

**Desarrollo de un prototipo de tortilla
funcional de maíz (*Zea mays*) y harina de
grillo (*Acheta domesticus*), como fuente de
proteína para dieta humana**

Kevin Bladimir Barrios Simón

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Desarrollo de un prototipo de tortilla funcional de maíz (*Zea mays*) y harina de grillo (*Acheta domesticus*), como fuente de proteína para dieta humana

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

Presentado por

Kevin Bladimir Barrios Simón

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2017

Desarrollo de un prototipo de tortilla funcional de maíz (*Zea mays*) y harina de grillo (*Acheta domesticus*), como fuente de proteína para dieta humana

Kevin Bladimir Barrios Simón

Resumen. El maíz es el alimento principal de la población de México y Centro América. Se consume tradicionalmente en forma de tortilla, pero no satisface las necesidades proteicas diarias por su deficiencia en proteínas, lisina y triptófano. El objetivo de este estudio es determinar el nivel de sustitución de harina de maíz nixtamalizada por harina de grillo (*Acheta domesticus*), que optimice las características físicas y que aumente el contenido proteico en una tortilla. Esta optimización se realizó mediante un arreglo factorial 2^k delineado por la metodología de superficie respuesta de primer orden con cuatro puntos factoriales y un duplicado del punto central, siendo el porcentaje de harina de grillo y el tiempo de cocción las variables independientes. La elaboración de las tortillas se realizó en la Planta de Innovación de Alimentos (PIA). Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ) para analizar color, textura, y contenido proteico. Los resultados indican que el porcentaje de harina de grillo es la variable de mayor influencia en cuanto a fuerza de corte, elongación, luminosidad y contenido de proteína. El punto óptimo para la elaboración de una tortilla funcional es con 20% de harina de grillo con un tiempo de cocción de 3.42 minutos, con un contenido proteico del 20.86% y un costo de formulación de HNL 7.25. Se recomienda realizar otro estudio siguiendo la misma metodología adicionando puntos axiales y realizar un análisis sensorial para conocer la aceptabilidad de las personas a esta nueva tortilla elaborada.

Palabras clave: Nixtamalizada, optimización, superficie respuesta.

Abstract. Corn is the main food of the population of Mexico and Central America. It is traditionally consumed as tortilla, but it does not satisfy the daily protein needs due to its deficiency in proteins, lysine and tryptophan. The objective of this study is to determine the level of substitution of nixtamalized corn flour with cricket flour (*Acheta domesticus*), which optimizes the physical characteristics and increases the protein content in a tortilla. This optimization was carried out by means of a 2^k factorial arrangement delineated by the first order response surface methodology with four factorial points and a duplication of the central point with the cricket flour percentage and the cooking time being the independent variables. The elaboration of the tortillas was carried out in the Food Innovation Plant (PIA). The physicochemical analyzes were carried out in the Food Analysis Laboratory (LAAZ) to analyze color, texture, and protein content. The results indicate that the percentage of cricket meal is the variable with the greatest influence in terms of cutting force, elongation, luminosity and protein content. The optimum point for the elaboration of a functional tortilla is 20% cricket flour with a cooking time of 3.42 minutes, with a protein content of 20.86% and a formulation cost of HNL 7.25. It is recommended to carry out another study using the same methodology adding axial points and performing a sensory analysis to know the acceptability of people to this new elaborated tortilla.

Keywords: Nixtamalized, optimization, response surface.

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.....	10
4. CONCLUSIONES	22
5. RECOMENDACIONES	23
6. LITERATURA CITADA.....	34
7. ANEXOS	26

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Análisis químicos realizados a la harina de grillo y harina de maíz nixtamalizado	4
2. Codificación de Variables independientes del experimento.....	6
3. Decodificación del diseño experimental del proceso de elaboración de tortillas ...	7
4. Formulación y codificación de los tratamientos de tortilla de maíz, con harina de grillo.	8
5. Análisis Químico de Harina de grillo (<i>Acheta domesticus</i>) y maíz (<i>Zea mays</i>).	10
6. Análisis Físico de Harina de grillo (<i>Acheta domesticus</i>) y maíz (<i>Zea mays</i>).	11
7. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en la fuerza de corte (N) en las tortillas elaboradas.	12
8. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en en la elongación (N) en las tortillas elaboradas.....	14
9. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en la luminosidad en las tortillas elaboradas.....	16
10. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en el contenido de proteína (%) en las tortillas elaboradas.....	18
11. Costos variables de formulación de la tortilla óptima y una tortilla tradicional de 30 gramos.....	21
 Figuras	 Página
1. Flujo de proceso para la elaboración de tortilla de maíz con harina de grillo.	8
2. Granulometría presentada en la Harina de grillo (<i>Acheta domesticus</i>).	11
3. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en la fuerza de corte (N).....	13
4. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en la elongación (N).....	15
5. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en la luminosidad.	17
6. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en el porcentaje de proteína.....	19
7. Función de utilidad de las variables independientes sobre lsd propiedades físicas y contenido de proteína en la elaboración de tortillas de maíz con harina de grillo	20

Anexos	Página
1. Diagrama de Pareto de variables independientes en fuerza de corte (N).	26
2. Diagrama de Pareto de variables independientes en fuerza de elongación (N)	26
3. Diagrama de Pareto de variables independientes en luminosidad.	27
4. Diagrama de Pareto de variables independientes en porcentaje de proteína.	27

1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el tercer cultivo sembrado a nivel mundial, tiene importancia económica, como alimento humano, animal y como materia prima de un gran número de productos industriales (Jiménez *et al.* 2012). En México y Centro América es el cultivo más importante, por la superficie sembrada, el valor de su producción, por ocupar al 20% de la población económicamente activa y por ser el alimento principal de la población (Sierra-Macías *et al.* 2010). Desde el punto de vista económico, el maíz se siembra en más de 8 millones de hectáreas, que representan 39% de la superficie agrícola de la región y 63% de la superficie sembrada con granos y oleaginosas, contribuye con 8% del producto interno de la agricultura centroamericana (Luna *et al.* 2012).

El maíz en forma de tortilla, es uno de los principales componentes de la dieta del pueblo centroamericano y mexicano (Mauricio *et al.* 2004). Se consumen alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla, de las cuales 64% se realizan a través del método tradicional de maíz-masa-tortilla y 36% a través de la industria harinera (Sierra-Macías *et al.* 2010).

Por lo general, la tortilla consumida en las áreas rurales se elabora con el maíz que se produce en la localidad, que puede ser blanco, amarillo o de colores (Salinas *et al.* 2010) y de manera general, la preferencia entre los distintos tipos de maíz es por atributos de color, sabor, textura, consistencia de las tortillas y facilidad para trabajar la masa (Vázquez *et al.* 2010). Mientras que los industriales de la masa y la tortilla prefieren procesar maíces de tamaño y color uniforme, optan por los de color blanco crema brillante y con textura intermedia a dura; de igual manera la norma NMX-034 para maíz destinado al proceso de nixtamalización, incluye principalmente variables de calidad del grano, entre las que destaca la dureza, así como pericarpio retenido en el nixtamal, pérdida de sólidos y humedad del nixtamal (Salinas *et al.* 2010).

Es en la época de crisis económica donde la dependencia de este alimento incrementa, logrando así la subsistencia de las comunidades rurales, pero de esta forma no satisfacen las necesidades proteicas diarias, porque el maíz es deficiente en proteínas, lisina y triptófano; además de la falta de una dieta balanceada, lo cual crea problemas de desnutrición. Muchos investigadores se han dedicado a buscar solución a esta problemática, usando maíz mejorado, adicionándole soya, vitaminas, calcio a las harinas, tratando de mejorar la calidad proteica de las tortillas (Amador 2009).

Actualmente se buscan nuevas alternativas de fuente proteica una de ellas es la entomofagia que se define como el consumo de insectos por seres humanos. La ingesta de insectos complementa la dieta de aproximadamente 2,000 millones de personas, y se trata de un hábito que siempre ha estado presente en la conducta alimentaria de los seres humanos (FAO 2011).

Una de las muchas vías para abordar la seguridad de alimentos y piensos es a través de la cría de insectos. Los insectos están en todas partes, se reproducen rápidamente y poseen tasas elevadas de crecimiento y conversión de piensos, además de un reducido impacto ambiental durante su ciclo de vida. Son nutritivos, ya que contienen niveles elevados de proteínas, grasas y minerales. Pueden criarse aprovechando diversos flujos de residuos, como los residuos de alimentos. Además, pueden consumirse enteros o molidos, en forma de polvo o pasta, e incorporarse a otros alimentos (FAO 2011).

