

Optimización de harina para panqueques libres de gluten

**Christopher Alexis Villegas Ramos
George Anthony Zambrano Manobanda**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Optimización de harina para panqueques libres de gluten

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

Christopher Alexis Villegas Ramos
George Anthony Zambrano Manobanda

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Optimización de harina para panqueques libres de gluten

Christopher Alexis Villegas Ramos
George Anthony Zambrano Manobanda

Resumen. El mercado de productos libres de gluten se incrementado por el aumento de individuos celíacos, sensibles al gluten y alérgicos al trigo. Los objetivos de este estudio fueron determinar la mezcla de harinas similar en cuanto a características fisicoquímicas de un panqueque control sin gluten control, determinar la aceptación sensorial y etiquetado nutricional. La metodología se dividió en dos fases. La primera fase consistió en optimizar con una probabilidad de significancia del 10%, las formulaciones A y B con sus respectivos tratamientos, a base de harina de arroz blanco, de maíz o maicena y de yuca. Se usaron leudante y goma xantana como variables independientes. Las variables dependientes fueron la elasticidad, dureza e índice de absorción de agua. La metodología experimental usada fue con arreglo factorial completo 2^2 , y un diseño de Superficie Respuesta de Composición Central Rotacional. La segunda fase consistió en comparar las mezclas optimizadas en cuanto a características fisicoquímicas y nutricionales con un panqueque control. Las formulaciones A y B optimizadas fueron de 2.73 - 1.99% leudante, y 1.63 - 1.17% goma, respectivamente, fueron estadísticamente similares en sus características fisicoquímicas. Como resultado se obtuvieron similares concentraciones de nutrientes en las formulaciones optimizadas, bajas en sodio y tienen la mitad de azúcares libres comparado al control. Se obtuvo una mayor aceptación del control comparado con las formulaciones A y B optimizadas. La correlación de los atributos global y por género indicó una mayor preferencia en sabor dulce. Se recomienda utilizar ingredientes que potencien el sabor y color.

Palabras clave: Celíacos, goma xantana, leudante, superficie de respuesta.

Abstract. The market for gluten-free products has grown due to the increase of celiacs, sensitive to gluten and allergic to wheat. Objectives: determine the most similar mixture of flours in terms of physicochemical characteristics of a pancake without gluten control; determine sensorial acceptance and nutritional labeling. The methodology is divided into two phases. The first phase consisted in optimizing with a probability of significance of 10%, formulations A and B with their corresponding treatments, a base of white rice flour, corn starch and tapioca starch. Leudant and xanthan gum were used as independent variables. The dependent variables were the elasticity, hardness and the absorption index in the water. The experimental methodology was a complete factorial arrangement 2^2 , and a surface response with a Rotational Central Composition Design. The second phase was the comparison of optimized mixtures in terms of physicochemical and nutritional characteristics with a pancake control. Optimized formulations A and B were 2.73% - 1.99% leavening, and 1.63% - 1.17% gum, respectively, both were statistically similar in their physicochemical characteristics. The nutritional content for both optimized formulations is similar, they are low in sodium and have half of free sugars compared to the control. A greater acceptance of the control compared to optimized formulation A and B was obtained. The correlation of global and gender attributes indicates a greater preference for a sweet taste. It is recommended to use ingredients that enhance flavor and color.

Key words: Celiac, gluten free, surface response, xanthan gum.

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.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4. CONCLUSIONES.....	34
5. RECOMENDACIONES.....	35
6. LITERATURA CITADA.....	36
7. ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción del diseño experimental y los tratamientos.	5
2. Niveles de las variables en sus puntos factoriales, axiales y centrales.	6
3. Diseño experimental completo, niveles codificados y reales.	7
4. Índice de absorción de agua con dos variables independientes en formulación A..	12
5. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R ² de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de absorción de agua en formulación A.	13
6. Dureza (N) con dos variables independientes en la formulación A.	15
7. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R ² de un modelo de regresión polinomial aplicado para la dureza en formulación A.	15
8. Elasticidad (mm) con dos variables independientes en la formulación A.	17
9. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R ² de un modelo de regresión polinomial aplicado para la elasticidad en formulación A.	17
10. Índice de absorción de agua con dos variables independientes en formulación B..	20
11. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R ² de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de absorción de agua en formulación B.	20
12. Dureza (N) con dos variables independientes en la formulación B.	21
13. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R ² de un modelo de regresión polinomial aplicado para la dureza en formulación B.	22
14. Elasticidad (mm) con dos variables independientes en la formulación B.	24
15. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R ² de un modelo de regresión polinomial aplicado para la elasticidad en formulación B.	24
16. Promedios y desviación estándar de análisis fisicoquímicos entre las formulaciones A y B optimizadas y el control.	27
17. Promedios y desviación estándar de análisis proximal entre las formulaciones de A y B optimizadas.	28
18. Comparación del etiquetado nutricional de las formulaciones A y B optimizadas y el control.	29
20. Promedios y desviación estándar de color, olor y textura en formulaciones A y B optimizadas y control.	31
21. Promedios y desviación estándar de sabor, dulzura y aceptación en formulaciones A y B optimizadas y control.	32
22. Análisis sensorial del atributo de textura en el panqueque control y las formulaciones A y B óptimas, por género.	32
23. Correlación entre los atributos y la aceptación general.	33

Figuras	Página
1. Gráfica explicativa de tratamientos decodificados y codificados. m= Puntos centrales (tratamiento 9, 10, 11, 12), α = Puntos cuadráticos, 1= Puntos axiales ...	5
2. Flujo de proceso de elaboración de panqueques.	8
3. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre el índice de absorción de agua (IAA) en la formulación A.	14
4. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la dureza (N) en la formulación A	16
5. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la elasticidad (mm) en la formulación A.	18
6. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas, mostrando las proporciones óptimas para la formulación A. ...	19
7. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre el índice de absorción de agua (IAA) en la formulación B.	21
8. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la dureza (N) en la formulación B.	23
9. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la elasticidad (mm) en la formulación B.	25
10. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas, mostrando las proporciones óptimas para la formulación B...	26

Anexos	Página
1. Etiqueta nutricional de la formula 'A & B' mediante el programa Food Processor.	41
2. Etiqueta nutricional del control.	42
3. Formato de análisis sensorial.	43
4. Correlación entre los atributos y la aceptación general en mujeres.	44
5. Correlación entre los atributos y la aceptación general en hombres.	44
6. Promedios y desviación estándar de color, olor y textura en formulaciones A y B optimizadas y control, en mujeres.	45
7. Promedios y desviación estándar de sabor, dulzura y aceptación en formulaciones A y B optimizadas y control, en mujeres.	45
8. Promedios y desviación estándar de color, olor y textura en formulaciones A y B optimizadas y control, en hombres.	46
9. Promedios y desviación estándar de sabor, dulzura y aceptación en formulaciones A y B optimizadas y control, en hombres.	46

1. INTRODUCCIÓN

En la última década el mercado global de productos sin gluten ha tenido un crecimiento significativo, principalmente por el aumento de individuos que practican una dieta libre de gluten. La dieta sin gluten es un tratamiento específico para los individuos que padecen de enfermedad celíaca, sensibilidad no celíaca y alergia al trigo. Sin embargo, se encuentra otro grupo de individuos aparentemente sanos que prefieren eliminar el gluten de su dieta por considerarla una alimentación más saludable. A pesar de la demanda, la disponibilidad de productos sin gluten es baja y apenas un pequeño porcentaje de éstos cumple con las recomendaciones nutricionales de la FAO/OMS (Estévez y Araya 2016).

La enfermedad celíaca (EC) es un trastorno autoinmune caracterizado por la respuesta inflamatoria intestinal crónica debida a la ingesta de gluten (Lasa *et al.* 2017). El riesgo de padecer esta enfermedad es alto en individuos con predisposición genética de los haplotipos HLA DQ2 y DQ8 (Liu *et al.* 2014). La prevalencia mundial de la EC se encuentra en 1/266 individuos (Gillot 2016). La mayoría de la información de EC proviene de Estados Unidos y Europa. En Estados Unidos la prevalencia ha incrementado desde 0.2% en 1975 hasta el 1% en la última década y en Europa se reporta una prevalencia de 2 al 3% en Suecia y Finlandia (Catassi *et al.* 2014). Aunque la información sobre la prevalencia de EC es escasa para Latinoamérica, existe información para Brasil (1/214), México (1/37), Argentina (1/167) y Chile (1/166) (Kratzer 2013, Aranda y Araya 2016). En Centroamérica, no hay estadísticas de celiaquía, sin embargo, Costa Rica y el Salvador han promovido la investigación y el desarrollo de este tema (Rodrigo y Peña 2013).

La sensibilidad al gluten no celíaca (SGNC) es una enfermedad emergente con sintomatología similar a la EC, pero sin pruebas diagnósticas específicas que se realiza a los celíacos, como biopsia intestinal y serología (Isasi *et al.* 2016). Debido a la dificultad de detección, en caso de sospecha y resultados negativos para la EC, se recomienda la dieta sin gluten. De encontrarse una mejoría, la persona es diagnosticada como sensible al gluten. No hay estadísticas por la complejidad de la SGNC, sin embargo, se estima que puede ser superior a la enfermedad celíaca (Molina *et al.* 2014).

La alergia al trigo se caracteriza por ser una reacción inmunológica adversa desencadenada por las proteínas del trigo, es menos frecuente que la EC y SGNC. Los expertos concuerdan en la falta de estadísticas más exactas en cuanto la EC por la cantidad de casos no diagnosticados. Por lo que una gran parte de los casos de EC, no son detectados si no se hacen pesquisas activas en la población (WGO 2012).

De acuerdo al Reglamento de Ejecución No 828 (R (UE) n° 828/2014 de la comisión, de 30 de julio de 2014), de la Unión Europea, la definición de un producto libre de gluten, es que no contenga una fracción proteica del trigo, el centeno, la cebada y la avena. No deben usarse sus variedades híbridas y derivados. El producto final debe ser declarado “sin gluten”, si este no contiene más de 20 ppm.

Para el presente estudio, no se utilizó leche ni huevos, siendo que ambos contribuyen a las alergias alimentarias más comunes (Savage y Johns 2015). Las materias primas seleccionadas que sustituyeron al trigo fueron la harina de arroz blanco, de maíz o maicena y de yuca. Esto contribuye a impulsar el uso de cultivos autóctonos de la zona y el desarrollo de pequeños y medianos productores.

La harina de arroz posee proteínas albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. Estas proteínas contribuyen a la formación y a la estabilidad de la emulsión (Mellado 2016). Tiene aminoácidos siendo la lisina y el triptófano los aminoácidos limitantes (Bock y Flores 2011). El almidón de yuca está conformado por amilosa (20%) y amilopectina (80%), carbohidratos que tienen propiedades funcionales como la retención de agua y solubilidad. Es utilizado en la industria alimenticia como coadyuvante de emulsificantes y ligante de agua (Ramírez Chicas 2015). La fécula de maíz o maicena posee amilosa y amilopectina siendo esta la más abundante. Su proteína consiste de zeína, glutelinas y ácidos grasos mono insaturados, poliinsaturados y saturados en bajas cantidades (Mera 2015).

La limitante del estudio fue la dificultad de adquisición de harinas sin gluten. El estudio tiene un alto impacto, ya que en el mercado hondureño no se encontraron mezclas sin gluten y los pocos productos sin gluten encontrados en tiendas especializadas son de origen estadounidense y de alto costo.

La presente investigación propone el desarrollo de mezclas de harinas libres de gluten, siguiendo un método de preparación estandarizado para obtener un panqueque con características de textura aceptables por el consumidor. El presente estudio tuvo los siguientes objetivos:

- Determinar la mezcla de harinas que proporcione un panqueque similar en cuanto a las características fisicoquímicas de un panqueque control sin gluten.
- Definir la aceptación sensorial de las formulaciones optimizadas.
- Caracterizar el contenido nutricional de las mezclas optimizadas y diseñar el etiquetado nutricional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

El estudio se realizó en las siguientes localizaciones: Planta de Innovación de alimentos (PIA), el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ), el Laboratorio de Nutrición Humana (LNH) y el Puesto de Ventas situados en la Escuela Agrícola Panamericana, municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Materia prima.

Harina de arroz blanco, harina de tapioca marca Bob's Red Mill ®, almidón de maíz marca Maizena ®, vainilla negra marca Francelia ®, azúcar marca Suprema ®, polvo para hornear marca Bakery Club ®, mezcla de harina para panqueques sin gluten marca Cherrybrook Kitchen ® y goma xantana.

Fases del estudio.

Fase 1. Optimización de mezclas de harinas para la elaboración de panqueques con leudante y goma xantana.

Fase 2. Comparación de las mezclas optimizadas en cuanto a características fisicoquímicas y nutricionales con un panqueque control.

Equipos.

Los implementos usados en este estudio serán descritos en cada una de las fases

Fase 1. Optimización de mezclas de harinas para la elaboración de panqueques con leudante y goma xantana.

Con el fin de obtener una textura y característica química similar a la del control mediante la optimización de la mezcla de harinas, se definieron al leudante (%) y la goma xantana (%) como las variables independientes en el estudio. La elasticidad, dureza e índice de absorción de agua se definieron como las variables dependientes.

