Rodríguez, 2009), se aumentó en la formulación mayores porcentajes de agua que afectan directamente a esta variable de respuesta. Para que la galleta alcanzé una mayor duración y valores menores para la actividad de agua, se busca minimizar esta característica como punto prioritario, eligiendo así las condiciones donde se presentan los

menores valores para esta característica (Rockland & Stewart, 2013).

### **Función de deseabilidad.**

Con el fin de obtener un sólo resultado a partir de las distintas variables de respuesta seleccionadas en la experimentación, se utilizó la función de deseabilidad para unificar las mismas y obtener una respuesta óptima. Se utilizó una función de deseabilidad multiplicativa. Para determinar los valores de importancia dentro de la función de deseabilidad se utilizó un promedio entre el valor estadístico y la importancia que tiene la variable de respuesta frente a las otras. Se establece en el *Anexo C* el análisis utilizado a fin de obtener las galletas con mejores características para ser evaluadas a nivel sensorial por los posibles consumidores. La función de deseabilidad obtenida (*Ecuación 10*) se muestra a continuación

$$D = d_{AA}^{0.313} + d_D^{0.313} + d_{\left(\frac{D}{A}\right)}^{0.187} + d_{PP}^{0.187} \quad (10)$$

El análisis de deseabilidad arrojó 17 resultados con el mismo nivel de deseabilidad de 0.712 (*Anexo B*); en los que varía el nivel de sustitución de las harinas, ya que los factores de la mezcla resultaron no significativos en los modelos de cada una de las características analizadas. Sin embargo, como los factores de proceso fueron significativos en los modelos, mantienen valores constantes en cuanto

al nivel óptimo que debe utilizarse en la optimización de la formulación; estos son 46.24% para la grasa y 30.67% para el agua.

### **Medición sensorial de las galletas óptimas.**

Para el análisis sensorial se seleccionó tres galletas óptimas de las 17 formulaciones obtenidas mediante la función de deseabilidad; es decir que estas alcancen el nivel de deseabilidad de 0.712 antes calculado. La selección se realizó en función a la mezcla de las harinas puesto que el resto de factores permanecen constantes para la optimización de las variables ya estudiadas. Las tres formulaciones finales para el análisis fueron: la primera con 25% de harina de plátano, 75% de harina de trigo, 46.24% de grasa y 30.67% de agua; la segunda con 50% de harina de plátano, 50% de harina de trigo, 46.24% de grasa y 30.67% de agua; y finalmente la tercera con con 75% harina de plátano, 25% harina de trigo, 46.24% de grasa y 30.67% de agua. Se evaluó si existe una diferencia estadística en el nivel de agrado entre las diferentes muestras en relación a apariencia, sabor, textura y gusto global. Se obtuvo que las medias del nivel de agrado para los atributos de apariencia, sabor y gusto global son estadísticamente diferentes entre las 3 formulaciones evaluadas. Por otro lado, la media del nivel de agrado para la característica de textura no resultó significativa, es decir que no es estadísticamente distinta

entre las 3 formulaciones. En el *Anexo D* se muestra el nivel de agrado de cada una de las galletas en las distintas características. A pesar de que en la tabla se muestra una ligera superioridad del nivel de gusto entre la galleta de 25 y 50 por ciento de sustitución, el nivel de agrado no es estadísticamente diferente entre las dos formulaciones.

Se realizó un análisis de penalidades para la pregunta tipo JAR de dulzor, donde se obtuvieron los siguientes resultados: para las muestras de 25% de sustitución no se obtuvo penalidad sujeta a esta condición, para las muestras de 50% de sustitución se obtuvo una penalidad de 27.62% y finalmente para las muestras de 75% de sustitución se obtuvo una penalidad de 41.17%.

En función a los resultados obtenidos, se seleccionó la galleta de 50% de sustitución que permite maximizar el uso de la harina de plátano y a su vez mantener el nivel de agrado más alto según la población participante en la medición sensorial, estadísticamente.

### **Medición de la composición proximal de la galleta.**

Los resultados de la composición proximal de las dos muestras de galletas (50% harina de trigo con 50% harina de plátano y 100% harina de trigo), se presentan en el *Anexo E*, donde se puede ver que, existe diferencia significativa entre las muestras para proteína, ceniza

y fibra. Sin embargo, las características de humedad y grasa resultaron no significativas. La muestra con 50% de harina de plátano presentó niveles más altos de fibra y carbohidratos; y niveles más bajos de proteína, cenizas, azúcares reductores y azúcares totales.