En todo el mundo se consumen más de 1,900 especies de insectos comestibles. La mayoría de estas especies conocidas se recogen directamente del medio natural. Según los datos disponibles, los insectos más consumidos son los escarabajos (coleópteros) (31%), las orugas (lepidópteros) (18%) y las abejas, avispas y hormigas (himenópteros) (14%). Les siguen los saltamontes, las langostas y los grillos (ortópteros) (13%), las cigarras, los fulgoromorfos y saltahojas, las cochinillas y las chinches (hemípteros) (10%), las termitas (isópteros) (3%), las libélulas (odonatos) (3%), las moscas (dípteros) (2%) (FAO 2011).

La harina de grillo (*Acheta domesticus*) posee un alto valor proteico que oscila de 56 a 65%. Sus proteínas se caracterizan por tener todos los aminoácidos esenciales, es decir que el cuerpo no los puede producir por sí mismo y por esta razón es necesario obtenerlos a partir de alimentos. Contiene aminoácidos como la lisina, treonina y metionina que son aminoácidos limitantes en algunas leguminosas y cereales. Además aporta de un 20 a 22% de grasas. Siendo ricos en ácidos grasos monoinsaturados, los cuales tienen beneficios nutricionales en la prevención de enfermedades cardiovasculares. También tienen alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega 3 y omega 6 los cuales ayudan en la reducción del colesterol total (Toro 2017). La harina de grillo es rica en varios micronutrientes como el hierro, cobre, magnesio, fósforo, selenio, zinc y calcio. Tiene un alto contenido en vitamina B12 muy importante para el metabolismo de las proteínas y la formación de glóbulos rojos. Además, contiene fibra (FAO 2014).

A partir de esta situación se busca desarrollar un prototipo de tortilla funcional de maíz y harina de grillo como fuente de proteína para dieta humana. Basado en lo anterior se establecieron los siguientes objetivos:

- Determinar el nivel de sustitución de harina de maíz por harina de grillo que optimice las características físicas y contenido de proteína de una tortilla.
- Determinar los tiempos de cocción adecuados para la elaboración de las tortillas de maíz y harina de grillo que optimice sus características físicas.
- Comparar los costos variables de formulación del tratamiento óptimo y de una tortilla tradicional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

La producción de grillos tuvo lugar en la finca Santa Marta, ubicada en el municipio de Osicala, departamento de Morazán, El Salvador. La finca tiene una altura promedio de 1250 msnm a 185 Km de San Salvador. Esta finca se dedica a la producción de café con fuentes de agua disponible cercana.

El secado de los grillos, la elaboración de la harina de grillo y de maíz así como la caracterización físicoquímica de las harinas y de las tortillas elaboradas se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). La nixtamalización, molienda y elaboración de las tortillas se realizó en la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano (PIA). Todas las instalaciones mencionadas se encuentran en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, localizada en el km 30, carretera hacia Danlí, en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

El estudio se realizó en orden cronológico dividido en cinco fases:

Fase 1. Crianza de grillo, obtención y elaboración de la harina.

La metodología que se llevó a cabo para la producción de harina de grillo fue una réplica de los procesos que realiza la compañía Entomo Farms. Empresa norteamericana dedicada a la producción de insectos comestibles, grillos y gusanos para proveer harinas ricas en proteínas y minerales. La metodología que ellos usan para la producción de harina de grillo es la siguiente:

- Reproducción de los grillos en recipientes plásticos con cartones para huevos.
- Alimentación en base a vegetales frescos.
- Sacrificio realizado con agua a 60 grados centígrados.
- Lavado de los grillos en agua con detergente.
- Secado en horno a 60 grados centígrados por 8 horas
- Molienda en molino centrífugo con malla de 1 milímetro.

Para iniciar la granja se consiguió una población inicial de grillos (*Acheta Domesticus*) de una empresa salvadoreña exportadora de reptiles exóticos que son alimentados con grillos, y con estos se partió para comenzar la reproducción de ellos en la finca Santa Marta, ubicada en el municipio de Osicala en el departamento de Morazán, El Salvador. Luego de recolectarlos, los grillos fueron depositados en una caja de cartón de 60 × 40 × 40 cm lo suficientemente grandes para que estos puedan reproducirse.

Dentro del recipiente se mantuvieron a temperaturas de 25 a 35 °C, temperaturas óptimas para la crianza y reproducción de los grillos, se les suministra agua cada día, ellos demandan poca cantidad de agua, pero constantemente en depósitos que estén al fácil alcance de ellos. Se alimentaron principalmente con vegetales frescos como repollo y papa. La caja se limpiaba cada 2 a 3 días, extrayendo grillos muertos, restos de comida y sus heces.

A los 75 días cuando los grillos alcanzaron su edad adulta y el mayor peso se trasladaron a la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano donde se procesaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

El sacrificio se realizó por congelación a -8 °C por un día. En el laboratorio se pesaron 1,000 grillos obtenidos y estos pesaron 950 gramos. Luego se colocaron en bandejas recubiertas con papel aluminio para proceder a secarlos por 8 horas en un horno MPCO modelo 630 a una temperatura de 60 °C para bajar su contenido de humedad hasta 30%. Una vez se ha perdido el 70% de humedad, los grillos se volvieron a pesar obteniendo un peso de 635 gramos, luego se procedió a la molienda, este proceso se llevó a cabo con un molino Cyclotec modelo 1093 con una malla para partículas de 1 milímetro de diámetro. Una vez molidos estos pesaron 580 gramos. Para que este producto entre al rango de harina tiene que alcanzar una humedad de 12% por lo cual se secaron en el horno por 24 horas a 60 °C. Luego de secarlos se obtuvieron 450 gramos de harina de grillo lista para proceder a un análisis proximal completo.

Fase 2. Nixtamalización, molienda y obtención de la masa de maíz.

Las tortillas se elaboraron a partir de harina de grillo y masa de maíz obtenida del proceso de nixtamalización, el cual consistió en la cocción de maíz con agua y cal (1.5%) durante 2:00 horas con posterior reposo de 12 horas a temperatura ambiente. El nixtamal se sometió a un molino y un procesador industrial para finalmente obtener la masa de maíz.

Fase 3. Caracterización de materias primas (harina de grillo y maíz nixtamalizado).

Análisis químicos.

La normativa utilizada para la obtención de las características nutricionales fue bajo la metodología de la AOAC. Los parámetros evaluados y la metodología se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis químicos realizados a la harina de grillo y harina de maíz nixtamalizado.

Parámetro	Método
Proteína cruda	AOAC 2001.11
Extracto etéreo	AOAC 991.36
Fibra Cruda	AOAC 962.09
Humedad	AOAC 952.08
Cenizas	AOAC 923.03
Carbohidratos	21CFR101.9

Fuente: (Latimer y Cunnif 2016)

Análisis físicos.

Color. Los análisis de color se realizaron en el laboratorio de análisis de alimentos de Zamorano. Se utilizó el colorímetro Colorflex Hunter Lab equipo que mide los valores de L*, a*, b* que describen los colores y tres ejes de coordenadas. El valor L* va de 0 a 100 y mide la claridad, que tan negro o blanco es el objeto, siendo 0 negro y 100 blanco. El valor a* mide en el espectro visible los colores del verde al rojo, siendo a* (-) verde y a* (+) rojo. El valor b* mide los colores del espectro que van del azul a amarillo, siendo b* (-) azul y b* (+) amarillo.

Actividad de agua (Aw). Se realizaron los análisis para actividad de agua utilizando el instrumento Aqualab, realizando tres repeticiones por cada harina analizada.

Granulometría. El parámetro físico de granulometría en la harina de grillo y de maíz nixtamalizado se determinó bajo la metodología AOAC 965.22 y una muestra de 50 g de harina con tres repeticiones. Se agitó durante 5 min cada repetición y se pesó la harina que se retuvo en cada tamiz (Latimer y Cunnif 2016).

Índice de solubilidad y absorción de agua. Índice de solubilidad en agua (ISA) e Índice de absorción de agua (IAA) se realizó de acuerdo a la metodología Anderson *et al.* 1969 modificada (Anderson 1982). El análisis se realizó por triplicado con 1 g de muestra en base húmeda, pesado en tubos de centrifugación tarados. Se adicionó 10 ml de agua destilada y luego los tubos fueron agitados mecánicamente por medio de un agitador para garantizar la homogeneidad. Posteriormente se sometió a baño maría a una temperatura de 30 °C con una agitación constante a 200 rpm durante 30 minutos. Luego los tubos se sometieron a centrifugación durante 15 minutos a 6000 rpm. El gel sedimentado, se separó por decantación, vaciando el sobrenadante en un plato Petri de vidrio. Se anotó el peso del tubo con el gel; por último, se evaporó el sobrenadante durante 4 h a 105 °C en un horno (Torres 2007).