Se formularon dos productos cada uno con su propio proceso de optimización basado en las mismas variables independientes y dependientes. Por consiguiente, al final se escogió una formulación optimizada para cada producto y se realizó un análisis químico por el cual se determinó su contenido nutricional.

Formulación A: harina de arroz, harina de yuca, leudante, goma xantana, azúcar y vainilla.

Formulación B: harina de arroz, almidón de maíz, leudante, goma xantana, azúcar y vainilla.

La amplitud en el rango de las variables se determinó en base a las pruebas preliminares, ya que, en literatura citada, no hay una dosis máxima de leudante ni de goma xantana. De acuerdo al Codex Alimentarius, se deben seguir las Buenas Prácticas de Fabricación para estos aditivos (FAO 2018).

Diseño experimental. El cuadro 1 muestra la descripción de los tratamientos. La metodología experimental usada fue un arreglo factorial completo 2^2 , basado en un diseño de metodología de superficie respuesta con un DCCR (Diseño de Composición Central Rotacional) para definir el punto óptimo en cuanto leudante (%) y goma xantana (%) para las dos formulaciones de panqueques con características similares al control, con una probabilidad de significancia del 10%. Los parámetros del proceso establecidos como variables independientes estudiadas en tres niveles codificados (-1, 0, +1), se estableció de acuerdo a la ecuación 1.

$$x_i = [X_i - (Z / \Delta X_i)] \quad [1]$$

Dónde:

x_i = Valor codificado de la variable X_i

X_i = El valor real de la variable

Z = Valor real de la variable en el punto central

ΔX_i = Intervalo de la variable x_i

Este modelo presenta dos niveles de variables axiales, que son codificadas como $+\alpha$ y $-\alpha$. El valor de α depende del número factorial ($F=2^K$) del diseño y del número de variables independientes ($K=2$), en el caso de este experimento se definirá según la ecuación 2.

$$\pm \alpha = (f)^{1/4} = (2^K)^{1/4} = (2^2)^{1/4} = 1.4142 \quad [2]$$

Para calcular el número de tratamientos se utilizó un diseño factorial completo con la ecuación 3.

$$n = 2^K + 2K + m \quad [3]$$

Dónde:

2^K = Número de puntos factoriales

$2K$ = Número de puntos axiales

m = Número de repeticiones del punto centra

Se utilizaron dos variables independientes y dos variables codificadas para un total de 12 unidades experimentales. Distribuidas en: cuatro puntos factoriales -1 y +1, cuatro puntos axiales $-\alpha$ y $+\alpha$ y cuatro puntos centrales, considerando el error experimental y determinado la precisión del modelo matemático (Cuadro 1) (Figura 1).

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental y los tratamientos.

Puntos	Expresión	Tratamientos
Factoriales	$2^K = 2^2$	4
Axiales	$2K = 2 \times 2$	4
Centrales	M	4
		12

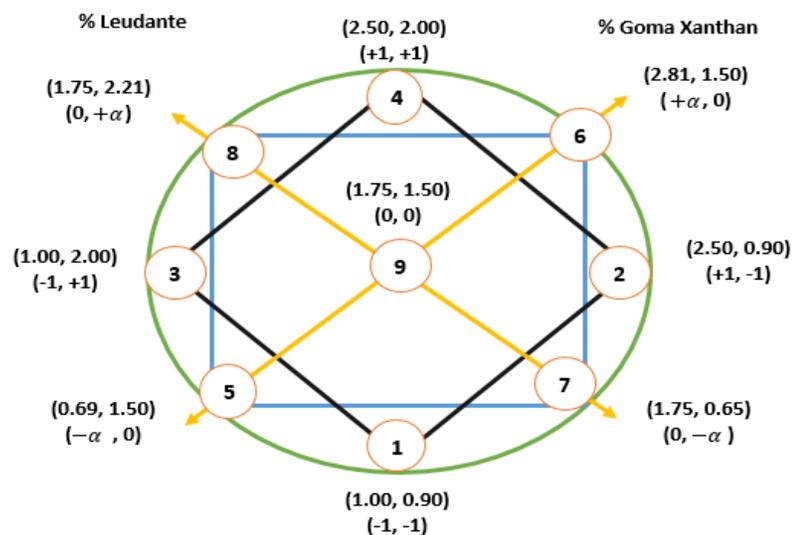


Figura 1. Gráfica explicativa de tratamientos decodificados y codificados. m = Puntos centrales (tratamiento 9, 10, 11, 12), α = Puntos cuadráticos, 1= Puntos axiales.

El análisis de los resultados experimentales describe el comportamiento del modelo de la combinación de variables independientes (X^K), las variables dependientes (respuesta= Y_i),

donde la respuesta se representó en función de los niveles que se combinaron los factores, en este caso se define con la ecuación 4.

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_K) \quad [4]$$

Se realizó un análisis de regresión lineal con un polinomio de segundo orden con las variables independientes (X^k) para cada variable respuesta (Y). La expresión general utilizada para predecir el comportamiento de cada respuesta se estableció de acuerdo a la ecuación 5.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon) \quad [5]$$

Dónde:

Y_i =Función respuesta

X_1 y X_2 =Valores de las variables independientes

β_0 =Coeficiente relativo con la interpretación del eje Y

β_1 y β_2 =Coeficientes lineales estimados por el método de mínimo cuadrados

β_{11} y β_{22} =Coeficientes de variables cuadráticas

β_{12} =Coeficiente de interacción entre las variables independientes

ϵ =Error experimental

Los niveles de las variables independientes son la combinación de todos los niveles, axiales ($\alpha = 1.4142$), puntos centrales (Cuadro 2) relacionado a las proporciones utilizadas.

Cuadro 2. Niveles de las variables en sus puntos factoriales, axiales y centrales.

Variables	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
% Leudante (X_1)	0.69	1.00	1.75	2.50	2.81
% Goma Xantana (X_2)	0.65	0.90	1.50	2.00	2.21

La significancia del modelo designado se determinó como predictivo o tendencioso. Se determinó predictivo si el R^2 es mayor a 70%, la falta de ajuste no es significativa y el F calculado es mayor al F tabular. Si no se cumple uno de estos factores el modelo es tendencioso. Se aplicó ANOVA y Regresión por pasos.

El diagrama de superficie respuesta junto con los coeficientes de regresión implementado en el (Cuadro 3), proporciona la obtención del análisis de varianza en secuencia del coeficiente de regresión, para la diagramación de la superficie respuesta respectiva.

Cuadro 3. Diseño experimental completo, niveles codificados y reales.

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles reales	
	% Leudante (X ₁)	% Goma Xantana (X ₂)	% Leudante	% Goma Xantana
1	-1	-1	1.00	0.90
2	1	-1	2.50	0.90
3	-1	1	1.00	2.00
4	1	1	2.50	2.00
5	-1.41	0	0.69	1.50
6	1.41	0	2.81	1.50
7	0	-1.41	1.75	0.65
8	0	1.41	1.75	2.21
9 ©	0	0	1.75	1.50
10 ©	0	0	1.75	1.50
11 ©	0	0	1.75	1.50
12 ©	0	0	1.75	1.50

©: Punto central del experimento.

Análisis estadístico. Por medio del programa Statistic versión 7.0, se utilizaron variables independientes codificadas para la obtención de los coeficientes de regresión y los valores reales para generar el gráfico de superficie respuesta. Se generaron ecuaciones de regresión para conocer el valor de las variables independientes a determinado valor de una variable dependiente. Finalmente, se establecieron los puntos óptimos de las variables independientes para la optimización de las variables dependientes.

Se realizó análisis de Test F con un 90% de confiabilidad y un 10% de error. El modelo fue clasificado como predictivo si cumplía con los siguientes tres criterios: $R^2 > 0.7$, falta de ajuste no significativa ($P > 0.1$) y F calculado mayor al F tabular referente. Al no cumplirse uno de estos criterios, el modelo se considera tendencioso.

Preparación de las mezclas de harinas para la elaboración de los panqueques. La preparación se llevó a cabo en la Planta de Innovación de alimentos (PIA) mediante, el flujo de proceso descrito en la figura 2. A través de pruebas preliminares se determinaron los parámetros a utilizar para la realización del panqueque. Primero, se realizó el pesado de los ingredientes en una balanza analítica. Luego, se adicionó agua a temperatura ambiente a la mezcla a una relación de 1.5:1 y se mezcló con batidora a velocidad 1 (25-50 rpm) por 2 minutos. Después, se dejó reposar a temperatura ambiente por 10 minutos. Se procedió a la cocción con plancha eléctrica rectangular, donde se utilizó 30 ml por cada panqueque a temperatura de 165 °C por 3.30 minutos para cada lado del panqueque.

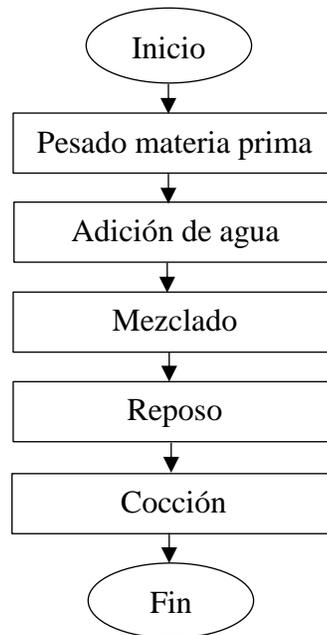


Figura 2. Flujo de proceso de elaboración de panqueques.

Análisis químico.

Índice de absorción de agua (IAA). Estructurado con el método de Anderson *et al.* (1970). Se buscó una granulometría inferior de 0.5 mm utilizando un tamizo de malla #150 μm . Luego, se pesaron las muestras de 1.000 ± 0.001 g en base húmeda y posteriormente se colocaron en tubos de centrífuga de 15 ml. Se adicionó 10 ml de agua destilada y se homogenizó con agitador tipo Vortex Mixer Fisher Scientific por dos minutos. Una vez homogenizado correctamente se trasladaron las muestras a un agitador con baño maría a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 minutos, a continuación, las muestras atemperadas a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ se colocaron en una centrífuga marca VWR Symphony 4417 a 4000 rpm por 15 min. Una vez removido el líquido sobrenadante se procedió a pesar el tubo junto al residuo centrifugado, el cálculo se representa en la ecuación 6.

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso del residuo centrifugado (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad [6]$$

Análisis físico.

Análisis de textura. Mediante el texturómetro Brookfield CT3 Instron, se usó una cuchilla de corte Warner-Bratzler con sonda de guillotina. El corte se realizó perpendicularmente al eje principal del panqueque hasta que se rompió por completo. Los parámetros de corte son: velocidad de prueba previa 1 mm s^{-1} ; velocidad de prueba 3 mm s^{-1} , distancia de corte de

25 mm en la muestra de panqueque y 1 N de carga de activación (Beitane *et al.* 2014). Los perfiles de textura se realizaron a la formulación A, B y el control.

Fase 2. Comparación de las mezclas optimizadas en cuanto a características fisicoquímicas y nutricionales con un panqueque control.

Análisis proximal. Se realizó análisis proximal a la formulación A y B optimizada. La etiqueta nutricional se realizó en base a los datos provistos por el análisis químico. El análisis proximal consistió de los métodos mencionados a continuación.

Determinación de humedad (AOAC 934.01). Se secaron los crisoles en el horno a 105 °C durante la noche. Usando una pinza se colocaron los crisoles (C) en el desecador por 30 minutos. Luego, con una balanza analítica, se pesó cuidadosamente con la pinza los crisoles identificados, al mismo tiempo se pesó aproximadamente 3 ± 0.005 g de la muestra, se agregó cada muestra en un crisol identificado y se registró el peso exacto (C + MH). Se metieron los crisoles al horno a 105 °C de 18-24 horas. Finalmente, se sacaron los crisoles del horno y se enfriaron en el desecador por 15 minutos. Se pesó cada crisol con la muestra seca (C + MS) y se anotó los datos. El cálculo de humedad de la muestra se realizó con la ecuación 7.

$$\% \text{Humedad} = \frac{(C + MH) - (C + MS)}{(C + MH) - (C)} \times 100 \quad [7]$$

Determinación de grasa (AOAC 991.36). Se pesó 3 ± 0.005 gramos de muestra (Pm) completamente homogenizada dentro de cada dedal de celulosa, se cubrió con celite la muestra, se introdujo perlas de vidrio dentro de la tasa de extracción y se anotó el peso. Después se introdujo en horno por 30 minutos a 105 °C, una vez transcurrido el tiempo se enfriaron con un desecador. Se transfirieron los dedales al equipo Soxtec 2050 donde se agregó 80 ml de éster de petróleo a cada muestra y se extrajo la grasa por 80 minutos. Las tazas en el equipo de extracción se secaron en horno a 105 °C por 30 minutos para luego ser pesadas una vez enfriadas (Taza + Extracto Etéreo). Se utilizó la ecuación 8.

$$\% \text{Grasa} = \frac{\text{EE (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad [8]$$

Determinación de proteínas (AOAC 2001.11). Se determinaron mediante el método de Kjeldahl, el cual determina el nitrógeno orgánico. Se pesó por duplicado 1 ± 0.005 g de la muestra previamente homogenizada sobre papel donde se colocaron en tubos de vidrio enumerados cada uno. Se le añadieron dos tabletas catalizadoras por tubo, se agregó 15 ml de ácido sulfúrico concentrado dentro de la campana de gases. Luego, los dos tubos se colocaron en la rejilla de tubos digestores, para iniciar el digestor FOSS a 550 °C por 2 horas. Después, se procedió a enfriar los tubos del digestor para iniciar el segundo proceso

con el destilador Kjeltex para obtener la solución de nitrógeno concentrado. El siguiente proceso se lleva por titulación con ácido clorhídrico 0.1 N para finalmente calcular el porcentaje de nitrógeno por medio de la ecuación 9.