La muestra con 50% de sustitución de harina presenta valores menores de cenizas a la muestra realizada con 100% harina de trigo; esto ocurrió debido a que, aunque la harina de plátano presente una cantidad mucho mayor de minerales, la harina de trigo encontrada en el mercado es una harina fortificada, es decir, contiene aditivos que aumentan su nivel de minerales y por tanto de cenizas.

Se realizó una medición de azúcares totales y una de azúcares reductores para cada una de las muestras, los valores obtenidos se muestran en el *Anexo E*. La cantidad de azúcares totales en la muestra hecha únicamente con harina de trigo era 60% más alta, y en el caso de los azúcares reductores había un incremento del 79%. Esto se debe a que las enzimas presentes en esta harina, que descompusieron el almidón presente en el edulcorante utilizado en azúcares más pequeños.

## CONCLUSIONES

Se logró desarrollar una galleta con sustitución de harina de trigo por harina de plátano utilizando un diseño experimental de proceso-mezclas, siendo esta metodología innovadora y apropiada para el tipo de estudio realizado. Las galletas desarrolladas tuvieron además la sustitución de azúcar por edulcorante a base de stevia y almidón, y un contenido más alto de fibra. Al analizar las 4 variables de respuesta, el diseño experimental no logró detectar significancia en la mezcla de las harinas, sin embargo sí lo hizo para las variables de proceso. La función de deseabilidad, determinó niveles de grasa y agua óptimas, lo que generó 17 formulaciones con un nivel de deseabilidad del 71%; de las cuales se escogieron 3 formulaciones con el 25%, 50% y 75% de sustitución de las harinas y se evaluaron sensorialmente.

Durante la evaluación sensorial se logró determinar que las galletas con 25% y 50% tenían estadísticamente el mismo nivel de aceptación y agrado en el segmento de la población seleccionado; con el fin de maximizar el uso de la harina de plátano se seleccionó como óptima a la formulación con 50% de sustitución; sin embargo se recomienda realizar un ajuste en cuanto a la cantidad de edulcorante utilizado para lograr una mayor puntuación en la escala hedónica. Se recomienda también realizar una investigación sobre los efectos de exponer el edulcorante a cocción en otros productos para determinar si el almidón existente en este producto se transforma en azúcar.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyeye, S. A. (2016). Assessment of quality and sensory properties of sorghum–wheat flour cookies. *Cogent Food & Agriculture*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1245059>
- Bala, A., Gul, K., & Riar, C. (2015). Functional and sensory properties of cookies prepared from wheat flour supplemented with cassava and water chestnut flours. *Cogent Food & Agriculture*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1019815>
- Bamigbola, Y., Awolu, O., & Oluwalana, I. (2016). The effect of plantain and tigernut flours substitution on the antioxidant, physicochemical and pasting properties of wheat-based composite flours. *Cogent Food & Agriculture*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1245060>
- Bick, M., Fogaça, A., de Oliveira, M., & Storck, C. (2014). Biscoitos com diferentes concentrações de farinha de quinoa em substituição parcial à farinha de trigo/Cookies with different concentrations of quinoa flour in partial replacement of wheat flour. *Brazilian Journal of Food Technology*, 121-129. Obtenido de <http://search.proquest.com/docview/1558848398?accountid=36555>
- Chauban, A., Saxena, D., & Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *Food Science and Technology*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Cleirici, M., de Oliveira, M., & Nabeshima, E. (2013). Qualidade física, química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim/Physical, chemical and sensory quality of cookies elaborated with partial substitution of wheat. *Brazilian Journal of Food Technology*, 139-146. Obtenido de <http://search.proquest.com/docview/1434844225?accountid=36555>
- Fuentelsaz, C. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra . *Matronas Profesión* , 5, pp. 5-13. Recuperado el 15 de octubre de 2016 desde: <https://ecaths1.s3.amazonaws.com/seminarioi/1400533589.1%20Muestreo.pdf>
- FAO. (2015). *Banana Market Review 2013-2014*. Obtenido de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Bananas/Documents/Banana\\_Information\\_Note\\_2014-\\_rev.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Bananas/Documents/Banana_Information_Note_2014-_rev.pdf)
- Gonzabay, R. (s.f.). Cultivo del Banano en el Ecuador. 113-142.