El valor del ISA se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{ISA (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación (g)} \times 100}{\text{Peso seco de la muestra (g)}} \quad [1]$$

El valor del IAA se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{IAA (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación (g)} \times 100}{\text{Peso seco de la muestra (g)}} \quad [2]$$

Fase 4. Diseño experimental.

Para lograr la optimización de la tortilla con las características fisicoquímicas adecuadas se estableció un arreglo factorial delineado por la metodología de superficie de respuesta. El diseño propuesto se compone de 6 tratamientos, combinando las siguientes variables independientes: porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción en minutos de la tortilla, comparándose con un punto central que se fijó a partir de pruebas preliminares realizadas y valores recomendados por literatura y conocimiento técnico. Para realizar el análisis se estableció el número de tratamiento que fue calculado con la ecuación 3.

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

Dónde:

2^k = número de puntos factoriales

m = número de repeticiones del punto central.

$N = 2^2 + 2 = 6$ TRT

Para establecer los puntos o niveles expuestos (Cuadro 2) en los cuales el modelo recaería se realizaron pruebas preliminares de elaboración y cocción de las tortillas con los diferentes porcentajes de harina de grillo y recomendaciones encontradas en literatura para elaboración y cocción de tortillas de maíz.

Cuadro 2. Codificación de Variables independientes del experimento.

Variables Independientes	Niveles		
	-1	0	1
% Harina de grillo	10.00	15.00	20.00
Tiempo de cocción (minutos)	3.42	4.08	4.52

Realizada la distribución de los tratamientos en sus respectivos valores se descodificaron de la siguiente manera, los puntos uno, dos, tres y cuatro fueron los puntos factoriales positivos y negativos, en este caso los valores mínimos son representados con un signo negativo y los máximos con signo positivo (Cuadro 3). Para los puntos centrales se establecieron dos puntos centrales con la finalidad de demostrar la confiabilidad del experimento y capacidad técnica de los investigadores de conducir el experimento, lo que permite reducir la implementación de duplicados o el empleo de más valores o tratamientos replicados.

Cuadro 3. Decodificación del diseño experimental del proceso de elaboración de tortillas.

Tratamientos	Niveles de variables codificadas y sus Valores reales			
	Harina de grillo (%)	Tiempo de cocción (minutos)	Harina de grillo (%)	Tiempo de cocción (minutos)
1	-1	-1	10.00	3.42
2	-1	1	10.00	4.52
3	1	-1	20.00	3.42
4	1	1	20.00	4.52
5 ¶	0	0	15.00	4.08
6 ¶	0	0	15.00	4.08

¶: Punto central, Control

Análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó por medio de un análisis factorial del diseño compuesto para evaluar el efecto de cada factor en las características fisicoquímicas de las tortillas con diferentes porcentajes de harina de grillo y tiempos de cocción. Para ello se utilizó el programa Statistica 10.0[®]. Para determinar si el modelo fue significativo se utilizó la prueba de distribución de F comparando el F calculado con el F tabular, teniendo como criterio específico si el F calculado es superior al F tabular, para comprobar si el modelo es de naturaleza significativa. Con el uso de este programa se realizó un análisis de Varianza (ANOVA), con una probabilidad de ($p < 0.10$), de igual forma se determinó si el modelo fue predictivo o tendencioso de acuerdo a su R^2 . Si el R^2 es menor a 60 se dice que el modelo es tendencioso si este es mayor es predictivo (Rocha 2009).

Una vez realizado los análisis estadísticos y determinados la significancia de cada factor se realizaron los gráficos de Superficie de respuesta utilizando el programa Statistica 10.0[®]. De igual forma las ecuaciones predictivas fueron realizadas por un análisis de regresión de segundo orden.

Fase 5. Elaboración de las tortillas en base al diseño experimental.

Las tortillas se elaboraron a partir de harina de grillo y masa de maíz obtenida del proceso de nixtamalización. Se pesó y mezcló los ingredientes (harina de grillo, masa de maíz nixtamalizada). Seguidamente se moldeó la tortilla de aproximadamente 12 cm de diámetro, con un grosor de 1.8 y 2.1 mm de grosor. El peso de cada tortilla fue de 30 g, la cocción fue a una temperatura de 180 - 220°C, para finalmente empacarlas en bolsas de polietileno de baja densidad (Cuadro 4 y Figura 1).

Cuadro 4. Formulación y codificación de los tratamientos de tortilla de maíz, con harina de grillo.

Ingredientes (%)	Peso en gramos	
	Harina de grillo	Masa de maíz
10% Harina de grillo	3.00	27.00
15% Harina de grillo	4.50	25.50
20% Harina de grillo	6.00	24.00

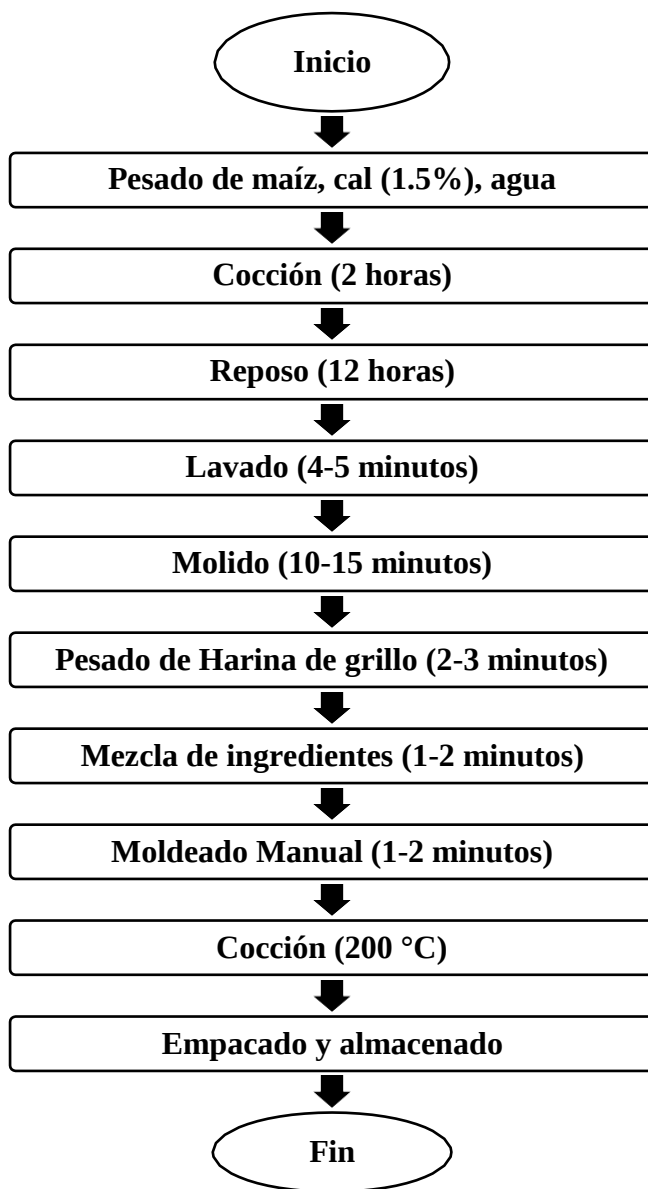


Figura 1. Flujo de proceso para la elaboración de tortilla de maíz con harina de grillo.

Análisis de proteína, color y textura de las tortillas de maíz con harina de grillo.

A cada uno de los tratamientos se le realizó análisis de proteína cruda por el método AOAC 2001.11. Para el análisis de color se utilizó el colorímetro Colorflex Hunter Lab equipo que mide los valores de L*, a*, b* que describen los colores y tres ejes de coordenadas.

Los análisis de textura se realizaron utilizando el Instron 4444, con el acople de guillotina, con el cual se evaluó la fuerza de corte (Newtons), también se evaluó la elongación (Newtons) de cada uno de los tratamientos.

Análisis de costos de formulación.

Se consideraron únicamente los costos variables de las materias primas utilizadas en la elaboración de la tortilla del tratamiento óptimo. Lo anterior fue comparado con el precio comercial de la harina de maíz utilizada para ver el costo incremental.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de materias primas.

