

Optimización de características fisicoquímicas de una tortilla con sustitución parcial de harina de maíz por adición de inulina y proteína de soya

**Carlos Fernando Peraza Salazar
Galo Andrés Vera Tinoco**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Optimización de características fisicoquímicas de una tortilla con sustitución parcial de harina de maíz por adición de inulina y proteína de soya

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

Carlos Fernando Peraza Salazar
Galo Andrés Vera Tinoco

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Optimización de características fisicoquímicas de una tortilla con sustitución parcial de harina de maíz por adición de inulina y proteína de soya

Carlos Fernando Peraza Salazar

Galo Andrés Vera Tinoco

Resumen. La tortilla es un producto altamente consumido en Honduras; se podría incrementar su valor nutricional mediante la adición de proteína y fibra. El concentrado de soya contiene 65% de proteína, y la inulina adiciona fibra y actúa como prebiótico. Los objetivos de este estudio fueron determinar el nivel de sustitución de harina de maíz por concentrado de soya e inulina que optimice características fisicoquímicas de tortillas, determinar la discriminación sensorial de la formulación optimizada y los costos variables de formulación. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta con tres variables independientes: concentrado de proteína de soya (0-32.29%), inulina (0-4.32%) y tiempo (2.5-3.5 minutos) de cocción. Las variables dependientes fueron índice de absorción en agua, índice de solubilidad en agua, fuerza de corte y elongación. Se comparó la tortilla optimizada contra un control a través de las variables dependientes. Se realizó un análisis microbiológico por NMP (Coliformes totales y fecales). Posteriormente, se hizo una prueba sensorial ABX donde se determinó por medio de Chi Cuadrado (X^2) que el tratamiento fue igual al control ($P < 0.05$). La optimización fue de 4% de inulina, 13.45% de concentrado de soya y 3.11 minutos de cocción en la tortilla. La tortilla optimizada fue 5.58 veces más cara que una tortilla convencional. Finalmente, se hizo un análisis proximal a la tortilla optimizada y el control para comparar el incremento nutricional mediante una prueba estadística T. La tortilla optimizada presentó diferencias significativas en el aumento de proteína (130%), fibra (52%), cenizas (189%) y reducción de grasa (158%).

Palabras clave: ABX, alimento funcional, fuente de fibra, incremento nutricional, tortilla adicionada.

Abstract. The tortilla is a product highly consumed in Honduras; its nutritional value by adding protein and fiber. Soybean concentrate contains 65% protein and inulin adds fiber and acts as a prebiotic. The objectives of this study were to determine the level of substitution of corn flour by soybean concentrate and inulin to optimize the physicochemical characteristics of tortillas, determine the sensorial discrimination of the optimized formulation and the variable costs on tortilla formulation. The response surface methodology was used with three independent variables: soybean protein concentrate (0-32.29%), inulin (0-4.32%) and cooking time (2.5-3.5 minutes). The dependent variables were water absorption index, water solubility index, shear force and elongation. The optimized tortilla was compared against a control through the dependent variables. Microbiological analysis was performed by NMP (total and fecal coliforms). Subsequently, an ABX sensory test was performed where it was determined by means of Chi Square (X^2) that the treatment was equal to the control ($P < 0.05$). The optimization was 4% of inulin, 13.45% of soybean concentrate and 3.11 minutes of cooking time in the tortilla. The optimized tortilla was 5.58 times more expensive than a conventional tortilla. Finally, a proximate analysis of the optimized tortilla and control was performed to compare the nutritional increment with a statistical test T. The optimized tortilla presented significant differences in the increase of protein (130%), fiber (52%), ashes (189%) and fat reduction (158%).

Key words: ABX, added tortilla, fiber source, functional food, nutritional increase

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.....	13
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.	5
2. Niveles de las variables independientes para la elaboración de tortillas de maíz con adición de proteína de soya e inulina.	5
3. Delineamiento del diseño experimental completo.	6
4. Formulación de los tratamientos para la elaboración de tortillas de maíz con adición de proteína de soya e inulina.	8
5. Índice de absorción en agua de tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.	13
6. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de absorción en agua (IAA).	14
7. Índice de solubilidad en agua (%) en tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.	16
8. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de solubilidad en agua (ISA).	17
9. Fuerza de corte (N) en tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.	20
10. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para fuerza de corte.	21
11. Elongación en Newton (N) de tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.	23
12. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para elongación.	24
13. Diferencia de color (ΔE) en tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.	26
14. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para cambio de color (ΔE).	27
15. Resultados del análisis sensorial.	30
16. Promedios y desviación estándar de análisis fisicoquímicos entre el tratamiento óptimo y control mediante una prueba T.	31
17. Promedios y desviación estándar de análisis proximal entre el tratamiento óptimo y el control.	31
18. Costos variables del tratamiento óptimo y control en la elaboración de una tortilla adicionada de 30 g.	33