AFESE 58. Obtenido de

<http://www.afese.com/img/revistas/revista58/cultivobanano.pdf>

Jan, R., Saxena, D., & Singh, S. (2016). Physico-chemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten free cookies made from raw and germinated Chenopodium (*Chenopodium album*) flour.

*LWT - Food Science and Technology*. Obtenido de

<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.001>

Jisha, S., Sheriff, J., & Padmaja, G. (2010). Nutritional, Functional and Physical Properties of Extrudates from Blends of Cassava Flour with Cereal and Legume Flours. *International Journal of Food Properties*, 1002-1011. doi:10.1080/10942910902934090

Montgomery, D. (2013). *Design and Analysis of Experiments*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc

Mudgil, D., Sheweta, B., & Khatkar, B. (2017). Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT - Food Science and Technology*. Obtenido de

<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.009>

Myers, R., Montgomery, D., & Anderson-Cook, C. (2016). *Response surface methodology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Pacheco-Delahaye, E. (2008). Production and characterization of unripe plantain ("*Musa paradisiaca*" L.) flours. *Interciencia*, 290-296.

Obtenido de

<http://search.proquest.com/docview/748655992?accountid=36555>

Pineda-Gómez, P., Coral, F., Arciniegas, M., Rorales-Rivera, A., & Rodríguez García, M. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido.

*Ingeniería y Ciencias, Volumen 6*.

Qiu, J., Khalloufi, S., Martynenko, A., Van Dalen, G., Schutyser, M., & Almeida-Rivera, C. (2015). Porosity, Bulk Density, and Volume Reduction During Drying: Review of Measurement Methods and Coefficient Determinations. *Drying Technology*, 1681-1699.

doi:10.1080/07373937.2015.1036289

Rockland, L. B., & Stewart, G. F. (Eds.). (2013). *Water activity: influences on food quality: a treatise on the influence of bound and free water on the quality and stability of foods and other natural products*. Academic Press.

Sakac, M., Pestoric, M., Mandic, A., Misan, A., Nedeljkovic, N., Jambrec, D., . . . Sedej, I. (2016). Shelf-life prediction of gluten-free rice-buckwheat cookies. *Journal of Cereal Science*. Obtenido de

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.008>

Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. Universidad Rafael Landívar:

Boletín electrónico [en línea].[consultado 6.04. 2015] Disponible en:  
[http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_02\\_BAS02.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf).

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Product Design and Development*. St. Louis, Missouri: McGraw Hill.