La caracterización de las materias primas utilizadas para la elaboración de la tortilla donde por medio de análisis químicos y físicos se determinó el aporte nutricional que las harinas de grillo y maíz tienen en el alimento desarrollado.

Al observar los resultados obtenidos de los análisis químicos de las harinas de grillo y maíz (cuadro 5). Los valores de humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra, proteína y carbohidratos encontrados en la harina de maíz cumplen con los valores establecidos para harinas utilizadas en la elaboración de tortillas (FAO 2014).

Los valores de humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra, proteína y carbohidratos encontrados en la harina de grillo cumplen con los valores establecidos para harinas de grillos industrializadas (Entomo Farms 2017).

Cuadro 5. Análisis Químico de Harina de grillo (*Acheta domesticus*) y maíz (*Zea mays*).

Parámetro	Harina de grillo Contenido (%) $\pm$ DE	Harina de maíz Contenido (%) $\pm$ DE
Humedad	8.73 $\pm$ 0.03	9.79 $\pm$ 0.34
Cenizas	3.67 $\pm$ 0.01	1.32 $\pm$ 0.03
Extracto Etéreo	20.51 $\pm$ 0.26	3.69 $\pm$ 0.09
Fibra	6.46 $\pm$ 0.08	1.49 $\pm$ 0.03
Proteína	60.15 $\pm$ 0.27	6.54 $\pm$ 0.15
Carbohidratos	0.47 $\pm$ 0.28	77.17 $\pm$ 0.38

DE: Desviación estándar

La humedad encontrada en las harinas fue baja (8.73 y 9.79%) esto es favorable para mantener la estabilidad del producto. El contenido de proteína de la harina de grillo es mayor al valor encontrado en la harina de maíz nixtamalizada debido a que la harina de grillo contiene 60% de proteína vs. 6.54% de la harina de maíz. En el caso del extracto etéreo, la cantidad de grasa de la harina de grillo es mayor en comparación a la harina de maíz nixtamalizada. De la misma manera la harina de grillo presentó valores superiores en la cantidad de cenizas y fibra respectivamente. La harina de maíz nixtamalizada presento valores superiores en el contenido de carbohidratos en comparación a la harina de grillo (Soto 2004).

Al observar los resultados obtenidos de los análisis físicos de las harinas de grillo y maíz (cuadro 6), los valores de color, ISA, IAA y actividad de agua encontrados en la harina de maíz cumplen con los valores establecidos para harinas utilizadas en la elaboración de tortillas (FAO 2014). Los valores de color, ISA, IAA y actividad de agua encontrados en la harina de grillo cumplen con los valores establecidos para harinas de grillo industrializadas (Entomo Farms 2017).

Cuadro 6. Análisis Físico de Harina de grillo (*Acheta domesticus*) y maíz (*Zea mays*).

Parámetro	Harina de grillo Contenido $\pm$ DE	Harina de maíz Contenido $\pm$ DE
L*	41.04 $\pm$ 0.03	72.60 $\pm$ 0.23
a*	6.59 $\pm$ 0.02	1.08 $\pm$ 0.27
b*	17.89 $\pm$ 0.06	18.37 $\pm$ 0.42
ISA	2.28 $\pm$ 0.15	8.18 $\pm$ 0.24
IAA	3.61 $\pm$ 0.19	4.15 $\pm$ 0.39
Actividad de agua	0.65 $\pm$ 0.01	0.53 $\pm$ 0.04

DE: Desviación estándar

Valor a* mide los colores del verde al rojo, siendo a* (-) verde y a* (+) rojo.

Valor b* mide los colores del azul a amarillo, siendo b* (-) azul y b* (+) amarillo.

La granulometría del prototipo se ajustó a las del estándar de harina para tortillas, donde la mayor parte de las partículas se encuentran entre 60 y 80 partículas por pulgada cuadrada (mesh). El porcentaje correspondiente a partículas de mayor tamaño puede ser corregido mediante un mejor molido de los grillos al elaborar la harina para incorporarla al producto final (Entomo Farms 2017).

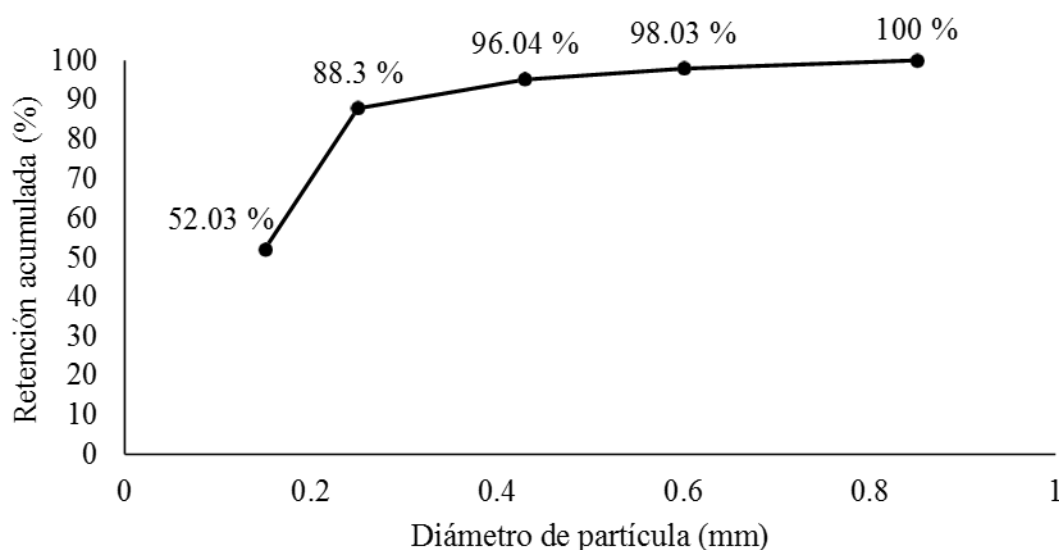


Figura 2. Granulometría presentada en la Harina de grillo (*Acheta domesticus*).

Análisis fisicoquímicos de los tratamientos.

Fuerza de corte.

El R^2 de la variable de fuerza de corte de la tortilla demuestra que un 93% de los datos fueron predichos por el modelo y solo un 7% de los mismos no pudieron ser explicados mediante el análisis (Cuadro 7). Esto permite la predicción de las respuestas dentro del rango de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

La falta de ajuste no fue significativa, se obtuvo un R^2 de 0.93216 y un F. calculado mayor al F. Tabular, por lo que el modelo se ajusta para ser de carácter predictivo (Thompson, 1982). La expresión matemática que representa la fuerza de corte (N) incluyó las variables independientes significativas (Cuadro 7) en la predicción de comportamientos de la variable dependiente estudiada, expresándose mediante la ecuación 4:

$$\text{Fuerza de corte (N)} = 1.43\text{E}+01 - 5.21\text{E}-01X_1 - 1.91\text{E}-01X_2 + 3.62\text{E}-02 X_1 \times X_2 \quad [4]$$

Se realizó una prueba F con 10% de significancia obteniendo un valor F calculado mayor al valor F tabular lo cual da validez para graficar. En base al modelo (ecuación 4) se creó un gráfico de superficie respuesta (Figura 3), donde se muestra un cambio en la fuerza de corte sobre el aumento de la harina de grillo en la elaboración de la tortilla en la relación harina de grillo y harina de maíz nixtamalizada.

Cuadro 7. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en la fuerza de corte (N) en las tortillas elaboradas.

Coeficientes	Fuerza de Corte (Newtons)	Probabilidad
Curvatura		0.045338 §
Intercepto	1.43E+01	1.23E-02 §
X ₁	-5.21E-01	2.14E-02 §
X ₂	-1.91E-01	2.21E-01 §
X ₁ *X ₂	3.62E-02	7.65E-02 §
Falta de ajuste		4.53E-02
R ²		0.93216
F. Calculado > F. tabular		84.35 > 9.16

X₁: Proteína (%), X₂: Tiempo de cocción (min), n.s.: No significativo §: Significativa a una probabilidad < 0.10.