Figuras	Página
1. Flujo de proceso para la elaboración de tortilla de maíz adicionada.	7
2. Efecto del porcentaje inulina y porcentaje de concentrado de proteína de soya sobre el índice de absorción en agua (IAA) en una tortilla adicionada.	15
3. Efecto del porcentaje inulina y tiempo (min) de cocción sobre el índice de absorción en agua (IAA) en una tortilla adicionada.	16
4. Efecto del porcentaje inulina y porcentaje de concentrado de proteína de soya sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) en una tortilla adicionada...	18
5. Efecto del porcentaje inulina y tiempo (min) de cocción en el índice de solubilidad en agua (ISA) en una tortilla adicionada.	19
6. Efecto de adición del porcentaje de inulina y porcentaje de concentrado de proteína de soya sobre la fuerza de corte (N) de una tortilla adicionada.....	22
7. Efecto del porcentaje de adición de proteína de soya y tiempo de cocción en la elongación (N) en una tortilla adicionada.	25
8. Efecto del porcentaje de concentrado de proteína de soya y porcentaje de inulina en el cambio de color (ΔE) en una tortilla adicionada.	28
9. Valores óptimos de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas en la fortificación de una tortilla de maíz, mostrando las proporciones óptimas	29

Anexos	Página
1. Etiqueta nutricional mediante Software Genesis.	41
2. Formato de análisis sensorial.	41
3. Resultado de prueba presuntiva para coliformes totales de la muestra control y la muestra óptima de tortilla adicionada.	42
4. Resultado de prueba confirmatoria para coliformes totales y fecales para la muestra control de tortilla.....	42
5. Resultado de prueba confirmatoria para coliformes totales y fecales para la muestra óptima de tortilla.....	42

1. INTRODUCCIÓN

La dieta centroamericana ha sido estudiada por largo tiempo por nutricionistas, que indican que la mayor parte de Centroamérica basa su alimentación en cereales y algunas leguminosas como: maíz, frijol, trigo y arroz (INCAP 1993). Por otra parte, la seguridad alimentaria es la condición en que las personas gozan, continua y permanentemente de alimentos necesarios en calidad y cantidad (INCAP 2004).

En Honduras, las enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, hipertensión y desnutrición han ido incrementando y esto se debe al consumo monótono de ciertos alimentos y por la pobre variedad e inclusión de alimentos no nutritivos en la dieta (ONU *et al.* 2013). La inclusión de alimentos que suplan las necesidades nutricionales están en incremento, la población está dispuesta a consumir productos que sean funcionales.

Para que un alimento sea funcional debe de aportar algo beneficioso para la salud aparte de sus efectos nutricionales convencionales (González *et al.* 2014). Dentro de esta categoría se encuentra la soya, que es la leguminosa con mayor cantidad y calidad de proteína, se utiliza en alimentos para fortificar productos a base de cereales como el maíz y trigo (De Luna 2007). El concentrado de proteína de soya contiene entre 65-70% de proteína en base seca (USSEC 2008). El concentrado de proteína puede añadirse en productos alimenticios para suplir necesidades proteicas.

La inulina, tiene importantes beneficios para la salud. Actúa como fuente de fibra y prebiótico y tiene beneficios como la reducción de cáncer de colon, diabetes, enfermedades cardiovasculares, osteoporosis (Lara 2011). La inulina es utilizada industrialmente como ingrediente funcional, contiene bajos contenidos calóricos, mejora la biodisponibilidad de Calcio y Magnesio, regula parámetros lipídicos, actúa como espesante, gelificante y está presente en muchos vegetales y frutas. Es extraída industrialmente de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) (Madrigal y Sangronis 2007).