Por medio de una digestión con ácido sulfúrico, destilación de amoníaco y titulación con ácido clorhídrico, el porcentaje de nitrógeno se multiplica por un factor de conversión (6.25) de acuerdo a la ecuación 10.

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(\text{Titulación} - 0.1) \times (0.0928 \times 14.1)}{10 \times \text{Peso inicial}} \times 100 \quad [9]$$

$$\% \text{Proteína} = \% \text{Nitrógeno} \times 6.25 \quad [10]$$

Determinación de cenizas (AOAC 923.02). Se incineraron los crisoles a 550 °C durante toda la noche en la mufla. Los crisoles secos (C) se pesaron después de enfriarlos en el desecador y se agregó en cada crisol aproximadamente 3 ± 0.005 g de muestra, anotando el peso exacto (C + MH). Se metieron los crisoles al incinerador a 550 °C por lo menos 6 horas o hasta que produzcan cenizas color gris claro. Luego, se apagó el incinerador y se enfrió a menos de 100 °C para finalmente enfriar los crisoles incinerados al desecador por 15 minutos. Se pesó cada crisol con la muestra incinerada (C + CZ). El cálculo de cenizas de la muestra se realizó con la ecuación 11.

$$\% \text{CZ} = \frac{(\text{CZ})}{(\text{MH})} \times 100 \quad [11]$$

Determinación de fibra cruda (AOAC 962.09). Se hizo por duplicado. Primero, se pesó 1 ± 0.005 g de muestra y un blanco. Se añadió la muestra en bolsas filtro las cuales fueron selladas y se les aplicó 11 ml de ácido clorhídrico (HCl) y 1500 ml de agua destilada. Se llevó a cabo la extracción en el equipo Ankom a una presión de 20-25 psi por 40 minutos. Al transcurrir las 24 horas, se hizo un lavado con agua destilada a 60 °C mediante agitación constante a 65 rpm por cinco minutos. Luego se colocaron las muestras en crisoles, los cuales se colocaron en una mufla a 550 °C por 24 horas. El porcentaje de fibra cruda se determinó mediante la ecuación 12.

$$\% \text{Fibra cruda} = 100 \times \frac{(\text{Pt} - (\text{Pi} \times \text{Pb}))}{(\text{Pm})} \quad [12]$$

Determinación de carbohidratos. Se obtuvo al realizar la diferencia de la suma de todos los nutrientes determinados en base a 100, de acuerdo a la ecuación 13.

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Grasa} + \% \text{Proteína} + \% \text{Cenizas} + \% \text{Fibra cruda}) \quad [13]$$

Análisis estadístico. Para el análisis sensorial y el análisis proximal se realizó una separación de medias DUNCAN con una probabilidad del 95% ($P < 0.05$) y un análisis de varianza ANDEVA mediante el programa SAS (Statistical Analysis Software) versión 9.4.

Análisis sensorial. Se realizó un análisis de aceptación para ambas formulaciones optimizadas y el control, los atributos evaluados fueron: color, olor, textura, sabor, dulzura y aceptación general. Contando con la participación de 100 panelistas no entrenados entre un rango de edad 18-65 años, en el puesto de ventas Zamorano. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos que proporcione información sustancial del producto, siento 1 “Me disgusta mucho” al 5 “Me gusta mucho”. Se utilizó agua y galleta soda como limpiador de paladar y se codificó cada muestra con tres dígitos con la finalidad de evitar factores que influyeron los veredictos sensoriales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Formulación A.

Índice de absorción de agua (IAA). En el cuadro 4 se muestran los resultados para el índice de absorción de agua de los tratamientos realizados. El análisis presenta un coeficiente de variación mayor al 70% ($R^2 = 0.93907$), lo que significa que el 93% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0.10$). En la prueba F, el valor F calculado de 50.78 fue mayor al F tabular de 3.006. Todos los factores se cumplieron, por lo que el modelo se clasificó como predictivo (Cuadro 5).

Cuadro 4. Índice de absorción de agua con dos variables independientes en formulación A.

Tratamiento	Leudante (%)	Goma xantana (%)	IAA
T1	1.00	0.90	2.264
T2	2.50	0.90	2.217
T3	1.00	2.00	2.812
T4	2.50	2.00	3.100
T5	0.69	1.50	2.618
T6	2.81	1.50	2.441
T7	1.75	0.65	2.181
T8	1.75	2.21	3.485
T9 ©	1.75	1.50	2.540
T10 ©	1.75	1.50	2.495
T11 ©	1.75	1.50	2.706
T12 ©	1.75	1.50	2.569

© Punto central del experimento.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de absorción de agua en formulación A.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	2.63802	0.0088430
X ₁ (L)	-0.011252	0.970462 ^{ns}
X ₁ ² (Q)	-0.076433	0.318667 ^{ns}
X ₂ (L)	-0.868355	0.116421 ^{ns}
X ₂ ² (Q)	0.446414	0.033896 [£]
X ₁ × X ₂	0.188044	0.185322 ^{ns}
Falta Ajuste		0.2063
R ²		0.93907
F. calculado		50.78
F. tabular		3.006

X₁: % de Leudante

X₂: % de Goma Xantana

£: significativo a < 0.10

^{ns}: no significativo

Se determinó el índice de solubilidad de agua mediante una ecuación matemática. El polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas de la ecuación 14.

$$IAA = 2.63802 + 0.4464X_2^2 \quad [14]$$

El gráfico de superficie de respuesta se generó de acuerdo a los resultados obtenidos. El IAA es influenciado por el tamaño de partícula, el grado de gelatinización y el almidón usado y dañado (Da Silva 2014). El almidón de arroz tiene una granulometría de bajo tamaño mientras que el almidón de yuca tiene una granulometría más alta (Clark 2014). La granulometría se encuentra en promedio a 16.5 µm y puede variar dependiendo de la variedad (Torres *et al.* 2013). La goma xantana es un compuesto polisacárido de D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico, hidrosoluble con alto peso molecular, utilizado por la industria como: emulsificante, espumante, estabilizante y espesante (FAO 2016). Al aumentar o reducir el porcentaje de goma xantana, el índice de absorción de agua tiene un comportamiento casi lineal (Figura 3). El índice de absorción de agua está relacionado con la capacidad que tiene una matriz de absorber y retener agua. El leudante no influye en el comportamiento, siendo incapaz de absorber y retener agua.

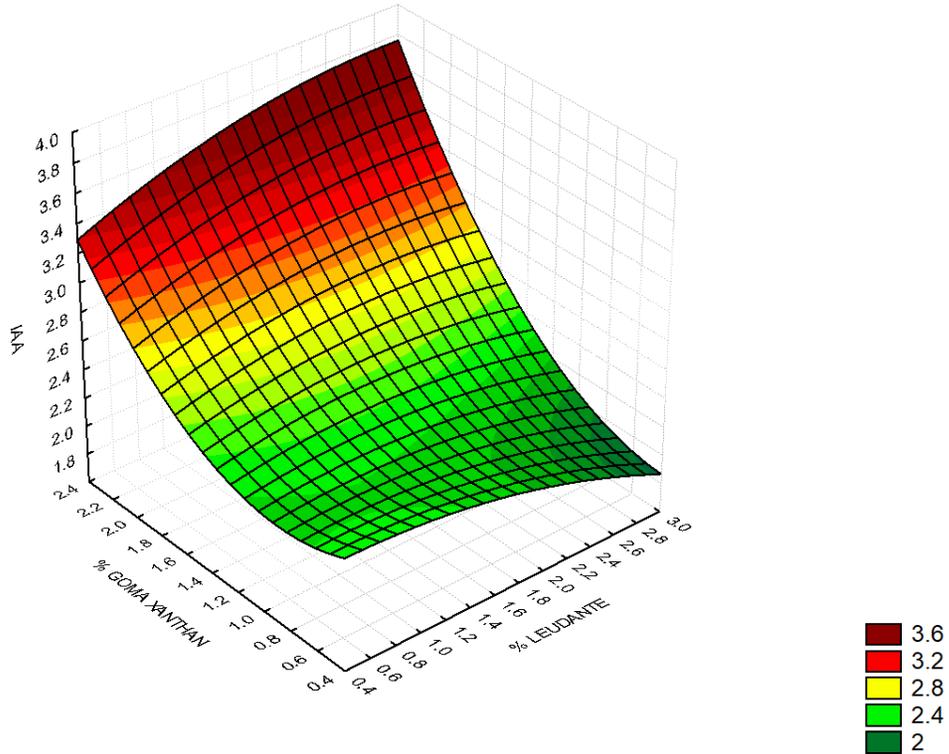


Figura 3. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre el índice de absorción de agua (IAA) en la formulación A.

Dureza. En el cuadro 6 se muestran los resultados para la dureza de los tratamientos realizados. El análisis presenta un coeficiente de variación mayor al 70% ($R^2 = 0.87712$), lo que indica que el 87% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0.10$). De acuerdo a la prueba F realizada, el valor F calculado de 25.82 fue mayor al F tabular de 3.285. Todos los factores se cumplieron, por lo que el modelo se clasificó como predictivo (Cuadro 7).

Cuadro 6. Dureza (N) con dos variables independientes en la formulación A.

Tratamiento	Leudante (%)	Goma xantana (%)	Dureza (N)
T1	1.00	0.90	5.909
T2	2.50	0.90	21.697
T3	1.00	2.00	19.898
T4	2.50	2.00	2.079
T5	0.69	1.50	19.432
T6	2.81	1.50	7.934
T7	1.75	0.65	6.786
T8	1.75	2.21	9.924
T9 ©	1.75	1.50	12.371
T10 ©	1.75	1.50	10.027
T11 ©	1.75	1.50	14.347
T12 ©	1.75	1.50	16.259

© Punto central del experimento

Cuadro 7. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para la dureza en formulación A.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	-46.30470	0.0357720
X ₁ (L)	24.0021	0.061844 [£]
X ₁ ² (Q)	0.9835	0.638096 ^{ns}
X ₂ (L)	56.7956	0.016608 [£]
X ₂ ² (Q)	-7.2621	0.132277 ^{ns}
X ₁ × X ₂	-20.6749	0.007738 [£]
Falta Ajuste		0.3895
R ²		0.87712
F. calculado		25.82
F. tabular		3.285

X₁: % de Leudante

X₂: % de Goma Xantana

£: significativo a < 0.10

ns: no significativo

Se presenta a continuación la ecuación matemática con la que se determinó la dureza (N) en el panqueque, el polinomio expresado es lineal de primer orden, el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas en la ecuación 15.

$$\text{Dureza (N)} = -46.3047 + 24.0021X_1 + 56.7956X_2 - 20.6749 X_1 \times X_2 \quad [15]$$

La dureza es la propiedad mecánica de la textura relativa a la fuerza requerida para deformar el alimento o para hacer penetrar un objeto en él. Los diferentes adjetivos de dureza son: suave, firme y duro (ISO 2008). La harina de arroz aporta consistencia y es muy utilizada en productos sin gluten. La harina de yuca es otro componente muy utilizado en la industria y se mezcla bien con la harina de arroz (Clark 2014). La goma xantana es usada en la industria como mejorador en la textura de productos sin gluten. El leudante contiene una mezcla de diversos compuestos leudantes para una mayor acción en su efecto para aumentar el volumen (Blanco *et al.* 2011). El efecto de la goma y del leudante indica una relación entre ambas. A bajos porcentajes de leudante y goma hay poca dureza, sin embargo, a altos porcentajes de leudante y goma se presenta la misma dureza antes descrita. Es probable que, al aumentar el volumen, la estructura generada por la goma soporta la cantidad de gas liberado sin reventar. A bajos porcentajes, la dureza es determinada por las harinas, las cuales son de características suaves (Clark 2014).

A un alto porcentaje de goma y bajo porcentaje de leudante o viceversa se presenta una alta dureza. El primer comportamiento se explica al haber un efecto reducido de leudante y por lo tanto, la goma no se expande. En el segundo caso, la goma es reducida y el efecto del leudante es alto, lo que implica que a un determinado punto la estructura se rompe y se libera el gas (Figura 4).