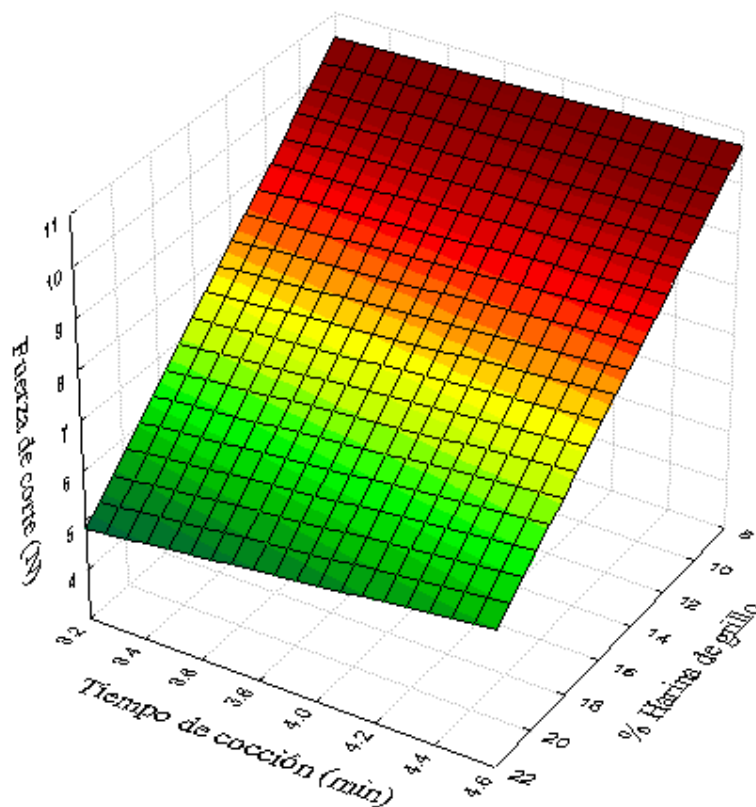


Figura 3. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en la fuerza de corte (N).

Sí se presentó un cambio en la fuerza de corte de los tratamientos relacionado a los distintos porcentajes de harina de grillo. Amador (2009) reportó un comportamiento en donde se muestra una diferencia significativa en la fuerza de corte de las tortillas al sustituir la harina de maíz nixtamalizada por harinas de amaranto y soya. Figueroa *et al.* (2010) sustentan que el efecto de la disminución de la fuerza de corte en una tortilla puede darse al incremento de la sustitución de otras harinas por la harina de maíz.

Los resultados obtenidos por los anteriores autores son similares al estudio pues al reducir la cantidad de harina de maíz nixtamalizada siendo sustituida por harina de grillo en un 10, 15 y 20% la fuerza de corte se reduce significativamente (Figura 3).

Para el caso de la variable tiempo de cocción esta no fue significativa en la variable de fuerza de corte, debido a que no se encontraron diferencias entre los tratamientos realizados con los diferentes tiempos de cocción. Jiménez *et al.* (2012) reportaron que las características físicas de una tortilla no son modificadas significativamente con respecto a los diferentes tiempos de cocción, a su vez reportó que la sustitución de otras harinas sí modifica la fuerza de corte debido a que se reduce el contenido de almidón que es aportado por la harina de maíz el cual determina las características físicas de una tortilla.

El R^2 de la variable de fuerza de elongación de la tortilla demuestra que un 91% de los datos fueron predichos por el modelo y solo un 9% de los mismos no pudieron ser explicados mediante el análisis (Cuadro 8). Esto permite la predicción de las respuestas dentro del rango de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

La falta de ajuste no fue significativa, se obtuvo un R^2 de 0.91428 y un F. calculado mayor al F. Tabular, por lo que el modelo se ajusta para ser de carácter predictivo (Thompson, 1982). La expresión matemática que representa la fuerza de elongación (N) incluyó las variables independientes significativas (Cuadro 8) en la predicción de comportamientos de la variable dependiente estudiada, expresándose mediante la ecuación 5:

$$\text{Elongación (N)} = 4.92\text{E}+00 - 1.05\text{E}-01X_1 - 1.59\text{E}-01X_2 - 6.36\text{E}-04 X_1 \times X_2 \quad [5]$$

Se realizó una prueba F con 10% de significancia obteniendo un valor F calculado mayor al valor F tabular lo cual da validez para graficar. En base al modelo (ecuación 5) se creó un gráfico de superficie respuesta (Figura 4), donde se muestra un cambio en la fuerza de elongación sobre el aumento de la harina de grillo en la elaboración de la tortilla en la relación harina de grillo y harina de maíz nixtamalizada.

Cuadro 8. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en la elongación (N) en las tortillas elaboradas.

Coeficientes	Elongación (Newtons)	Probabilidad
Curvatura		0.147998 n.s.
Intercepto	4.92E+00	2.84E-02 §
X ₁	-1.05E-01	8.36E-02 §
X ₂	-1.59E-01	2.11E-01 §
X ₁ *X ₂	-6.36E-04	8.85E-01 §
Falta de ajuste		1.48E-01
R ²		0.91428
F. Calculado > F. tabular		173.96 > 9.00

X₁: Proteína (%), X₂: Tiempo de cocción (min), n.s.: No significativo §: Significativa a una probabilidad < 0.10.

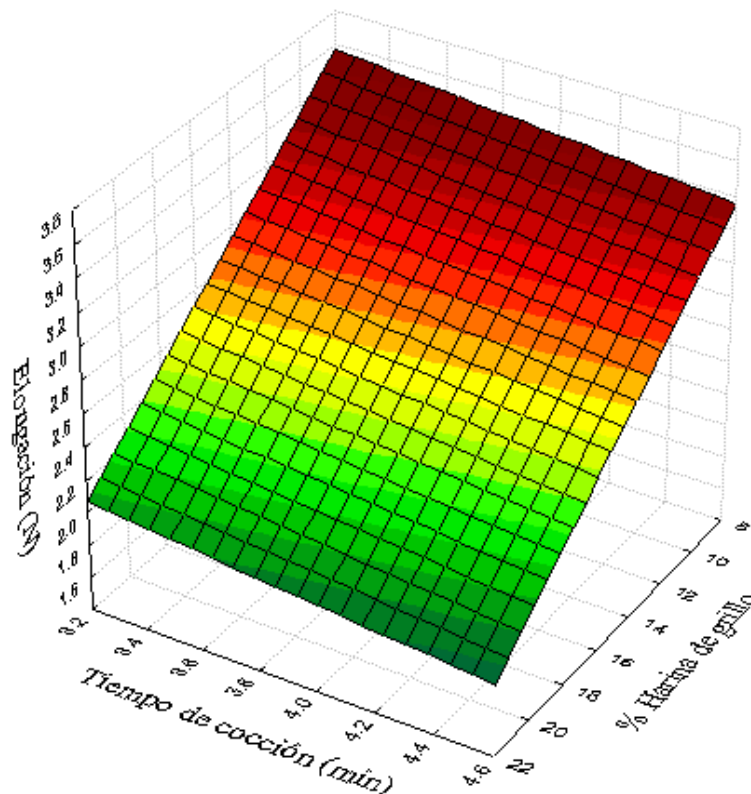


Figura 4. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en la elongación (N).

Sí se presentó un cambio en la fuerza de elongación de los tratamientos relacionado a los distintos porcentajes de harina de grillo. Amador (2009) reportó un comportamiento en donde se muestra una diferencia significativa en la fuerza de elongación de las tortillas al sustituir la harina de maíz nixtamalizada por harinas de amaranto y soya. Figueroa *et al.* (2010) sustentan que el efecto de la disminución de la fuerza de elongación en una tortilla puede darse al incremento de la sustitución de otras harinas por la harina de maíz.

Los resultados obtenidos por los anteriores autores son similares al estudio pues al reducir la cantidad de harina de maíz nixtamalizada siendo sustituida por harina de grillo en un 10, 15 y 20% la fuerza de elongación se reduce significativamente (Figura 4).

Para el caso de la variable tiempo de cocción esta no fue significativa en la variable de fuerza de elongación, debido a que no se encontraron diferencias entre los tratamientos realizados con los diferentes tiempos de cocción. Jiménez *et al.* (2012) reportaron que las características físicas de una tortilla no son modificadas significativamente con respecto a los diferentes tiempos de cocción, a su vez reportó que la sustitución de otras harinas si modifica la fuerza de elongación debido a que se reduce el contenido de almidón que es aportado por la harina de maíz el cual determina las características físicas de una tortilla.