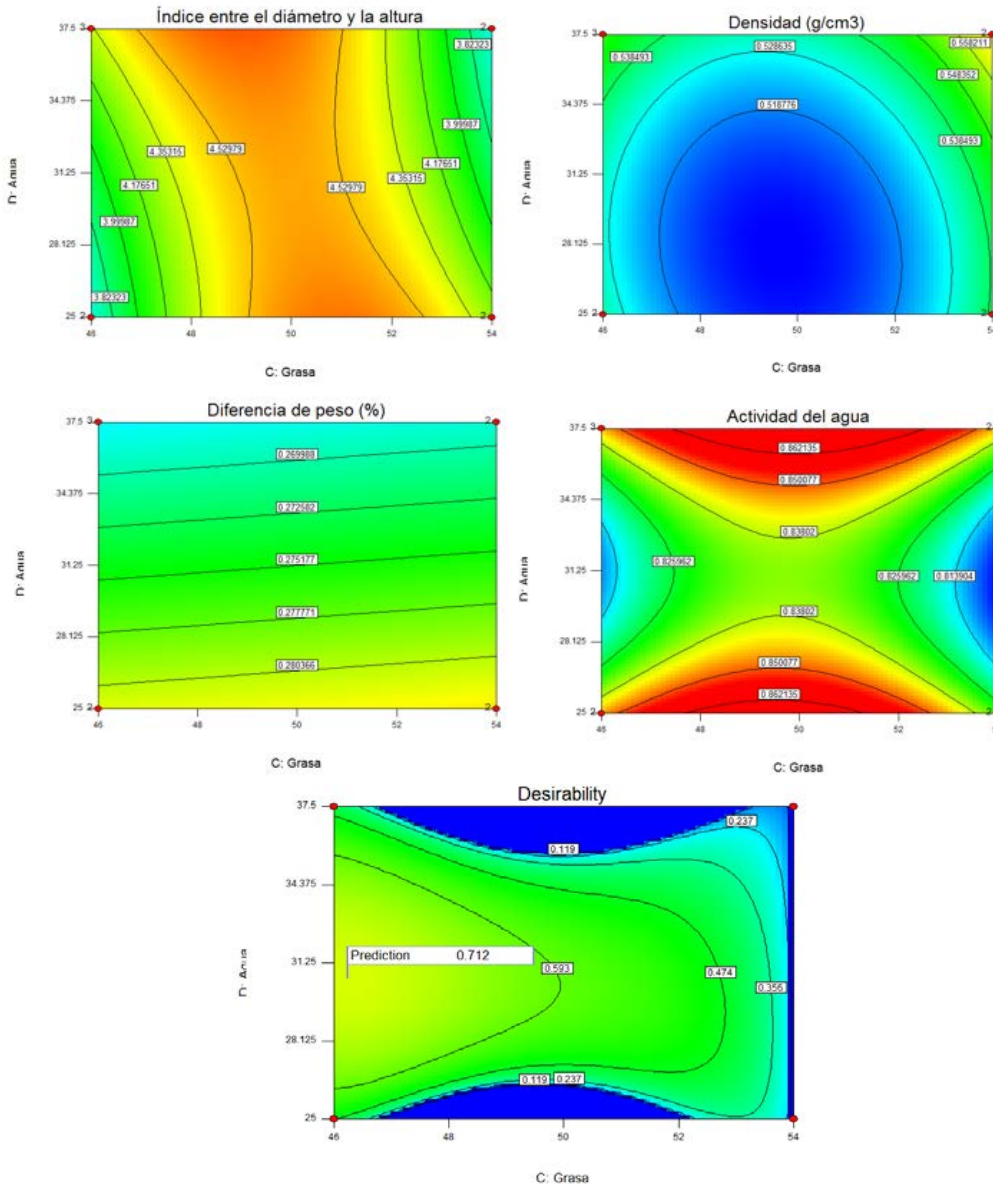
Wells, V., Chang, S., Oliveira-Castro, J., & Pallister, J. (2010). Market Segmentation From a Behavioral Perspective. *Journal of Organizational Behavior Management*, 176-198.  
doi:10.1080/01608061003756505

WHO. (2016). Obesity and Overweight Fact Sheet. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/>

**ANEXO A: Tabla de corridas de la experimentación y resultados de las variables de respuesta con la desviación estándar**

Corrida	Harina de plátano (%)	Harina de trigo (%)	Grasa (%)	Agua (%)	Índice de relación (D/T)	Densidad aparente	Rendimiento de la masa	Actividad de agua
1	50	50	54	37.5	3.62 ± 0.18	0.58 ± 0.02	0.262 ± 0.020	0.855 ± 0.000
2	75	25	54	37.5	3.17 ± 0.20	0.55 ± 0.02	0.256 ± 0.012	0.844 ± 0.010
3	37.5	62.5	54	31.25	3.89 ± 0.33	0.54 ± 0.02	0.276 ± 0.005	0.801 ± 0.000
4	50	50	46	37.5	3.39 ± 0.33	0.57 ± 0.01	0.256 ± 0.008	0.839 ± 0.001
5	50	50	54	37.5	4.00 ± 0.36	0.58 ± 0.01	0.276 ± 0.018	0.840 ± 0.011
6	25	75	46	37.5	4.16 ± 0.36	0.57 ± 0.03	0.265 ± 0.007	0.846 ± 0.010
7	75	25	54	25	4.71 ± 0.43	0.57 ± 0.01	0.276 ± 0.009	0.820 ± 0.011
8	50	50	46	37.5	4.66 ± 0.43	0.54 ± 0.02	0.265 ± 0.012	0.841 ± 0.007
9	25	75	54	37.5	3.80 ± 0.18	0.56 ± 0.02	0.270 ± 0.008	0.839 ± 0.005
10	50	50	46	25	3.42 ± 0.26	0.55 ± 0.02	0.265 ± 0.003	0.845 ± 0.004
11	75	25	46	25	4.11 ± 0.25	0.52 ± 0.01	0.270 ± 0.003	0.835 ± 0.005
12	50	50	46	37.5	4.63 ± 0.37	0.53 ± 0.01	0.267 ± 0.012	0.854 ± 0.004
13	75	25	46	37.5	4.85 ± 0.31	0.53 ± 0.01	0.270 ± 0.008	0.844 ± 0.009
14	62.5	37.5	50	31.25	3.99 ± 0.07	0.51 ± 0.01	0.267 ± 0.010	0.838 ± 0.015
15	50	50	54	25	3.94 ± 0.33	0.53 ± 0.01	0.294 ± 0.004	0.833 ± 0.013
16	25	75	54	25	3.66 ± 0.25	0.53 ± 0.02	0.267 ± 0.024	0.833 ± 0.003
17	25	75	50	28.125	4.61 ± 0.33	0.51 ± 0.02	0.294 ± 0.008	0.840 ± 0.001
18	50	50	54	25	4.42 ± 0.24	0.53 ± 0.02	0.285 ± 0.004	0.838 ± 0.001
19	25	75	46	25	3.74 ± 0.21	0.53 ± 0.02	0.294 ± 0.003	0.849 ± 0.000
20	50	50	46	25	3.34 ± 0.26	0.54 ± 0.02	0.285 ± 0.008	0.855 ± 0.000