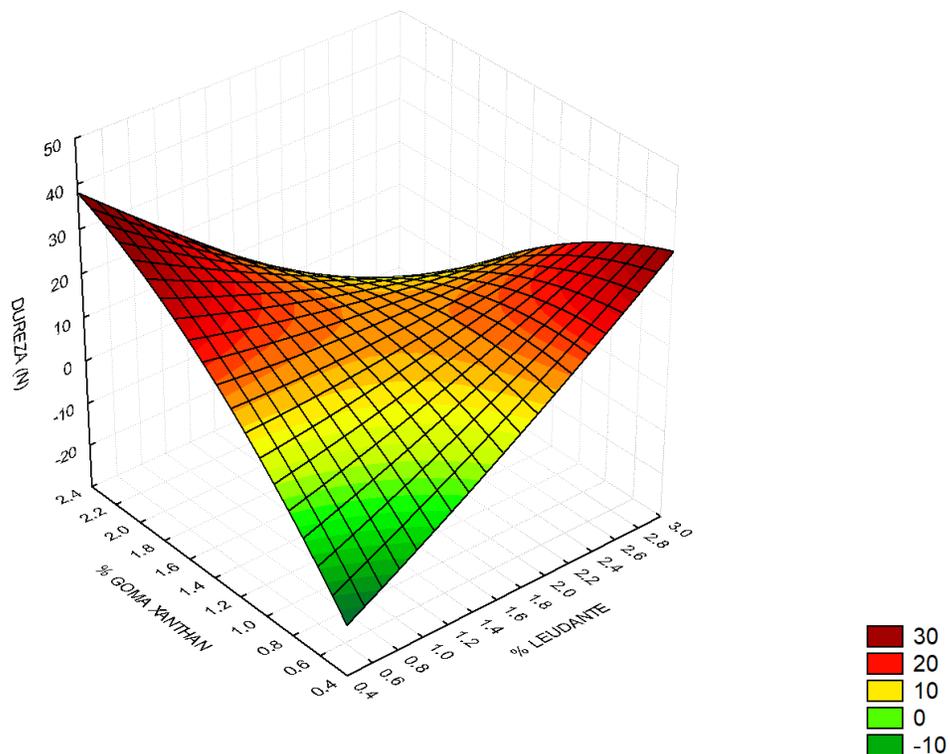


Figura 4. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la dureza (N) en la formulación A.

Elasticidad. En el cuadro 8 se muestran los resultados para elasticidad de los tratamientos realizados. El análisis para elasticidad presenta un coeficiente de variación mayor al 70% ($R^2 = 0.9578$), lo que indica que el 95% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste fue significativa ($P < 0.10$). De acuerdo a la prueba F realizada, el valor F calculado de 194.92 fue mayor al F tabular de 5.252. No todos los factores se cumplieron, por lo que el modelo se clasificó como tendencioso (Cuadro 9).

Cuadro 8. Elasticidad (mm) con dos variables independientes en la formulación A.

Tratamiento	Leudante (%)	Goma xantana (%)	Elasticidad (mm)
T1	1.00	0.90	3.97
T2	2.50	0.90	12.17
T3	1.00	2.00	12.06
T4	2.50	2.00	13.58
T5	0.69	1.50	14.23
T6	2.81	1.50	14.48
T7	1.75	0.65	2.49
T8	1.75	2.21	13.09
T9 ©	1.75	1.50	18.21
T10 ©	1.75	1.50	17.56
T11 ©	1.75	1.50	17.87
T12 ©	1.75	1.50	18.57

© Punto central del experimento

Cuadro 9. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para la elasticidad en formulación A.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	-50.43850	0.0001520
X_1 (L)	20.4495	0.000614 £
X_1^2 (Q)	-3.5546	0.001387 £
X_2 (L)	62.1255	0.000063 £
X_2^2 (Q)	-17.0321	0.000085 £
$X_1 \times X_2$	-4.288	0.003872 £
Falta Ajuste		0.0159
R^2		0.9578
F. calculado		194.92
F. tabular		5.252

X_1 : % de Leudante

X_2 : % de Goma Xantana

£: significativo a < 0.10

^{ns}: no significativo

Se determinó la elasticidad mediante una ecuación matemática. El polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas de la ecuación 16.

$$\text{Elasticidad (mm)} = -50.4385 + 20.4495X_1 - 3.5546X_1^2 + 62.1255X_2 - 17.0321X_2^2 - 4.288 X_1 \times X_2 \quad [16]$$

La elasticidad es la propiedad mecánica de la textura relativa a la rapidez de recuperación de la deformación después de la aplicación de una fuerza o bien al grado de dicha recuperación (ISO 2008). La harina de arroz posee propiedades hidrofóbicas por la estructura de las proteínas glutelinas, las cuales tienen puentes disulfuro formando agregados de alto peso molecular (Pincirolí 2010). Por lo tanto, no tiene buenas cualidades de elasticidad (Javaria *et al.* 2016). La harina de tapioca no posee proteína por lo tanto no es capaz de replicar las propiedades viscoelásticas del gluten. Para este tipo de harinas se considera necesario usar hidrocoloides como la goma xantana (Clark 2014). Algunos compuestos del leudante indican que posee propiedades estabilizantes de acuerdo al Codex Alimentarius, por lo tanto, ayudan en la formación de estructuras por medio de enlaces (FAO 2018). Se demuestra que usando los porcentajes más bajos de leudante y goma la elasticidad está en su punto mínimo por efecto de las harinas. A medida que se va incrementado la goma y el leudante hay una mayor elasticidad, sin embargo, su comportamiento es de campana. Por lo que, al alcanzar su máxima elasticidad, ésta bajará al aumentar o disminuir el porcentaje de leudante y goma (Figura 5).

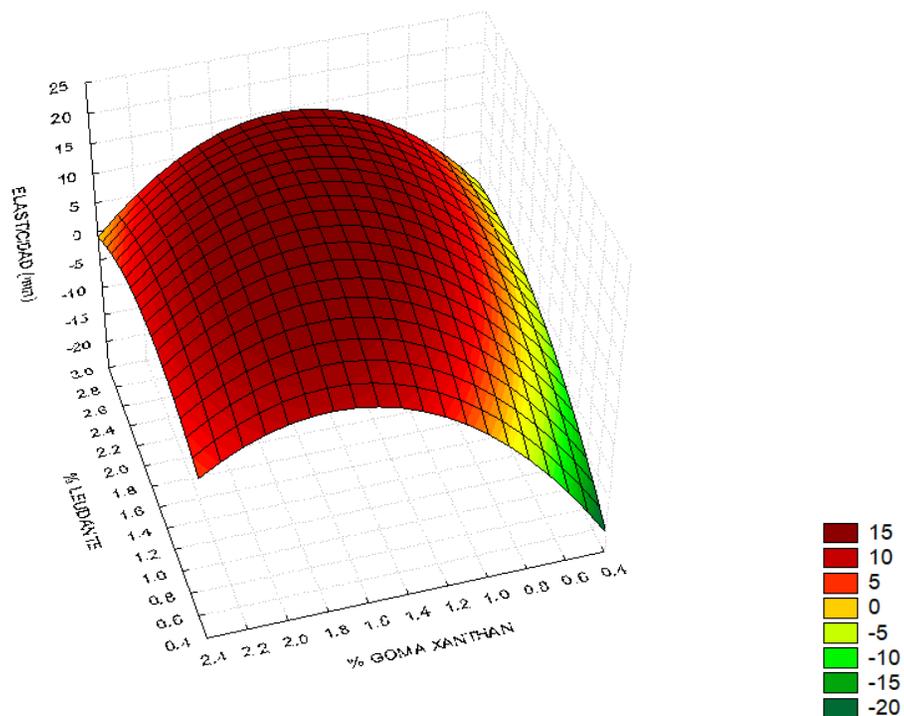


Figura 5. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la elasticidad (mm) en la formulación A.

Optimización. Se consideraron las variables dependientes índice de absorción de agua (IAA), dureza y elasticidad. Se optimizó usando los datos obtenidos del panqueque control en la deseabilidad. En la figura 6, se determinaron los niveles óptimos para obtener las características deseadas en la formulación A.

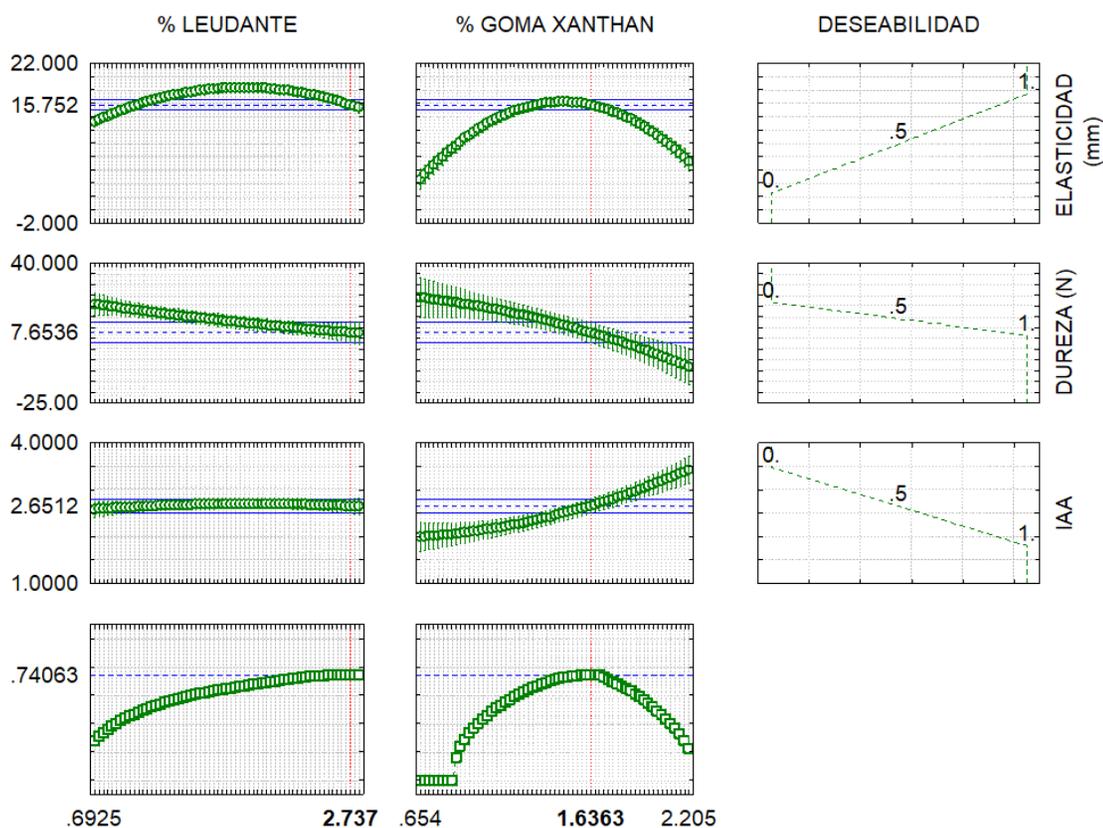


Figura 6. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas, mostrando las proporciones óptimas para la formulación A.

El punto óptimo se estableció en 2.73% de leudante y 1.63% de goma xantana para obtener las características más similares al panqueque control sin gluten.

Formulación B.

Índice de absorción de agua (IAA). En el cuadro 10 se muestran los resultados para índice de absorción de agua de los tratamientos realizados. El análisis presenta un coeficiente de variación mayor al 70% ($R^2 = 0.96409$), lo que significa que el 96% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($P > 0.10$). En la prueba F, el valor F calculado de 95.59 fue mayor al F tabular de 3.006. Todos los factores se cumplieron, por lo que el modelo se clasificó como predictivo (Cuadro 11).

Cuadro 10. Índice de absorción de agua con dos variables independientes en formulación B.

Tratamiento	Leudante (%)	Goma xantana (%)	IAA
T1	1.00	0.90	2.423
T2	2.50	0.90	2.435
T3	1.00	2.00	3.225
T4	2.50	2.00	3.323
T5	0.69	1.50	2.986
T6	2.81	1.50	2.687
T7	1.75	0.65	2.314
T8	1.75	2.21	3.550
T9 ©	1.75	1.50	2.770
T10 ©	1.75	1.50	2.796
T11 ©	1.75	1.50	2.876
T12 ©	1.75	1.50	2.687

© Punto central del experimento

Cuadro 11. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de absorción de agua en formulación B.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	2.583865	0.0060970
X ₁ (L)	-0.242783	0.387166 ^{ns}
X ₁ ² (Q)	0.03873	0.532467 ^{ns}
X ₂ (L)	-0.213998	0.574765 ^{ns}
X ₂ ² (Q)	0.323345	0.051967 [£]
X ₁ × X ₂	0.037459	0.717926 ^{ns}
Falta Ajuste		0.2788
R ²		0.96409
F. calculado		95.59
F. tabular		3.006

X₁: % de Leudante

X₂: % de Goma Xantana

£: significativo a < 0.10

^{ns}: no significativo

Se determinó el índice de solubilidad de agua mediante una ecuación matemática. El polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas de la ecuación 17.

$$IAA = 2.58387 + 0.323345X_2^2 \quad [17]$$

El gráfico de superficie de respuesta se generó de acuerdo a los resultados obtenidos. El IAA es influenciado por el tamaño de partícula, el grado de gelatinización y el almidón usado y dañado (Da Silva 2014). La granulometría del almidón de arroz oscila en promedio entre 2-7 μm , siendo una de las harinas más finas en granulometría. El almidón de maíz depende mucho del proceso de molienda aplicado. Si de la molienda se obtiene una granulometría de bajo tamaño, incrementa el contenido de almidón dañado permitiendo el incremento de absorción de agua (Clark 2014). Según Narváez *et al.* (2007), la granulometría del almidón de maíz es menor a $< 12 \mu\text{m}$. Se puede ver en la figura 7, que la goma tiene un efecto y el leudante no. A mayor porcentaje de goma, el índice de absorción de agua aumenta mientras que a bajo porcentaje disminuye la variable dependiente.