El R^2 de la variable luminosidad de la tortilla demuestra que un 92% de los datos fueron predichos por el modelo y solo un 8% de los mismos no pudieron ser explicados mediante el análisis (Cuadro 9). Esto permite la predicción de las respuestas dentro del rango de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

La falta de ajuste no fue significativa, se obtuvo un R^2 de 0.92236 y un F. calculado mayor al F. Tabular, por lo que el modelo se ajusta para ser de carácter predictivo (Thompson, 1982). La expresión matemática que representa la luminosidad incluyó las variables independientes significativas (Cuadro 9) en la predicción de comportamientos de la variable dependiente estudiada, expresándose mediante la ecuación 6:

$$\text{Luminosidad} = 4.89\text{E}+01 - 2.14\text{E}-01X_1 - 9.91\text{E}-01X_2 - 1.27\text{E}-02 X_1 \times X_2 \quad [6]$$

Cuadro 9. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en la luminosidad en las tortillas elaboradas.

Coeficientes	Luminosidad	Probabilidad
Curvatura		0.210454 n.s.
Intercepto	4.89E+01	2.86E-02 §
X ₁	-2.14E-01	3.66E-01 §
X ₂	-9.91E-01	3.22E-01 §
X ₁ *X ₂	-1.27E-02	7.76E-01 §
Falta de ajuste		2.10E-01
R ²		0.92236
F. Calculado > F. tabular		25.76 > 9.00

X₁: Proteína (%), X₂: Tiempo de cocción (min), n.s.: No significativo §: Significativa a una probabilidad <0.10.

Se realizó una prueba F con 10% de significancia obteniendo un valor F calculado mayor al valor F tabular lo cual da validez para graficar. En base al modelo (ecuación 6) se creó un gráfico de superficie respuesta (Figura 5), donde se muestra un cambio en la luminosidad sobre el aumento de la harina de grillo en la elaboración de la tortilla en la relación harina de grillo y harina de maíz nixtamalizada.

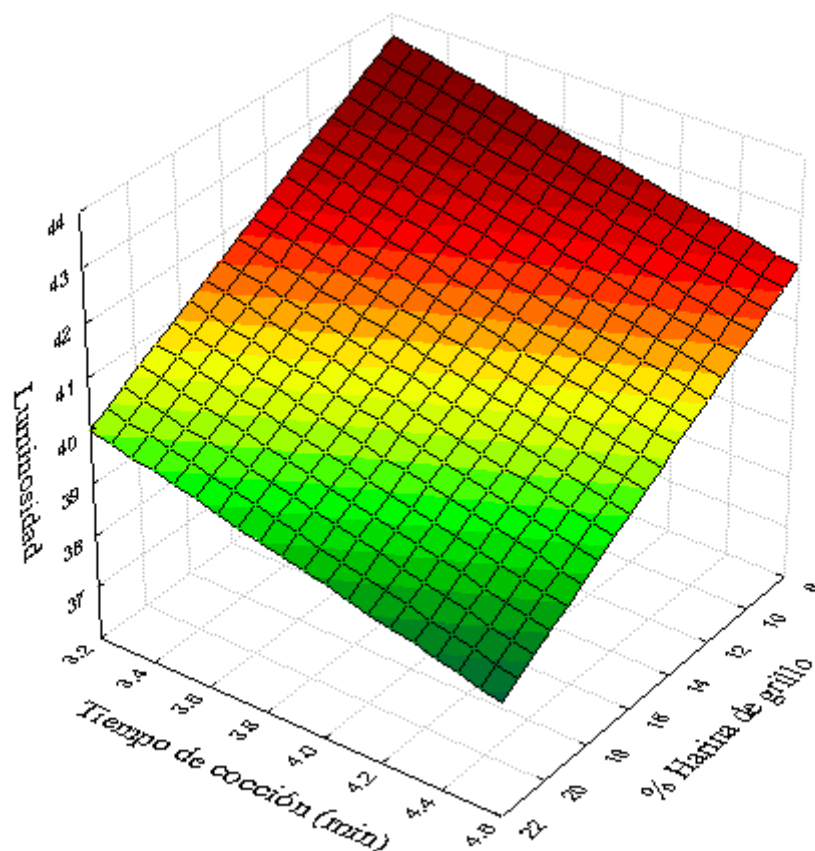


Figura 5. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en la luminosidad.

Si se presentó un cambio en la variable luminosidad de los tratamientos relacionado a los distintos porcentajes de harina de grillo. Amador (2009) reportó un comportamiento en donde se muestra una diferencia significativa en la luminosidad de las tortillas al sustituir la harina de maíz nixtamalizada por harinas de amaranto y soya. Quintero *et al.* (2014) sustentan que el efecto de la disminución de la luminosidad en una tortilla puede darse al incremento de la sustitución de la harina de maíz por otras harinas que sean de colores más pardos u oscuros. Los resultados obtenidos por los anteriores autores son similares al estudio pues al reducir la cantidad de harina de maíz nixtamalizada siendo sustituida por harina de grillo en un 10, 15 y 20% los valores de luminosidad se reducen significativamente (Figura 5).

Para el caso de la variable tiempo de cocción esta fue significativa en la variable de luminosidad, debido a que no se encontraron diferencias entre los tratamientos realizados con los diferentes tiempos de cocción. Vásquez *et al.* (2011) reportó que los valores de luminosidad de una tortilla son modificadas significativamente con respecto a los diferentes tiempos de cocción, esto debido a la concentración o reacciones de los compuestos de las diferentes harinas que son usadas que varían en relación al tiempo que son expuestos a diferentes tiempos a cierta temperatura.

El R^2 de la variable contenido de proteína de la tortilla demuestra que un 89% de los datos fueron predichos por el modelo y solo un 11% de los mismos no pudieron ser explicados mediante el análisis (Cuadro 10). Esto permite la predicción de las respuestas dentro del rango de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

Cuadro 10. Coeficiente de regresión y su probabilidad del modelo de regresión lineal aplicado en el contenido de proteína (%) en las tortillas elaboradas.

Coeficientes	% Proteína	Probabilidad
Curvatura		0.102284 n.s.
Intercepto	1.04E+01	1.33E-01 §
X ₁	6.26E-01	1.39E-01 §
X ₂	3.91E-01	6.06E-01 §
X ₁ *X ₂	-4.91E-02	3.92E-01 §
Falta de ajuste		1.02E-01
R ²		0.89299
F. Calculado > F. tabular		26.56 > 8.53

X₁: Proteína (%), X₂: Tiempo de cocción (min), n.s.: No significativo §: Significativa a una probabilidad <0.10.

La falta de ajuste no fue significativa, se obtuvo un R^2 de 0.89299 y un F. calculado mayor al F Tabular, por lo que el modelo se ajusta para ser de carácter predictivo (Thompson, 1982). La expresión matemática que representa el contenido de proteína (%) incluyó las variables independientes significativas (Cuadro 10) en la predicción de comportamientos de la variable dependiente estudiada, expresándose mediante la ecuación 7:

$$\text{Proteína (\%)} = 1.04\text{E}+01 + 6.26\text{E}-01X_1 + 3.91\text{E}-01X_2 - 4.91\text{E}-02 X_1 \times X_2 \quad [7]$$

Se realizó una prueba F con 10% de significancia obteniendo un valor F calculado mayor al valor F tabular lo cual da validez para graficar. En base al modelo (ecuación 7) se creó un gráfico de superficie respuesta (Figura 6), donde se muestra un cambio en el contenido de proteína sobre el aumento de la harina de grillo en la elaboración de la tortilla en la relación harina de grillo y harina de maíz nixtamalizada.

Sí se presentó un aumento en el contenido de proteína de los tratamientos relacionado a los distintos porcentajes de harina de grillo. Amador (2009) reportó un comportamiento en donde se muestra una diferencia significativa en el contenido proteico de las tortillas al sustituir la harina de maíz nixtamalizada por harinas de amaranto y soya. Figueroa *et al.* (2010) sustentan que el efecto del incremento de proteína en una tortilla puede darse al sustituir la harina de maíz por otras harinas que contienen mayor valor proteico.

Los resultados obtenidos por los anteriores autores son similares al estudio pues al reducir la cantidad de harina de maíz nixtamalizada siendo sustituida por harina de grillo en un 10, 15 y 20% el porcentaje de proteína aumenta significativamente (Figura 6).