En el mercado no hay tortillas de maíz adicionadas con inulina, ni proteína en cantidad y calidad suficiente para tener una dieta balanceada. Se han hecho investigaciones del comportamiento de propiedades fisicoquímicas en tortillas de maíz. Figueroa *et al.* (2003) elaboraron una tortilla fortificada con proteína de soya y vitaminas, teniendo efectos positivos en las propiedades nutricionales. Así mismo, Quintero *et al.* (2014) adicionaron alga *ulva clathrata* como alimento funcional en una tortilla de maíz, teniendo como resultado incremento del porcentaje de fibra soluble.

La presente investigación y desarrollo de producto se basó en agregar proteína de soya e inulina en una tortilla de maíz optimizando sus propiedades fisicoquímicas, determinando

el tiempo de cocción y mejorando su perfil nutricional, por lo que, el presente estudio tuvo los siguientes objetivos.

- Determinar el nivel de sustitución de harina de maíz por concentrado de proteína de soya e inulina que optimice las características fisicoquímicas de una tortilla adicionada.
- Realizar una caracterización exploratoria de las propiedades fisicoquímicas de formulación del tratamiento óptimo y determinar la discriminación de los consumidores entre la formulación óptima y el control.
- Realizar un análisis proximal exploratorio determinando el incremento nutricional de la tortilla optimizada comparándola con una tortilla convencional de harina de maíz.
- Determinar los costos variables de formulación del tratamiento óptimo y del tratamiento control.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización.

El estudio se realizó en la Planta de Innovación de Alimentos y en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano, ubicados en la Escuela Agrícola Panamericana en el km 32 al Este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán, Honduras, C.A.

Materia prima.

Para la elaboración de tortilla de maíz, se utilizó harina de maíz blanca nixtamalizada marca Nutrimasa®, concentrado de proteína de soya (ARCON® ST 066-449) de la empresa ADM e inulina en polvo marca Jetsu ®.

Equipo.

Plancha electrica, termómetro láser, balanza de precisión, tortillero manual de rodillo.

Optimización de elaboración de tortilla de maíz con adición de proteína de soya e inulina.

Las variables independientes analizadas fueron porcentaje de concentrado de proteína de soya, inulina y tiempo de cocción de la tortilla.

La selección de las variables dependientes se hizo mediante parámetros fisicoquímicos que intervienen en el comportamiento de una tortilla de maíz comercial. El estudio realizado por García y Vázquez (2016) evaluó el comportamiento del índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA) en masa y harina de maíz nixtamalizado. Así mismo, el estudio realizado por Contreras (2009) caracterizó harina de maíz instantánea y estudió el comportamiento de tensión y fuerza de corte. La amplitud en el rango de las variables se determinó en base a literatura consultada (Castor 2011).

Se realizaron pruebas preliminares para ajustar la metodología experimental, para relacionar en la formulación de la tortilla; el nivel de concentrado de proteína de soya, el nivel de inulina y el tiempo de cocción de la tortilla, para luego establecer el diseño experimental. Una vez establecidas las pruebas preliminares se obtuvieron los puntos centrales.

Para la elaboración de los tratamientos se usaron las variables inulina (%), concentrado de proteína de soya (%) y tiempo de cocción (minutos). Se usó un rango de inulina

de 0-4.002%, concentrado de proteína de soya de 0-33.64% y tiempo de cocción de 2-3.5 minutos.

Fase 1. Optimización en la elaboración de tortilla de maíz con sustitución parcial de proteína de soya e inulina.

Diseño experimental.

Se realizó un experimento factorial completo 2^3 estadísticamente delineado en la metodología de superficie de respuesta central compuesto de segundo orden con una probabilidad de significancia del 10% (Rodrigues 2015). Los parámetros del proceso de codificaron (-1, 0, +1), esto de acuerdo a la ecuación 1.

$$xi = \left(Xi - \frac{Z}{\Delta xi} \right) \quad [1]$$

Dónde:

xi= Valor codificado de la variable Xi

Xi= Valor real de la variable

Z= Valor real de la variable en el punto central

Δxi = Valor del intervalo de la variación de xi

Para obtener un entorno experimental más acotado se delinearón las variables axiales $-\alpha$ y $+\alpha$, este valor depende del número factorial ($F=2^k$), donde K es el número de variables independientes ($K=3$), los valores son definidos por la ecuación 2.

$$\pm\alpha = (F)^{\frac{1}{4}} = (2^k)^{\frac{1}{4}} = (2^3)^{\frac{1}{4}} = 1.682 \quad [2]$$

El número de unidades experimentales para esta metodología fue un diseño factorial completo definido por 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 réplicas del punto central

Se utilizaron tres variables independientes y tres niveles codificados usando un total de 20 unidades experimentales, siendo ocho factoriales, combinación de los niveles -1 y +1, seis axiales $-\alpha$ y $+\alpha$ y seis puntos centrales sirviendo como estimado del error experimental y determinando la precisión del modelo matemático (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental.