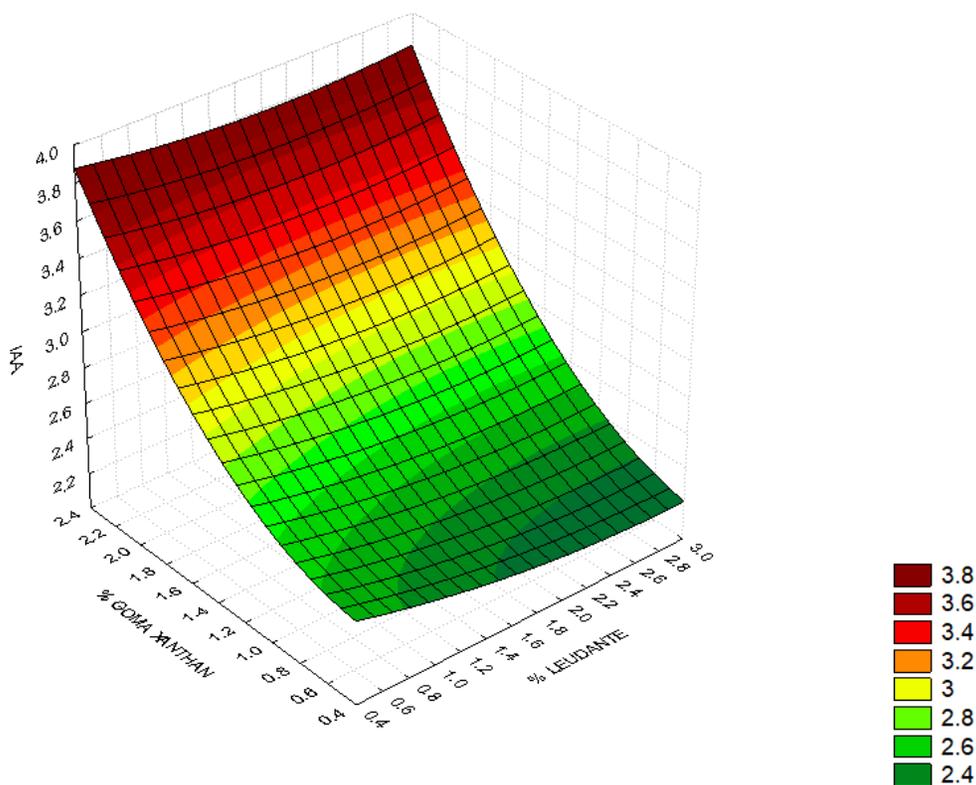


Figura 7. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre el índice de absorción de agua (IAA) en la formulación B.

Dureza. En el cuadro 12 se muestran los resultados para la dureza de los tratamientos realizados. El análisis presenta un coeficiente de variación menor al 70% ($R^2 = 0.57655$), lo que indica que el 57% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste fue significativa ($P < 0.10$). De acuerdo a la prueba F realizada, el valor F calculado de 72.61 fue mayor al F tabular de 3.405. Debido a que no se cumplieron todos los factores, el modelo se clasificó como tendencioso (Cuadro 13).

Cuadro 12. Dureza (N) con dos variables independientes en la formulación B.

Tratamiento	Leudante (%)	Goma xantana (%)	Dureza (N)
T1	1.00	0.90	12.030
T2	2.50	0.90	7.492
T3	1.00	2.00	9.865
T4	2.50	2.00	11.508
T5	0.69	1.50	23.967
T6	2.81	1.50	14.244
T7	1.75	0.65	13.872
T8	1.75	2.21	10.645
T9 ©	1.75	1.50	9.164
T10 ©	1.75	1.50	10.106
T11 ©	1.75	1.50	10.611
T12 ©	1.75	1.50	10.150

© Punto central del experimento

Cuadro 13. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para la dureza en formulación B.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	40.32160	0.0007980
X ₁ (L)	-27.7114	0.000669 [£]
X ₁ ² (Q)	5.678	0.000929 [£]
X ₂ (L)	-4.3434	0.200203 ^{ns}
X ₂ ² (Q)	-0.7668	0.410262 ^{ns}
X ₁ × X ₂	3.4326	0.018494 [£]
Falta Ajuste		0.0026
R ²		0.57655
F. calculado		72.61
F. tabular		3.405

X₁: % de Leudante

X₂: % de Goma Xantana

£: significativo a < 0.10

^{ns}: no significativo

Se presenta la ecuación matemática con la que se determinó la dureza (N) en el panqueque, el polinomio expresado es lineal de primer orden, el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas en la ecuación 18.

$$\text{Dureza (N)} = 40.3216 - 27.7114X_1 + 5.678X_1^2 + 3.4326X_1 \times X_2 \quad [18]$$

La dureza es la propiedad mecánica de la textura relativa a la fuerza requerida para deformar el alimento o para hacer penetrar un objeto en él. Los diferentes adjetivos de dureza son: suave, firme y duro (ISO 2008). La harina de arroz es suave y aporta consistencia. Las características del almidón de maíz dependen de su granulometría. Es muy usado en la industria por su facilidad de adaptación y se puede sustituir hasta un 50% en la mezcla de varios ingredientes (Clark 2014). La goma xantana es usada en la industria como mejorador en la textura de productos sin gluten. El leudante contiene una mezcla de varios aditivos para tener un mayor efecto leudante (Blanco *et al.* 2011). El efecto de la goma y del leudante indica una relación entre ambas. A bajo porcentaje de leudante independiente de la cantidad de goma se mantiene una alta dureza. Mientras que a altos niveles de leudante independiente de la cantidad de goma se mantiene baja la dureza.

Este comportamiento difiere de la formulación A. Según (Torres *et al.* 2013), hay una relación de contenido de amilosa/amilopectina y tamaño del gránulo lo que determina sus propiedades funcionales. Otros factores no evaluados pueden afectar el comportamiento de la masa, las cuales pueden ser temperatura y humedad (Cuevas *et al.* 2016). Es posible que haya un efecto significativo proveniente de uno o varios factores no considerados en el diseño experimental (Rodrigues y Iema 2015) (Figura 8).

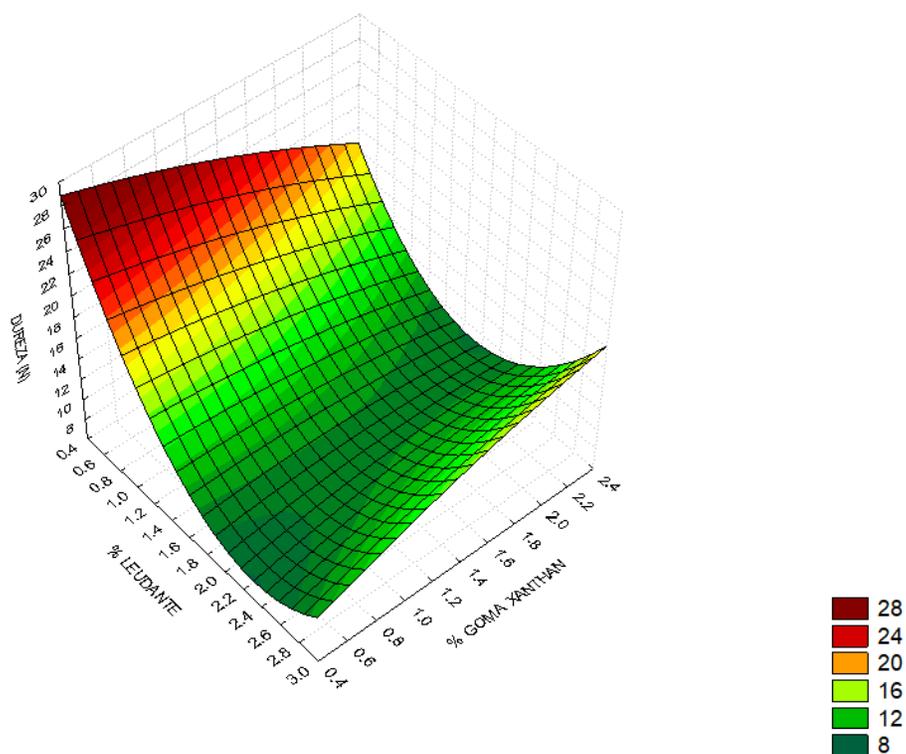


Figura 8. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la dureza (N) en la formulación B.

Elasticidad. En el cuadro 14 se muestran los resultados para elasticidad de los tratamientos realizados. El análisis para elasticidad presenta un coeficiente de variación menor al 70% ($R^2 = 0.49279$), lo que indica que el 49% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste fue significativa ($P < 0.10$). De acuerdo a la prueba F realizada, el valor F calculado de 65.56 fue mayor al F tabular de 5.252. Debido a que solo se cumplió uno de los tres factores, el modelo se considera tendencioso (Cuadro 15).

Cuadro 14. Elasticidad (mm) con dos variables independientes en la formulación B.

Tratamiento	Leudante (%)	Goma xantana (%)	Elasticidad (mm)
T1	1.00	0.90	2.89
T2	2.50	0.90	2.37
T3	1.00	2.00	1.92
T4	2.50	2.00	12.48
T5	0.69	1.50	11.26
T6	2.81	1.50	20.79
T7	1.75	0.65	16.19
T8	1.75	2.21	15.37
T9 ©	1.75	1.50	18.12
T10 ©	1.75	1.50	18.60
T11 ©	1.75	1.50	18.00
T12 ©	1.75	1.50	16.31

© Punto central del experimento

Cuadro 15. Coeficientes de regresión, probabilidad P, valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para la elasticidad en formulación B.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	-19.20050	0.0273810
X_1 (L)	16.5023	0.012736 [£]
X_1^2 (Q)	-6.4519	0.002762 [£]
X_2 (L)	24.6852	0.010964 [£]
X_2^2 (Q)	-12.0139	0.002817 [£]
$X_1 \times X_2$	6.7827	0.011185 [£]
Falta Ajuste		0.0021
R^2		0.49279
F. calculado		65.56
F. tabular		5.252

X_1 : % de Leudante

X_2 : % de Goma Xantana

£: significativo a < 0.10

^{ns}: no significativo

Se determinó la elasticidad mediante una ecuación matemática. El polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas de la ecuación 19.

$$\text{Elasticidad (mm)} = -19.2005 + 16.5023X_1 - 6.4519X_1^2 + 24.6852X_2 - 12.0139X_2^2 - 6.7827 X_1 \times X_2 \quad [19]$$

La elasticidad es la propiedad mecánica de la textura relativa a la rapidez de recuperación de la deformación después de la aplicación de una fuerza o bien al grado de dicha recuperación (ISO 2008). La harina de arroz posee propiedades hidrofóbicas por la proteína glutelina, influyendo negativamente en la elasticidad (Javaria *et al* 2016). El almidón de maíz no posee la elasticidad que proporciona el gluten. Se considera necesario usar hidrocoloides, enzimas y proteínas (Clark 2014). Algunos compuestos del leudante indican que posee propiedades estabilizantes de acuerdo al Codex Alimentarius, por lo tanto, ayudan en la formación de estructuras por medio de enlaces (FAO 2018).

El comportamiento en elasticidad indica una relación entre goma y leudante. El punto máximo se encuentra en el centro, se deduce que se comporta como una campana. A medida que se incrementa o disminuye el porcentaje de goma y leudante va a llegar a su punto máximo y después disminuye la elasticidad. Es posible que haya un efecto de factores externos al diseño evaluado en la variable dependiente. De acuerdo a (Baños *et al.* 2009), la textura es influenciada por factores como la temperatura y humedad (Figura 9).

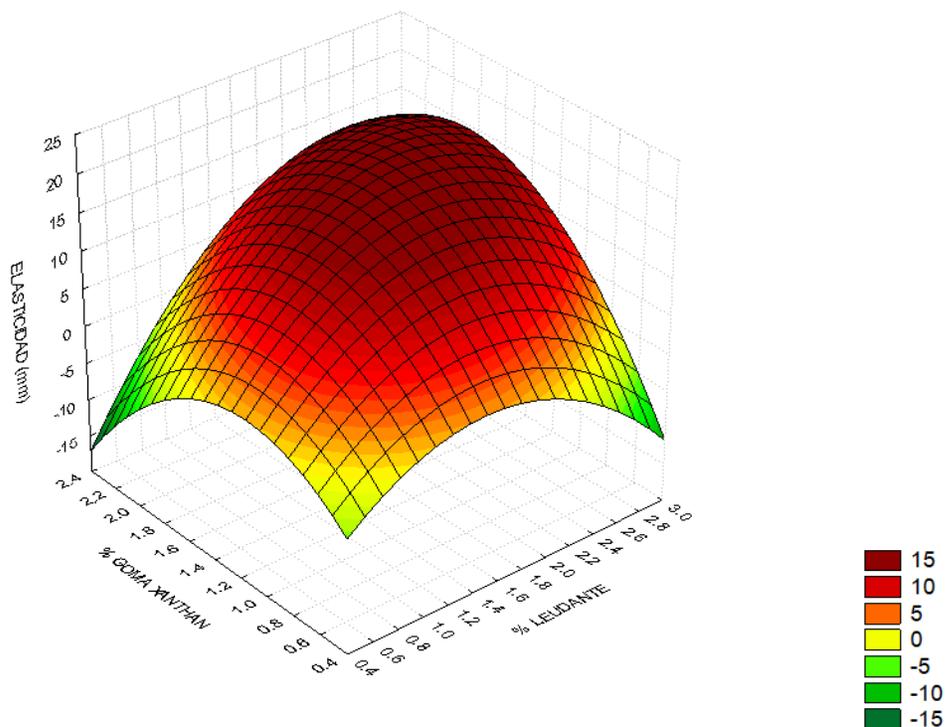


Figura 9. Efecto del porcentaje de goma xantana y porcentaje de leudante sobre la elasticidad (mm) en la formulación B.