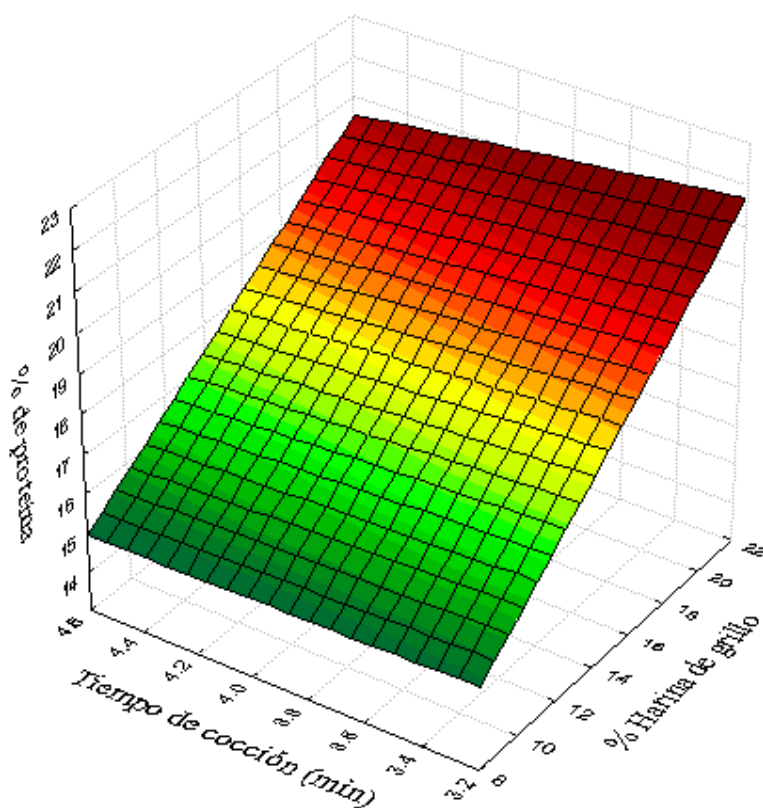


Figura 6. Efecto del porcentaje de harina de grillo y tiempo de cocción (minutos) en el porcentaje de proteína.

Para el caso de la variable tiempo de cocción esta no fue significativa en la variable de contenido de proteína, debido a que no se encontraron diferencias entre los tratamientos realizados con los diferentes tiempos de cocción. Soto (2012) reportó que el contenido proteico de una tortilla no es modificado significativamente con respecto a los diferentes tiempos de cocción, a su vez reportó que la sustitución de otras harinas con alto valor proteico sí modifica el contenido proteico de una tortilla.

En la (figura 7) se observa un análisis de los puntos óptimos en la cual se obtiene el mayor porcentaje de proteína a cierto tiempo de cocción obteniendo las características físicas ideales para el consumidor. Se determinó que el punto óptimo de la elaboración de la tortilla fue al sustituir un 20% de harina de maíz nixtamalizada por harina de grillo a un tiempo equivalente de 3.42 minutos. Con estos puntos óptimos se busca reducir la fuerza de corte (N), fuerza de elongación (N) y aumentar la luminosidad que es importante atributo para el consumidor así como el contenido proteico de la tortilla. Sin embargo es necesario considerar puntos axiales o un desplazamiento de estos puntos para futuras investigaciones dado que los puntos estimados forman parte de los extremos del análisis factorial. Será importante al momento de dislocar utilizar el valor de 20% de harina de grillo y el valor de 3.42 minutos de cocción como puntos central para evaluar si hay una mejor respuesta de estos valores y hasta qué punto es factible producir esta tortilla.

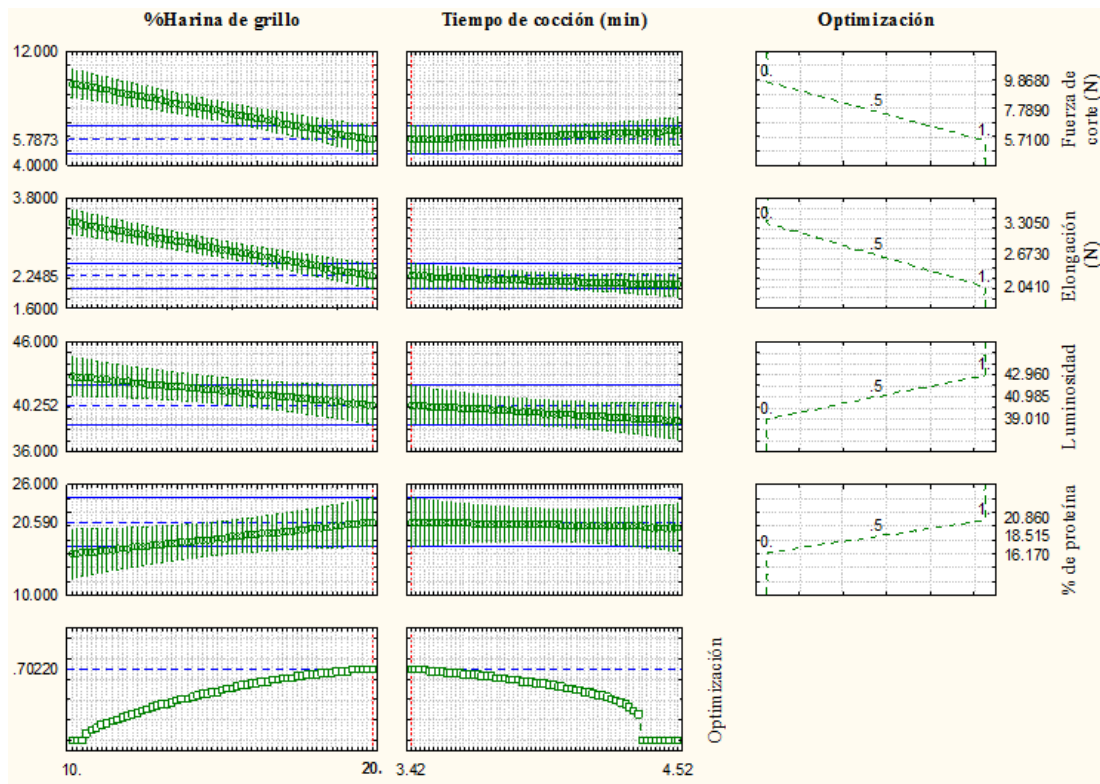


Figura 7. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y contenido de proteína en la elaboración de tortillas de maíz con harina de grillo.

Costos variables de formulación.

Para la elaboración de harina de grillo, Portillo (2017) reportó que el costo de producir un gramo de esta harina representa un valor de HNL 1.112, lo cual incrementa el valor final de la tortilla en relación a las cantidades a sustituir. El costo unitario de cada tortilla de maíz nixtamalizada y harina de grillo es de HNL. 7.248, este precio es mayor que el precio encontrado en el mercado hondureño que es de HNL 0.720 (El Heraldó 2015).

Cuadro 11. Costos variables de formulación de la tortilla óptima y una tortilla tradicional de 30 gramos.

Ingredientes	Tortilla óptima			Tortilla convencional	
	Costo L./g	Peso g	Costo (L.)	Peso g	Costo (L.)
Harina de maíz	0.024	24.000	0.576	30.000	0.720
Harina de grillo	1.112	6.000	6.672	0.000	0.000
Agua	0.000	5.900	0.000	5.900	0.000
Costo Total HNL			7.248		0.720
Costo Total USD			0.315*		0.031*

(*) Una tasa de cambio de HNL 23.00

4. CONCLUSIONES

- El porcentaje de sustitución de harina de maíz por harina de grillo que optimiza las características fisicoquímicas de una tortilla adicionada fueron 20.00% para harina de grillo aportando un 20.86% de proteína.
- En base a los tiempos que se establecieron para la cocción de las tortillas se determinó que la tortilla optimizada requiere un tiempo de 3.42 minutos a una temperatura de 200 °C.
- La tortilla optimizada tiene un costo de HNL 7.25, lo cual representa un costo elevado en comparación a la tortilla de maíz tradicional que tiene un precio de HNL 0.72 por unidad.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de vida de anaquel de la tortilla optimizada con 20% de proteína de grillo.
- Hacer un análisis en RVA para la evaluación de las propiedades de viscosidad de la tortilla elaborada.
- Realizar un análisis sensorial de aceptabilidad con una escala hedónica, en donde se puedan evaluar atributos de gusto o disgusto del consumidor en relación al producto.
- Realizar pruebas microbiológicas a la tortilla optimizada para verificar si cumple con los requerimientos microbiológicos para el consumo.

6. LITERATURA CITADA

Amador A. 2009. Desarrollo y evaluación de una tortilla de maíz con dos concentraciones de harina de soya (*Glycine max*) y harina de amaranto (*Amarantus hypochondriacus*) [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 33 p.