Expresión	Tratamientos	Cantidad puntos
$2^k=2^3$	8	Factoriales
$2k=2 \times 3$	6	Axiales
m	6	Puntos centrales

El análisis de los resultados experimentales se describe como el comportamiento de un sistema en el que se combinan tres variables independientes y una dependiente, donde la respuesta fue una función de los niveles en lo que se combinan, como se determina en la ecuación 4.

$$Y = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k) \quad [4]$$

Se realizó también un análisis de regresión para ajustar un polinomio de segundo orden con las variables independientes para cada variable respuesta. La expresión general utilizada para predecir el comportamiento de una respuesta es descrita en la ecuación 5.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon) \quad [5]$$

Dónde:

Y_i = Función respuesta

X_1, X_2, X_3 = Valores de variables independientes

β_0 = Coeficiente del intercepto del eje Y

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Coeficientes lineales encontrados por el método de mínimo cuadrados.

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ = Coeficientes de variables cuadráticas

β_{12} = Coeficiente de interacción entre variables independientes

ε = Error del experimento

El arreglo del modelo propuesto se evaluó por el método “regresión por pasos” y el análisis de residuos se clasificó como “falta de ajuste”, la comparación de la proporción de la varianza explicada por el modelo, se determinó mediante el r^2 . Así los coeficientes de la ecuación 5 del mejor modelo polinomio, fueron ajustados a las respuestas del diseño experimental. Los niveles de las variables independientes son descritos como la combinación de todos los niveles, axiales ($\alpha=$) y puntos centrales (Cuadro 2), estos son referentes a las proporciones utilizadas.

Cuadro 2. Niveles de las variables independientes para la elaboración de tortillas de maíz con adición de proteína de soya e inulina.

Variables	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Inulina (%)	0.00	0.81	2.00	3.19	4.00
Soya (%)	0.00	6.82	16.82	26.82	33.64
Tiempo de cocción (min)	2.50	2.70	3.00	3.30	3.50

El delineamiento del experimento comprende la expresión completa de todas las variables independientes codificadas y decodificadas las cuales fueron usadas para la obtención de los análisis de varianza y coeficientes de regresión, así como para la diagramación de la superficie de respuesta respectivamente (Cuadro 3).

Análisis estadístico.

Se realizó un análisis con un apego a la prueba F a 10% de significancia. El modelo de regresión fue significativo cuando el valor de la prueba F calculado fue mayor o igual al F tabular, con lo cual se trazó la superficie (Rodrigues 2015). El procesamiento de los datos se realizó con el programa Stadistica versión 7.0 para Windows, utilizando las variables independientes codificadas para la obtención de los coeficientes de regresión y las variables decodificadas para la generación de las superficies de respuesta.

Cuadro 3. Delineamiento del diseño experimental completo.

Tratamientos	Niveles Codificados			Niveles reales de variables		
	Inulina	Soya	Tiempo	Inulina (%)	Soya (%)	Tiempo (min)
1	-1	-1	-1	0.8	6.8	2.7
2	1	-1	-1	3.2	6.8	2.7
3	-1	1	-1	0.8	26.8	2.7
4	1	1	-1	3.2	26.8	2.7
5	-1	-1	1	0.8	6.8	3.3
6	1	-1	1	3.2	6.8	3.3
7	-1	1	1	0.8	26.8	3.3
8	1	1	1	3.2	26.8	3.3
9	-1.682	0	0	0.0	23.0	3.0
10	1.682	0	0	4.0	16.8	3.0
11	0	-1.682	0	2.0	0.0	3.0
12	0	1.682	0	2.0	33.6	3.0
13	0	0	-1.682	2.0	16.8	2.5
14	0	0	1.682	2.0	16.8	3.5
15 ©	0	0	0	2.0	16.8	3.0
16 ©	0	0	0	2.0	16.8	3.0
17 ©	0	0	0	2.0	16.8	3.0
18 ©	0	0	0	2.0	16.8	3.0
19 ©	0	0	0	2.0	16.8	3.0
20 ©	0	0	0	2.0	16.8	3.0

©: Punto central del experimento

Preparación de la tortilla.