Optimización. Se consideraron las variables dependientes índice de absorción de agua (IAA), dureza y elasticidad. Se optimizó usando los datos obtenidos del panqueque control en la deseabilidad. En la figura 10, se determinaron los niveles óptimos para obtener las características deseadas en la formulación B.

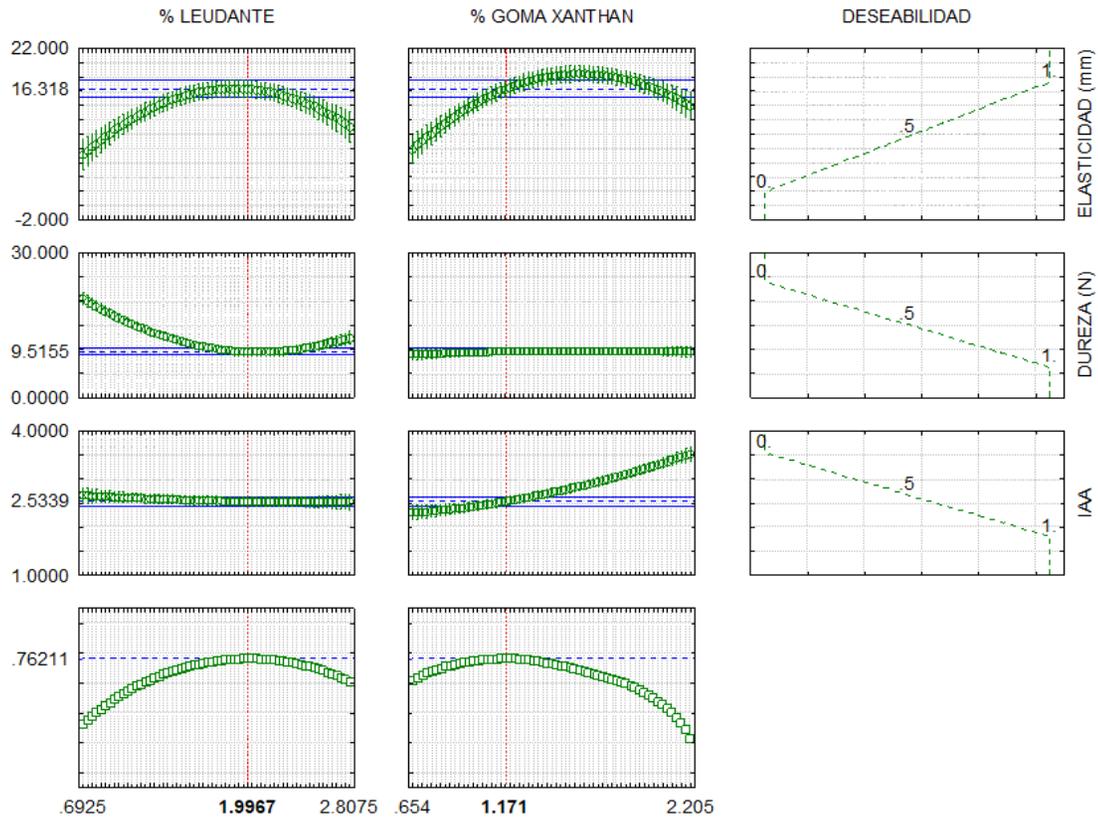


Figura 10. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas, mostrando las proporciones óptimas para la formulación B.

El punto óptimo se estableció en 1.99% de leudante y 1.17% de goma xantana para obtener las características más similares al panqueque control sin gluten.

Fase 2. Comparación de las mezclas optimizadas en cuanto a características fisicoquímicas y nutricionales con un panqueque control.

Comparación física entre formulaciones optimizadas y tratamiento control.

Para comprobar los resultados, se realizó el perfil de textura y el índice de absorción de agua a las formulaciones optimizadas con sus respectivos porcentajes de leudante y goma xantana. Se obtuvieron los siguientes resultados para la formulación A: elasticidad 15.74 mm, dureza 7.37 N e índice de absorción de agua de 2.42. Mientras que la formulación B tuvo una elasticidad de 15.68 mm, dureza 6.95 N e índice de absorción de agua de 2.29 (Cuadro 16).

Ambas formulaciones optimizadas son estadísticamente iguales con respecto al tratamiento control en elasticidad y dureza. Todos los tratamientos tienen como ingrediente la harina de arroz y se usa el mismo tipo de goma. Se puede apreciar que todos los tratamientos son iguales estadísticamente en textura a pesar de usar diferentes porcentajes de leudante y goma. De acuerdo a (Clark 2014), la granulometría y el tipo de harina usada tienen un efecto en la textura. Estos factores influyen en la cantidad a usar de goma y leudante. En el índice de absorción de agua las formulaciones optimizadas son iguales, sin embargo, ambas son distintas del control. Puede deberse a que el IAA es diferente al control por el tamaño de partícula, el grado de gelatinización y el almidón dañado (Da Silva 2014). También podría deberse a que la cantidad de goma es menor en el control comparado con las formulaciones optimizadas. De acuerdo a los resultados de la fase 1, a mayor cantidad de goma xantana aumenta el índice de absorción de agua.

Cuadro 16. Promedios y desviación estándar de análisis fisicoquímicos entre las formulaciones A y B optimizadas y el control.

Tratamiento	Elasticidad (mm)	Dureza (N)	IAA
	Media ± D.E		
Control	17.37 ± 2.95 ^a	6.35 ± 1.03 ^a	1.81 ± 0.01 ^b
F.A	15.74 ± 1.77 ^a	7.37 ± 0.60 ^a	2.42 ± 0.20 ^a
F.B	15.68 ± 1.29 ^a	6.95 ± 0.79 ^a	2.29 ± 0.22 ^a
Pr > F	0.0447	0.5917	0.1084

D.E= Desviación Estándar

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes

P < 0.05

Pr > F= Probabilidad en la igualación de las varianzas

IAA= índice de absorción de agua

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Comparación nutricional entre formulaciones optimizadas y tratamiento control.

El análisis proximal se hizo a las formulaciones optimizadas y se las comparó entre sí. El análisis de grasa no se realizó por defectos en el equipo Soxtec. Para obtener un valor estimado, se usaron tablas de composición nutricional de diversas fuentes (Mazzei y Puchulu 1991; Bedca 2007; Jiménez Cruz *et al.* 2013) obteniendo un promedio y desviación estándar para el análisis estadístico. Estadísticamente el porcentaje de nutrientes en ambas formulaciones son iguales, excepto en cenizas siendo superior este porcentaje en la formulación A (Cuadro 17).

Cuadro 17. Promedios y desviación estándar de análisis proximal entre las formulaciones de A y B optimizadas.

(%) Nutrientes	F.A	F.B
	Media ± D.E	
Humedad	9.00 ± 0.10 ^a	8.57 ± 0.04 ^a
Cenizas	4.56 ± 0.01 ^a	4.12 ± 0.02 ^b
Proteína	3.59 ± 0.19 ^a	4.38 ± 0.06 ^a
Grasa*	0.63 ± 0.17 ^a	0.60 ± 0.10 ^a
Fibra	1.19 ± 0.08 ^a	1.40 ± 0.11 ^a
Carbohidratos	81.66 ± 0.20 ^a	81.53 ± 0.15 ^a
CV%	0.74	0.47

D.E= Desviación Estándar

^{a, b}= medias en la misma fila con letra distinta son estadísticamente diferentes

*= valor estimado por medio de tablas de composición nutricional

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

De acuerdo a los resultados ambas formulaciones tienen una humedad de 9% cumpliendo con el factor de calidad en contenido de humedad. Se recomienda como máximo un 13% de humedad, dependiendo del destino y almacenamiento del producto se puede requerir una humedad más baja. A menor contenido de humedad mayor preservación del producto (FAO 2007).

De acuerdo a las tablas de composición nutricional por cada 100 g de harina de arroz, se encuentran los siguientes minerales: 4 mg Na, 7 mg Ca, 0.4 mg Fe, 90 mg P y 104 mg K. Por cada 100 g de harina de yuca hay 148 mg Ca, 5.4 mg Fe y 104 mg P. La maicena posee solo sodio con un valor de 4 mg. En consecuencia, el mayor contenido de cenizas se localiza en las harinas de arroz y de yuca. El leudante también posee minerales por lo que al ser un poco mayor el porcentaje de leudante en la formulación A, aumenta el contenido de cenizas. El contenido de proteína de la harina de arroz es la más alta entre las tres harinas con 5.6 g/100 g de producto. La maicena posee 0.3 g y la de yuca 1.7 g de proteína por cada 100 g de harina (Mazzei y Puchulu 1991).

En los cereales y derivados la cantidad de grasa es insignificante en las tres harinas, se reportan valores menores a < 1 g (Mazzei y Puchulu 1991). La fibra en harinas generalmente es menor a 1, sin embargo, los valores de fibra dependen del tipo de molienda. En el arroz se encuentra una mayor cantidad de fibra insoluble. Se reporta contenido de pectina como fibra soluble y hemicelulosa, celulosa y lignina como fibra insoluble (FAO 1993). En el almidón de maíz y yuca se reporta valores de 0. De acuerdo al etiquetado nutricional de la harina de arroz marca Bob's Red Mill posee 1 g de fibra dietética por cada 40 g de harina. De acuerdo a la literatura de la AOAC, la fibra cruda es un proceso basado en digestión con ácidos y bases por lo que es demasiado fuerte al punto de subestimar la cantidad total de fibra dietética presente. El método (AOAC 985.29, fibra dietética total) es un método realizado con enzimas y más exacto en los resultados de fibra real. La cantidad de carbohidratos es la esperada para ambas formulaciones, de acuerdo a (Mazzei y Puchulu

1991), ya que los cereales y derivados contienen altas cantidades de carbohidratos. La concentración reportada para los carbohidratos es de 79.6 g arroz, 87.7 g maicena y 81.0 g yuca.

Cuadro 18. Comparación del etiquetado nutricional de las formulaciones A y B optimizadas y el control.

	Control (24 g)	F.A (25 g)	F.B (25 g)
Grasas totales g	0	0	0
Grasas saturada g	0	0	0
Grasas Trans g	0	0	0
Colesterol g	0	0	0
Sodio mg	210	75	55
Carbohidratos totales g	19	21	21
Fibra dietética g	0	1	1
Azúcar g	4	2	2
Proteína g	1	1	1

Al ser productos elaborados a base de harinas se esperaba una alta cantidad de carbohidratos en las dos formulaciones y el control. La harina de arroz y yuca posee almidón denominado carbohidrato complejo. Mientras que la maicena posee almidón y una baja cantidad de azúcares simples. Los carbohidratos complejos toman más tiempo para ser digeridos y no incrementan los niveles de azúcar en la sangre tan rápidamente como los carbohidratos simples. Una diferencia clave entre las formulaciones A y B con el control es la cantidad de sodio. Las formulaciones A y B por su contenido de sodio pueden ser clasificadas de bajo contenido (40-120 mg). Mientras que el control puede ser clasificado de contenido moderado (120-240 mg) (Torresani y Somoza 2009). De acuerdo a la FDA los alimentos considerados bajos en sodio pueden declararse como aptos para el consumo de pacientes hipertensos. La cantidad de azúcar también se reduce a la mitad en las formulaciones optimizadas comparadas con el control. El beneficio de consumir una menor cantidad de azúcares libres radica en que el incremento rápido de los niveles de azúcar en la sangre disminuye. Otra diferencia es la fibra dietética. En el control se declara cero mientras que en las formulaciones A y B hay 1 g de fibra. Esta cantidad representa el 4% de valor diario de fibra recomendado para una dieta de 2000 calorías. De acuerdo a la FDA un valor diario menor a 5%, se considera bajo en fibra (Cuadro 18).

Análisis sensorial de aceptación.

El objetivo principal de la evaluación sensorial es conocer las características organolépticas de los respectivos atributos de un producto por medio de la percepción de los consumidores al momento de decidir su grado de aceptación hacia un producto. De esta forma se busca medir la aceptación general de cada una de las muestras (Pérez *et al.* 2013).

Por medio de un análisis de correlación se analizaron las variables lineales entre las variables sensoriales. Se analizó las variables de color, sabor, textura, olor, dulzura y de aceptación general.