Anderson R. 1982. Water Absorption and Solubility and Amylograph Characteristics of Roll-Cooked Small Grain Products. *Cereal Chemistry*. 59(4):265–269.

El Heraldo. 2015. Golpe al consumidor: sube precio de la harina de maíz. (en línea). [Consultado 2017 sep 12]. Disponible en: <http://www.elheraldo.hn/content/view/full/7462>.

Entomo Farms. 2017. Organic Cricket Flour. Consultado 2017 jun 26: <http://www.entomofarms.com>.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2011. La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente. Consultado 2017 jun 21: <http://www.fao.org/docrep/018/i3264s/i3264s00.pdf>.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2014. Aprovechar el potencial de los insectos para el consumo. Consultado 2017 sep 15: <http://www.fao.org/news/story/es/item/231855/icode/>.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2014. El maíz en la nutrición humana. Consultado 2017 sep 13: <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm#Contents>

Figuerola L, Flores L, Martínez G. 2010. Caracterización de tortillas elaboradas con mezclas de sorgo y maíz. Consultado 2017 oct 13: <http://www.academicos.ugto.mx/memoria/PDF/s206-27.PDF>.

Jiménez J, Arámbula G, De la Cruz E, Aparicio M 2012. Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. Consultado 2017 jun 15: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n2/v28n2a4.pdf>.

Latimer G, Cunniff P. 2016. Official methods of analysis of AOAC International. 20th edition. Gaithersburg, Md.: AOAC International. 3172 p. ISBN: 0935584870.

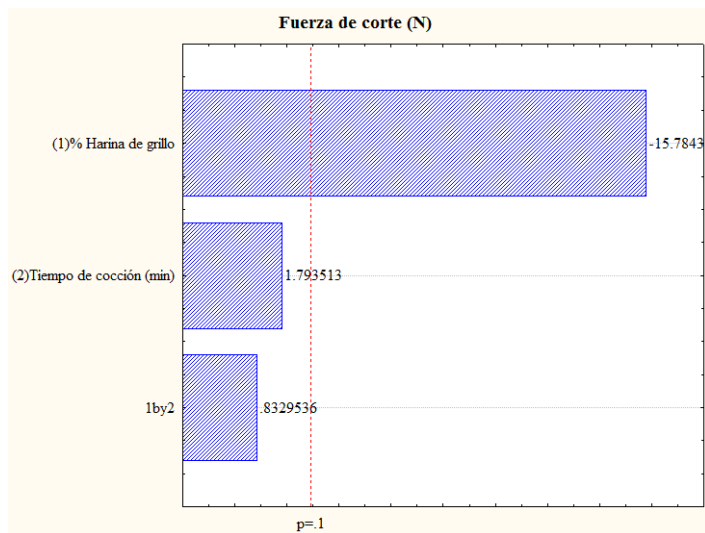
Luna M, Hinojosa R, Ayala G, Castillo G, Mejía C. 2012. Perspectiva de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 1-7.

Mauricio S, Figuerola C, Taba S, Reyes V, Rincón S, Mendoza G. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 213-222.

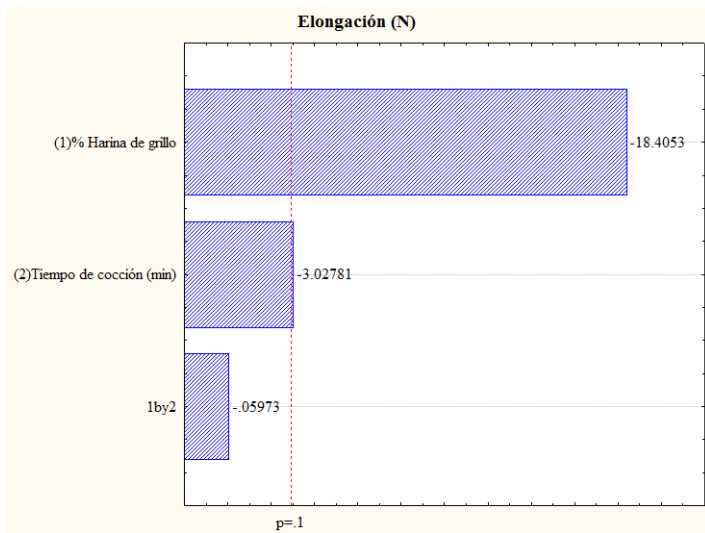
- Portillo E. 2017. Estimación piloto de los costos en la producción y proceso de harina de grillo (*Acheta domestica*), como fuente de proteína para dieta humana, en la finca Santa Marta, Morazán, El Salvador [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 17 p.
- Quintero A, González G, Solano A, Reyes G, Villanueva J, Bravo G. 2014. Caracterización de una tortilla tostada elaborada con maíz (*Zea mays*) y alga (*Ulva clathrata*) como prospecto de alimento funcional: [http://www.renc.es/imágenes/auxiliar/files/Web %20RENC%202014-1-art%204.pdf](http://www.renc.es/imágenes/auxiliar/files/Web%20RENC%202014-1-art%204.pdf).
- Rocha G. 2009. Obtencao e caracterizao de films biodegradáveis a partir de misturas de amido de amndioca e extrato protéico de soja [Tesis]. Programa de pos-graduación en Ciencias e Tecnologia de Alimentos, Rio de Janeiro, Brasil, Universidad Federal Rural do Rio de Janeiro. 70p. <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp087624.pdf>.
- Salinas M, Gómez M, Cervantes M, Sierra M, Palafox C, Betanzos M, Coutiño E. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico Húmedo y sub-húmedo de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1: 509-523.
- Sierra-Macías M, Palafox A, Vásquez G, Rodríguez F, Espinosa A. 2010. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano: [Consultado 2017 oct 10]. <http://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v21n1/a03v21n1.pdf>.
- Soto A. 2004. Desarrollo y evaluación de harina para tortillas a base de maíz y harina de soya parcialmente desgrasada [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 40 p.
- Thompson D. 1982. Response 25surface experimentation. Journal of food process and preservation, 6: 155 -158.
- Toro C. 2017. Bondades de la harina de grillo. Consultado 2017 jun 18: <https://www.arthrofood.co/single-post/2017/06/28/Esto-es-lo-que-dicen-los-expertos-sobre-la-harina-de-grillo>.
- Torres K. 2007. Optimización de la etapa de hidrólisis ácida en el proceso de fosfatación de almidón por extrusión para la encapsulación de aceite esencial de naranja [Tesis]. Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Instituto de ciencias básicas e ingeniería. 101 p.
- Vázquez CMG, JPM Pérez C, JM Hernández C, ML Marrufo D, E Martínez R. 2010. Calidad de grano y de tortilla de maíces del altiplano y valle de mezquital, México. Revista Fitotecnia Mexicana 33 (Núm. Especial 4): 49-56.
- Vásquez M., Ávila G., Hernández A., Castillo J., Ángulo O. 2011. Evaluación sensorial de tortillas de maíz recién elaboradas y empacadas: [Consultado 2017 nov 01]. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n1/v2n1a13.pdf>.

7. ANEXOS

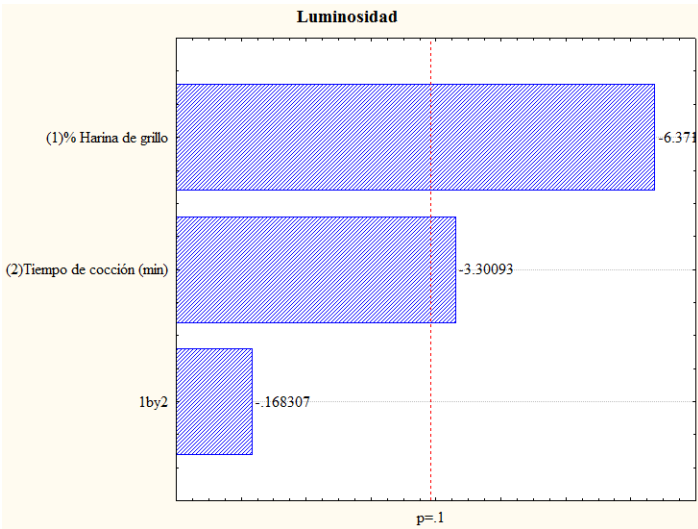
Anexo 1. Diagrama de Pareto de variables independientes en fuerza de corte (N).



Anexo 2. Diagrama de Pareto de variables independientes en fuerza de elongación (N).



Anexo 3. Diagrama de Pareto de variables independientes en luminosidad.



Anexo 4. Diagrama de Pareto de variables independientes en porcentaje de proteína.