## ANEXO B: Superficies de respuesta de las variables estudiadas, y de la función de deseabilidad



## ANEXO C: Tabla del análisis de deseabilidad

<i>Variable de</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Importancia</i>	<i>Solución</i>
--------------------	-----------------	--------------------	-----------------

<i>respuesta</i>			
Índice de relación (diámetro/ altura)	Maximizar	3	3.97659
Densidad aparente( $\frac{g}{cm^3}$ )	Minimizar	5	0.52837
Diferencia de peso (g)	Maximizar	3	0.27516
Actividad de agua	Minimizar	5	0.81335
<b>Deseabilidad</b>	<b>0.712</b>		

### ANEXO D: Tabla de evaluación sensorial

Mezcla harina	Apariencia	Sabor	Textura	Gusto global
25HP-75HT	5.9 ± 1.4 <sup>AB</sup>	6.0 ± 1.6 <sup>A</sup>	5.5 ± 1.9 <sup>A</sup>	6.4 ± 1.2 <sup>A</sup>
50HP-50HT	6.2 ± 1.3 <sup>A</sup>	5.8 ± 1.6 <sup>AB</sup>	5.0 ± 1.9 <sup>A</sup>	6.1 ± 1.4 <sup>A</sup>
75HP-25HT	5.6 ± 1.5 <sup>B</sup>	5.3 ± 1.7 <sup>B</sup>	5.1 ± 1.9 <sup>A</sup>	5.6 ± 1.5 <sup>B</sup>

\* HP = Harina de plátano

\* HT = Harina de trigo

\*\* <sup>A</sup> = Agrupación con media superior

\*\* <sup>B</sup> = Agrupación con media inferior

### ANEXO E: Tabla del análisis proximal de las galletas

	<b>50% + Stevia</b>	<b>Trigo + Stevia</b>

<b>Humedad (%)</b>	15.75 ± 0.07 <sup>A</sup>	16.62 ± 0.12 <sup>A</sup>
<b>Proteína (%)</b>	7.89 ± 0.07 <sup>B</sup>	9.66 ± 0.01 <sup>A</sup>
<b>Grasa (%)</b>	24.22 ± 0.13 <sup>A</sup>	23.52 ± 0.13 <sup>A</sup>
<b>Ceniza (%)</b>	1.63 ± 0.00 <sup>B</sup>	1.81 ± 0.01 <sup>A</sup>
<b>Fibra (%)</b>	0.89 ± 0.00 <sup>A</sup>	0.75 ± 0.00 <sup>B</sup>
<b>Carbohidratos tot. (%)</b>	49.64 ± 0.11 <sup>A</sup>	47.65 ± 0.11 <sup>B</sup>
<b>Azúcares totales (%)</b>	8.13	13.07
<b>Azúcares red. (%)</b>	6.19	11.1