Color. Es la luz reflejada por un objeto y su prospección permite captar ciertas anomalías y defectos (Delmoro *et al.* 2010). De acuerdo a los panelistas el color de las dos formulaciones optimizadas es estadísticamente igual, sin embargo, ambas son diferentes al control. El panqueque control tuvo evaluación media de 4.16 (escala 1-5) localizándolo en la escala hedónica como “Me gusta moderadamente”. Los tratamientos óptimos tuvieron una evaluación media 2.88 y 2.96, en la formulación A y B respectivamente. Estos valores se ubican en la escala hedónica como “No me gusta ni me disgusta”. Desde el punto de vista de los panelistas no entrenados, los panqueques optimizados poseían un color pálido en particular de un color crema a diferencia del control que era más oscuro. De acuerdo a (Beitane *et al.* 2014) los consumidores prefieren un color más oscuro y dorado (Cuadro 19).

Olor. Es percibido a través del sentido del olfato, detectando aromas en la dieta y sabores volátiles (Son y Park 2018). Ambas formulaciones optimizadas son estadísticamente iguales, comparado con el control hay una diferencia significativa. El panqueque control tuvo una evaluación media de 4.04 localizándolo en la escala hedónica como “Me gusta moderadamente”. Comparado con los tratamientos óptimos que obtuvo una evaluación media 3.14 y 3.20, en la formulación A y B respectivamente, localizándolos en la escala hedónica como “No me gusta ni me disgusta”. Esto se debe a que el control posee una distinta formulación que agradó a los panelistas, mientras que las formulaciones óptimas fueron similares a la percepción de los panelistas (Cuadro 19).

Textura. Es la manifestación funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos percibidos por sentidos (Ruiz *et al.* 2018). El panqueque control tuvo una calificación de 3.57 (Me gusta moderadamente) siendo estadísticamente diferente a las formulaciones optimizadas. Las formulaciones A y B tuvieron una evaluación de 3.26 y 3.29 respectivamente (No me gusta ni me disgusta). Debido a que las formulaciones A y B poseían un porcentaje similar de harina de arroz, la textura fue la misma. En particular nos indica que los panelistas no entrenados no determinaron una diferencia representativa entre fórmula A y B (Cuadro 19).

Cuadro 19. Promedios y desviación estándar de color, olor y textura en formulaciones A y B optimizadas y control.

Tratamiento	Color	Olor	Textura
		Media \pm D.E	
Control	4.16 \pm 0.94 ^a	4.04 \pm 0.89 ^a	3.57 \pm 1.22 ^a
F.A	2.88 \pm 0.90 ^b	3.14 \pm 0.85 ^b	3.26 \pm 0.98 ^b
F.B	2.96 \pm 0.97 ^b	3.20 \pm 0.85 ^b	3.29 \pm 1.16 ^b
CV%	24.17	19.85	28.22

DE= Desviación Estándar.

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Sabor. El gusto está determinado por cuatro sabores básicos: dulce, amargo, ácido y salado. El sabor es una combinación de gusto y aroma (CSIC 2011). En el caso del panqueque control tuvo una calificación de 3.79 (Me gusta moderadamente). Las formulaciones A y B tuvieron una evaluación de 2.84 y 3.01 (No me gusta ni me disgusta) respectivamente siendo ambas estadísticamente iguales pero diferente al control (Cuadro 20).

Dulzura. Esta dada por la percepción de los órganos receptores de la cavidad buco-faríngea, por medio de las células del gusto dulce se percibe la presencia de moléculas de glucosa o sacarosa (CSIC 2011). Evaluando el panqueque control con 3.62 (Me gusta moderadamente) muestra una diferencia significativa con las formulaciones A y B de 2.69 y 2.68 respectivamente (No me gusta ni me disgusta). Por los resultados obtenidos se aprecia que los panelistas desean un producto con mayor dulzura siendo el control más dulce en su formulación que las otras formulaciones (Cuadro 20).

Aceptación general. El objetivo principal es conocer el grado de apreciación de una muestra, por lo que la aceptación de un producto va a depender de ciertos factores hacia los consumidores (CSIC 2011). El panqueque control tuvo una calificación de 3.98 (Me gusta moderadamente) siendo mejor aceptado que las otras formulaciones. Las formulaciones A y B fueron evaluadas de 3.10 y 3.21 respectivamente (No me gusta ni me disgusta), siendo estadísticamente iguales ambas formulaciones (Cuadro 20).

Cuadro 20. Promedios y desviación estándar de sabor, dulzura y aceptación en formulaciones A y B optimizadas y control.

Tratamiento	Sabor	Dulzura	Aceptación
		Media ± D.E	
Control	3.79 ± 1.09 ^a	3.62 ± 1.17 ^a	3.98 ± 1.01 ^a
F.A	2.84 ± 1.06 ^b	2.69 ± 1.08 ^b	3.10 ± 0.82 ^b
F.B	3.01 ± 1.15 ^b	2.68 ± 1.15 ^b	3.21 ± 0.89 ^b
CV%	28.27	29.97	21.67

DE= Desviación Estándar.

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Análisis sensorial por género. De acuerdo a los resultados obtenidos, solo la textura cambia estadísticamente por género mientras que las otras variables mantienen la misma tendencia. En particular el atributo de textura evaluada tanto del grupo de hombres (59 panelistas) como el de mujeres (41 panelistas) indica que no se encontraron diferencias significativas (P<0.05). Esto conlleva a que los panelistas no entrenados no encontraron diferencias de textura entre todos los tratamientos (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis sensorial del atributo de textura en el panqueque control y las formulaciones A y B óptimas, por género.

Tratamiento	Textura (Hombre)	Textura (Mujer)
	Media ± D.E	
Control	3.54 ± 1.21	3.61 ± 1.24
F.A	3.31 ± 0.99	3.20 ± 0.98
F.B	3.37 ± 1.14	3.17 ± 1.18
CV%	27.29	29.76

D.E= Desviación Estándar.

(P < 0.05).

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Análisis de correlación. De acuerdo a los resultados, el sabor tuvo la mayor correlación y fue la única alta al ser > 70 (Cuadro 22). Los atributos de color, olor, textura y dulzura tuvieron una correlación positiva moderada (50-70). Quiere decir que a mayor color, olor,

textura, sabor y dulzura la aceptación va a ser mayor. De acuerdo a (Villaroel *et al.* 2003) estos atributos son los principales a evaluar en este tipo de productos.

Cuadro 22. Correlación entre los atributos y la aceptación general.

Atributos	Color	Olor	Textura	Sabor	Dulzura	Aceptación
Color		0.5012	0.36704	0.49806	0.46964	0.59296
Olor			0.39915	0.49808	0.41671	0.56097
Textura				0.43067	0.4283	0.5593
Sabor					0.74804	0.72172
Dulzura						0.65158
Aceptación	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

Al realizar la correlación de los atributos y la aceptación general por género se reporta que las mujeres favorecen la textura, sabor y dulzura. Los tres atributos tuvieron una correlación positiva superior a 70, mientras que los otros atributos tuvieron una correlación positiva moderada. En el caso de los hombres solo el sabor tuvo una correlación positiva alta, lo que indica que este atributo es determinante para la aceptación general en el género masculino. Mientras que la textura fue el único atributo con una correlación baja por lo que este atributo no fue considerado relevante para los hombres.

4. CONCLUSIONES

- En la fase 1, la formulación A (arroz + yuca) fue la más parecida al panqueque control en cuanto a las características fisicoquímicas.
- La formulación A (arroz + yuca) y B (arroz + maicena) fueron evaluadas como “No me gusta ni me disgusta” con una calificación de 3.10 y 3.21 respectivamente.
- Ambas formulaciones optimizadas cumplieron con el criterio de la FDA para ser consideradas bajas en sodio y azúcar, son similares en carbohidratos complejos, proteína y fibra dietética, y se consideran productos aptos para consumidores hipertensos.

5. RECOMENDACIONES

- Utilizar otros leudantes que no contengan sodio o que sean bajos en sodio.
- Considerar optimizar textura e índice de absorción de agua con otras variables en el estudio como cantidad de agua, concentración de harinas, temperatura y tiempo.
- Evaluar el uso de harinas de papa, sorgo y amaranto para obtener un color más oscuro y dorado para mejorar los atributos de las formulaciones.
- Utilizar harinas de sabor más fuerte y especias o extractos para mejorar el sabor y olor.
- Mejorar nutricionalmente las formulaciones con mayor cantidad de fibra, proteína, ácidos grasos insaturados, vitaminas y minerales.

6. LITERATURA CITADA

Anderson RA, Conway HF, Peplinski AJ. 1970. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch*. 22(4):130–135. doi:10.1002/star.19700220408.

Aranda EA, Araya M. 2016. Tratamiento de la enfermedad celíaca. ¿Cómo medir adherencia a la dieta libre de gluten?. *Rev Chil Pediatr*. 87(6):442–448. spa. doi:10.1016/j.rchipe.2016.01.007.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. 17th Ed. Washington DC (EE.UU). Method 934.01, 991.36, 2001.11, 923.02 and 962.09.

Baños Espíndola B, Hernández Chávez JF, Reyes Santamaría MI, Morales Rodríguez I, Güemes Vera N. 2009. Propiedades de textura, extensibilidad y adhesividad de masas elaboradas con mezclas de harina de *Jatropha curcas* y concentrado de cebada. *Rev Colom. ACTA* . (17):1-4. ISSN 2027-2030.

Bedca (Base de datos Española de composición de alimentos). 2007. Base de datos Española de composición de alimentos. España: Bedca; [consultado 2018 jul 10]. <http://www.bedca.net/>.

Beitane I, Krumina Zemtore G, Murniece I. 2014. Sensory, colour and structural properties of pancakes prepared with pea and buckwheat flour. *Foodbalt*. 1:234-238. [consultado 2018 jul 12]. http://llufb.llu.lv/conference/foodbalt/2014/FoodBalt_Proceedings_2014-234-238.pdf.

Blanco CA, Ronda F, Pérez B, Pando V. 2011. Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives. *Food Chem*. 127(3):1204–1209. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2011.01.127.

Bock M, Flores N. 2011. Nutrition information related to battered and breaded food products. Kulp K, editor in: *batters and breadings in food processing*. Academic press; [consultado 2018 ago 21]. p. 153–168. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-71-7.50014-0>.

Catassi C, Gatti S, Fasano A. 2014. The new epidemiology of celiac disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 59 Suppl 1:S7-9. eng. doi:10.1097/01.mpg.0000450393.23156.59.

Clark EA. 2014. Evaluation of Quality Parameters in Gluten-Free Bread Formulated with Breadfruit (*Artocarpus altilis*) [Tesis]. Kansas State University. Manhattan, Kansas. 131p.

CSIC (Consejo Superior de Investigación Científica). 2011. Curso de análisis sensorial de alimentos. Instituto de investigación en ciencias de la alimentación (CIAL), instituto mixto CSIC-UAM. España: CSIC; [consultado 2018 oct 01]. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/63961/1/358508.pdf>

Cuevas JF, Plaza JL, Fernández A. 2016. Análisis de perfil de textura en masas reconstituidas de harina de maíz amarillo fermentado. Universidad del Valle. Cali-Colombia. *Agronomía Colombiana Suplemento* Vol. 1, S537-S539. Doi: 10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58339.

Da Silva CT. 2014. Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino pra a elaboração de biscoitos e mingaus. Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

Delmoro J, Muñoz D, Nadal V, Clementz A, Pranzetti V. 2010. El color en los alimentos: determinación de color en mieles. *Invenio*. 13(25): 145-152. [consultado 2018 oct 14]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87715116010>.

Estévez V, Araya M. 2016. La dieta sin gluten y los alimentos libres de gluten. *Rev. chil. nutr.* 43(4):14. doi:10.4067/S0717-75182016000400014.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1993. *Rice in Human nutrition*. [consultado 2018 jul 10]. <http://www.fao.org/docrep/t0567e/T0567E00.htm#Contents>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la Organización Mundial de la Salud (OMS). 2007. *Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales*. Roma-Italia. ISBN 978-92-5-305842-6.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. *Xantana gum*. 82nd JECFA. Chemical and technical assessment (CTA); [consultado 2018 oct 05]. <http://www.fao.org/3/a-br568e.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. *Codex alimentarius: norma general para los aditivos alimentarios*. [consultado 2018 oct 05]. http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf

Gillot C. 2016. Enfermedad celíaca en Cuba y sus cuarenta años de experiencias y realidades para su diagnóstico. *Rev Cubana Pediatr.* 88(4):483-497. Ciudad de la Habana. ISSN 1561-3119

Isasi C, Tejerina E, Morán LM. 2016. Non-celiac gluten sensitivity and rheumatic diseases. *Reumatol Clin.* 12(1):4–10. eng. doi:10.1016/j.reuma.2015.03.001.

ISO (International Organization for Standardization). 2008. Sensory analysis: Guidelines for the use of quantitative response scales. Page 1:11. [consultado 2018 ene 10]. <https://www.iso.org/obp/ui/>

Javaria S, Marwat SK, Raza S, Hameed A, Waseem K. 2016. Formulation of gluten-free baked products for coeliac patients: a review of contemporary methodologies and quality improving factors. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 16 (4): 826-835. doi: 10.5829/idosi.aejaes.2016.16.4.12939

Jiménez Cruz A, Cervera Ral P, Bacardí Gascón M. 2013. Tabla de composición de alimentos. Novartis; [consultado 2018 ago 27]. <https://dieteticaieselgetares.files.wordpress.com/2013/10/tabla-de-composicic3b3n-de-alimentos-novartis.pdf>

Kratzer W, Kibele M, Akinli A, Porzner M, Boehm BO, Koenig W, Oeztuerk S, Mason RA, Mao R, Haenle MH. 2013. Prevalence of celiac disease in Germany: A prospective follow-up study. *World J Gastroenterol.* 19(17):2612–2620. eng. doi:10.3748/wjg.v19.i17.2612.