Como se muestra en la Figura 1 para preparar la tortilla se utilizó harina de maíz blanca nixtamalizada marca Nutrimasa®, concentrado de proteína de soya (ARCON® ST 066-449) de la empresa ADM e inulina pura en polvo de raíz de achicoria marca Jetsu®. Se pesaron los ingredientes en una balanza analítica y se procedió a añadir agua (54%) a 35 °C a los ingredientes en seco (46%). Para realizar el amasado se añadió paulatinamente agua para evitar la formación de grumos. Se procedió a colocar la masa a un tortillero manual de rodillo, en donde se obtuvieron tortillas homogéneas con diámetro de 10 cm y grosor de 0.14 cm. Luego, se coció la tortilla en una plancha eléctrica a 200 °C. Para efectos de visualizar mejor las variables independientes se elaboraron las formulaciones con sus respectivas proporciones y medidas (Cuadro 4).

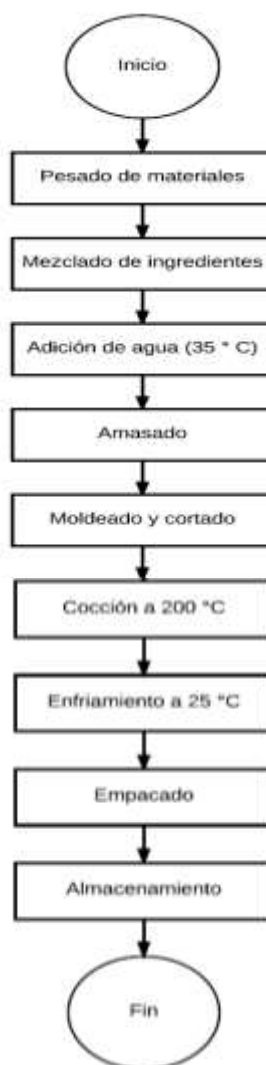


Figura 1. Flujo de proceso para la elaboración de tortilla de maíz adicionada.

Cuadro 4. Formulación de los tratamientos para la elaboración de tortillas de maíz con adición de proteína de soya e inulina.

Tratamientos	Harina de maíz (g)	Inulina (g)	Proteína de soya (g)	Tiempo (min)
1	121.0	0.9801	8.2522	2.7
2	119.0	3.7961	8.1158	2.7
3	102.0	0.8262	27.3564	2.7
4	100.0	3.1900	26.8200	2.7
5	121.0	0.9801	8.2522	3.3
6	119.0	3.7961	8.1158	3.3
7	102.0	0.8262	27.3564	3.3
8	100.0	3.1900	26.8200	3.3
9	106.0	0.0000	24.3800	3.0
10	108.0	4.3217	18.1656	3.0
11	128.0	2.5600	0.0000	3.0
12	96.0	1.9200	32.2944	3.0
13	110.0	2.2000	18.5020	2.5
14	110.0	2.2000	18.5020	3.5
15 ©	110.0	2.2000	18.5020	3.0
16 ©	110.0	2.2000	18.5020	3.0
17 ©	110.0	2.2000	18.5020	3.0
18 ©	110.0	2.2000	18.5020	3.0
19 ©	110.0	2.2000	18.5020	3.0
20 ©	110.0	2.2000	18.5020	3.0

© Puntos central del experimento

Análisis químicos.

Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA).

Se adaptó el método de (Anderson *et al.* 1969), donde se colocó 1 g de cada muestra en base húmeda con una granulometría menor de 0.5 mm en tubos de centrifuga de 15 ml, se adicionó 10 ml de agua destilada y se homogenizó en un agitador tipo Vortex. Posteriormente los tubos fueron llevados a un agitador con baño maría a 25 °C por 15 minutos. Con la muestra a temperatura de 25 °C se colocó por 25 minutos en una centrífuga a 4000 rpm. El líquido sobrenadante fue vertido en platos Petri previamente tarados y se llevó a un horno de aire forzado Fisher Scientific a 105 °C por cuatro horas. Luego, los platos fueron transferidos a un desecador por 30 minutos para enfriarlo y se procedió a pesar el residuo de evaporación. Para el cálculo del índice de solubilidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$ISA (\%) = \frac{\text{Peso del residuo evaporado (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100 \quad [6]$$

Después de la eliminación del sobrenadante, los tubos se pesaron, junto con la muestra y se aplicó la siguiente ecuación para determinar el índice de absorción de agua:

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo centrifugado (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \quad [7]$$

Análisis de color. Los análisis de color se hicieron utilizando el colorímetro Colorflex Hunter Lab que mide los valores de L, a*, b* que describen los colores en tres ejes de coordenadas.