Lasa JS, Olivera P, Soifer L, Moore R. 2017. La anemia ferropénica como presentación de enfermedad celíaca subclínica en una población argentina. *Rev Gastroenterol Mex.* 82(3):270–273. doi:10.1016/j.rgmx.2016.12.008.

Liu E, Lee HS, Aronsson CA, Hagopian WA, Koletzko S, Rewers MJ, Eisenbarth GS, Bingley PJ, Bonifacio E, Simell V, Agardh D. 2014. Risk of pediatric celiac disease according to HLA haplotype and country. *N Engl J Med.* 371(1):42–49. eng. doi:10.1056/NEJMoa1313977.

Mazzei M, Puchulu M. 1991. Tabla de composición química de alimentos. CENEXA (Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada). [consultado 2018 ago 27].

Mellado M, Haros M. 2016. Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. *Braz. J. Food Technol.* 19(0):107. doi:10.1590/1981-6723.0216.

Mera CA. 2015. Sustitución parcial de la harina de trigo por harina de maíz y su efecto en las propiedades fisicoquímicas del pan tipo molde [Tesis]. ESPOL (Escuela superior politécnica del litoral), Guayaquil-Ecuador. 29p.

Molina Infante J, Santolaria S, Montoro M, Esteve M, Fernández Bañares F. 2014. Sensibilidad al gluten no celiaca: Una revisión crítica de la evidencia actual. *Gastroenterol Hepatol.* 37(6):362–371. spa. doi:10.1016/j.gastrohep.2014.01.005.

Narváez ED, Figueroa JD, Taba S, Castaño E, Martínez Peniche RÁ. 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex*; [consultado 2018 ago 27]. 30(3):269–277. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61003009>.

Pérez SP, Gómez DM, Méndez CI, Pedrero DL, Corona CG, Ríos ST, Loeza AE, Andrade MU. 2013. Manual de evaluación sensorial. [consultado 2018 mayo 10]. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/MANUAL_31114.pdf

Pincioli M. 2010. Proteína de arroz: propiedades estructurales y funcionales. Centro de investigación y desarrollo en criotecnología de alimentos (CIDCA); [consultado 2018 mayo 4]. Buenos Aires, Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/1828/Documento_completo__.pdf?sequence=3

Ramírez Chicas AM. 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]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 44p.

Rodrigo L, Peña AS. 2013. Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca. 1a edición. España: OmniaScience. ISBN: 978849402343.

Rodrigues MI, Iemma AF. 2015. Experimental design and process optimization. Boca Raton, London: CRC Press Taylor & Francis Group. xviii, 318 pages. ISBN: 1482299550.

Ruiz de Eguilaz MH, Martínez de Morentin Aldabe B, Almiron Roig E, Pérez-Diez S, San Cristóbal Blanco R, Navas Carretero S, Martínez JA. 2018. Influencia multisensorial sobre la conducta alimentaria: Ingesta hedónica. *Endocrinol diabetes nutr.* 65(2):114–125. [doi:10.1016/j.endinu.2017.09.008](https://doi.org/10.1016/j.endinu.2017.09.008).

Savage J, Johns CB. 2015. Food allergy: epidemiology and natural history. *Immunol allergy clin north Am.* 35(1):45–59. [doi:10.1016/j.iac.2014.09.004](https://doi.org/10.1016/j.iac.2014.09.004).

Son M, Park TH. 2018. The bioelectronic nose and tongue using olfactory and taste receptors: Analytical tools for food quality and safety assessment. *Biotechnol Adv.* 36(2):371–379. [doi:10.1016/j.biotechadv.2017.12.017](https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.12.017).

Torres A, Montero P, Duran M. 2013. Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). Revista Lasallista de Investigación. 10(2):52-61. [consultado 2018 ago 20]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69529816007>.

Torresani EM, Somoza MI. 2009. Lineamientos para el cuidado nutricional. 3a ed. Buenos Aires: Eudeba. p. 301-303. ISBN: 9789502316796.

Unión Europea. Reglamento (UE) 828/2014 de la comisión, de 30 de julio de 2014, relativo a los requisitos para la transmisión de información a los consumidores sobre la ausencia o la presencia reducida de gluten en los alimentos. Diario Oficial de la Unión Europea L 288, 31 de septiembre de 2014, pp. 5-8. [consultado 2017 nov 4]. <https://www.boe.es/doue/2014/228/L00005-00008.pdf>

Villarroel L, Alvarez J, Maldonado D. 2003. Aplicación del análisis de componentes principales en el desarrollo de productos. ACTA NOVA; [consultado 2018 ago 21]. 2(3):399-408. <http://www.fcyt.umss.edu.bo/investigacion/cesa/articulos/ARTICULO%201-APLICACION%20DEL%20ACP.pdf>.

WGO (Organización Mundial de Gastroenterología). 2012. Enfermedad celíaca. [consultado 2018 ago 27]. <http://www.worldgastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/ceeliac-disease-spanish-2013.pdf>

7. ANEXOS

Anexo 1. Etiqueta nutricional de la formula ‘A & B’ mediante el programa Food Processor.

Etiqueta nutricional: Producto A

Nutrition Facts			
Serving Size (25g)			
Servings Per Container			
Amount Per Serving			
Calories 90	Calories from Fat 0		
	<small>% Daily Value*</small>		
Total Fat 0g			0%
Saturated Fat 0g			0%
Trans Fat 0g			
Cholesterol 0mg			0%
Sodium 75mg			3%
Total Carbohydrate 21g			7%
Dietary Fiber 1g			4%
Sugars 2g			
Protein 1g			
Vitamin A 0%		• Vitamin C 0%	
Calcium 2%		• Iron 0%	
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:			
	Calories:	2,000	2,500
Total Fat	Less than	65g	80g
Saturated Fat	Less than	20g	25g
Cholesterol	Less than	300mg	300mg
Sodium	Less than	2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate		300g	375g
Dietary Fiber		25g	30g
Calories per gram:			
Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4			

Etiqueta nutricional: Producto B

Nutrition Facts			
Serving Size (25g)			
Servings Per Container			
Amount Per Serving			
Calories 90	Calories from Fat 0		
	<small>% Daily Value*</small>		
Total Fat 0g			0%
Saturated Fat 0g			0%
Trans Fat 0g			
Cholesterol 0mg			0%
Sodium 55mg			2%
Total Carbohydrate 21g			7%
Dietary Fiber 1g			4%
Sugars 2g			
Protein 1g			
Vitamin A 0%		• Vitamin C 0%	
Calcium 0%		• Iron 0%	
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:			
	Calories:	2,000	2,500
Total Fat	Less than	65g	80g
Saturated Fat	Less than	20g	25g
Cholesterol	Less than	300mg	300mg
Sodium	Less than	2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate		300g	375g
Dietary Fiber		25g	30g
Calories per gram:			
Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4			

Anexo 2. Etiqueta nutricional del control.

Nutrition Facts			
Serving Size Amst mix in 1-4 " pancake (24g)			
Serving Per Container 21.			
Amount Per Serving			
Calories 80	Calories from Fat 0		
	%Daily Value *		
Total Fat 0g	0%		
Saturated Fat 0g	0%		
Trans Fat / Grasa Trans 0g			
Cholesterol 0mg	0%		
Sodium 210mg	9%		
Total Carbohydrate 19g	6%		
Dietary Fiber 0g	0%		
Sugars 4g			
Protein 1g			
Vitamin A 0%	Vitamin C 0%		
Calcium 10%	Iron 0%		
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:			
	Calories:	2,000	2,500
Total Fat	Less than	65g	80g
Saturated Fat	Less than	20g	25g
Cholesterol	Less than	300mg	300mg
Sodium	Less than	2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate		300g	375g
Dietary Fiber		25g	30g
Calories per gram:			
Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4			

Anexo 3. Formato de análisis sensorial.

Hoja de evaluación sensorial

Panqueques

Nombre del panelista: _____

Edad: ____ **Fecha:** _____ **Sexo:** M () / F ()

Instrucciones:

- Por favor, observe y pruebe cada una de las muestras en orden de izquierda a derecha.
- De acuerdo al CUADRO 1. Indique el grado en el que le disgusta o le gusta a cada atributo de cada muestra, escribiendo el número correspondiente en la línea de código de la muestra respectiva.
- Utilice la galleta soda y agua por cada vez que evalué otra muestra.
- Durante el análisis sensorial por favor permanezca enfocado a su evaluación y no comparta su opinión con ningún otro panelista sobre el alimento.
- En caso de dudas, acercarse a los encargados del sensorial.

CUADRO 1. Puntaje/Categoría

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me disgusta mucho	4	Me gusta moderadamente
2	Me disgusta moderadamente	5	Me gusta mucho
3	No me disgusta ni me gusta		

NOTA: Cada vez que cambie de muestra utilice la galleta soda y agua como limpiador de paladar.

Muestra (código)	CLASIFICACIÓN PARA CADA ATRIBUTO					
	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR	DULZURA	ACEPTACIÓN
1) 012						
2) 350						
3) 140						

Gracias por su participación.

Comentarios surgidos de las muestras:

1) _____

2)	
3)	

Anexo 4. Correlación entre los atributos y la aceptación general en mujeres.

Atributos	Color	Olor	Textura	Sabor	Dulzura	Aceptación
Color		0.586746	0.567472	0.50076	0.490243	0.609798271
Olor			0.546362	0.52961	0.470249	0.624426815
Textura				0.56818	0.551028	0.705909714
Sabor					0.779389	0.740294305
Dulzura						0.735371888
Aceptación	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

Anexo 5. Correlación entre los atributos y la aceptación general en hombres.

Atributos	Color	Olor	Textura	Sabor	Dulzura	Aceptación
Color		0.435417	0.207578	0.496175	0.448992	0.578535753
Olor			0.302962	0.47324	0.371101	0.512728891
Textura				0.337645	0.33804	0.455755125
Sabor					0.724319	0.706887472
Dulzura						0.580237427
Aceptación	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

Anexo 6. Promedios y desviación estándar de color, olor y textura en formulaciones A y B optimizadas y control, en mujeres.

Tratamiento	Color	Olor	Textura
Media ± D.E			
Control	4.27 ± 0.90 ^a	4.02 ± 0.99 ^a	3.61 ± 1.24 ^a
F.A	2.88 ± 1.05 ^b	3.29 ± 0.78 ^b	3.20 ± 0.98 ^a
F.B	3.00 ± 1.10 ^b	3.32 ± 0.88 ^b	3.17 ± 1.18 ^a
CV%	25.19	20.07	29.76

DE= Desviación Estándar.

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Anexo 7. Promedios y desviación estándar de sabor, dulzura y aceptación en formulaciones A y B optimizadas y control, en mujeres.

Tratamiento	Sabor	Dulzura	Aceptación
Media ± D.E			
Control	3.95 ± 1.05 ^a	3.88 ± 1.14 ^a	4.10 ± 0.97 ^a
F.A	2.93 ± 1.03 ^b	2.80 ± 1.23 ^b	3.17 ± 0.86 ^b
F.B	3.00 ± 1.16 ^b	2.66 ± 1.20 ^b	3.24 ± 0.97 ^b
CV%	28.25	30.95	22.46

DE= Desviación Estándar.

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Anexo 8. Promedios y desviación estándar de color, olor y textura en formulaciones A y B optimizadas y control, en hombres.

Tratamiento	Color	Olor	Textura
	Media ± D.E		
Control	4.08 ± 0.97 ^a	4.05 ± 0.82 ^a	3.54 ± 1.21 ^a
F.A	2.88 ± 0.79 ^b	3.03 ± 0.89 ^b	3.31 ± 0.99 ^a
F.B	2.93 ± 0.89 ^b	3.12 ± 0.83 ^b	3.37 ± 1.14 ^a
CV%	23.55	29.64	27.29

DE= Desviación Estándar.

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)

Anexo 9. Promedios y desviación estándar de sabor, dulzura y aceptación en formulaciones A y B optimizadas y control, en hombres.

Tratamiento	Sabor	Dulzura	Aceptación
	Media ± D.E		
Control	3.68 ± 1.11 ^a	3.44 ± 1.16 ^a	3.90 ± 1.05 ^a
F.A	2.78 ± 1.08 ^b	2.61 ± 0.97 ^b	3.05 ± 0.80 ^b
F.B	3.02 ± 1.15 ^b	2.69 ± 1.13 ^b	3.19 ± 0.84 ^b
CV%	28.37	29.6	21.21

DE= Desviación Estándar.

^{a, b}= medias en la misma columna con letra distinta son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

Escala: 1=Me disgusta mucho 5=Me gusta mucho

CV= Coeficiente de variación

F.A= Fórmula óptima 'A' (arroz + yuca)

F.B= Fórmula óptima 'B' (arroz + maicena)