L= luminosidad, en donde cero es negro y 100 es blanco.

a*= -80 a cero=verde, cero a 100=rojo.

b*= -100 a 0: azul y 0 a 70: amarillo.

ΔE= diferencia total del color.

La escala Lab fue transformada a valores ΔE mediante la ecuación 8. Con la que se encontró la diferencia de color en el espacio CIE L a*b*.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [8]$$

Análisis físicos.

Análisis de textura.

Se midió la fuerza de corte en Newton (N) que es la fuerza necesaria para romper la tortilla (fuerza de corte) y también la distancia en milímetros que la tortilla estiró (elongación) mediante el pico de deformación, fuerza y carga. Para hacer la medición se utilizó el equipo Brookfield CT3. Para hacer el análisis se adaptó el método de Arámbula *et al.* (1999) con una muestra de tortilla recortada rectangularmente con dimensiones de 10 cm de largo y 2.5 cm de ancho y 0.14 cm de grosor.

Fase 2. Comparación de tortilla de maíz elaborada con sustitución parcial de proteína de soya e inulina contra tortilla control.

Análisis proximal. Se realizó un análisis proximal a la tortilla optimizada y a una tortilla control elaborado únicamente con harina de maíz.

Análisis de humedad. Se determinó mediante el método AOAC 934.01 (OMA 2000). Se secaron previamente crisoles (C) en el horno de aire forzado a 105 °C Fisher Scientific durante toda la noche, se agregaron 3 ± 0.005 g de muestra y se registró el peso exacto (C+MH). Se sometieron los crisoles en un horno a 105 °C durante 18 horas. Al día siguiente se sacó los crisoles del horno y se dejó enfriar en el desecador por 30 min. Se pesó cada crisol con la muestra seca (C+MS) y se tomaron datos. Para la realización de los cálculos se tomó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{(C+MH)-(C+MS)}{(C+MH)-(C)} \times 100 \quad [9]$$

Análisis de ceniza. Se hizo con el método AOAC 923.02 (OMA 2000). Se secaron crisoles (C) en una mufla a 550°C por 12 horas, se agregó 3 ± 0.005 g de muestra y se anotó el peso exacto (C+MH). Se metieron los crisoles a incinerador a 550 °C por 6 horas, se apagó y se dejó enfriar a menos de 100 °C, se sacaron crisoles del incinerador y se enfriaron en desecador por 15 minutos. Se pesó cada crisol con la cantidad incinerada (C+CZ). Se utilizó la siguiente ecuación para calcular las cenizas de la muestra:

$$\% \text{Ceniza} = \frac{(C+MH)-(C+MS)}{(C+MH)-(C)} \times 100 \quad [10]$$

Análisis de grasa. El análisis de grasa se hizo con el método AOAC 991.36 (OMA 2000). Se pesó $3 \text{ g} \pm 0.0005$ g de muestra (Pm) dentro de dedales de celulosa, se añadió salitre y se secó a 105 °C por 30 minutos.

Al secarse por 30 minutos, se sacaron las tazas del horno previo al pesado (Pi). Transcurrido el secado de las muestras dentro de los dedales, se sometió al Soxtec con 80 ml de éter de petróleo, y se hizo la extracción correspondiente de grasa por 80 minutos hasta que la grasa fuera arrastrada de las tazas.

Luego, se extrajeron las tazas del equipo y se colocaron en un horno a 105 °C por 30 minutos con el objetivo de volatilizar el éter de petróleo residual de las tazas. Para finalizar, se pesaron las tazas hasta obtener el peso final (Pf). A través de la ecuación 11 se obtuvo el porcentaje de grasa contenido en 100 gramos de tortilla.

$$\% \text{Grasa} = \frac{(C+MH)-(C+MS)}{(C+MH)-(C)} \times 100 \quad [11]$$

Análisis de proteína. Se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano, mediante el método de Kjeldahl de la AOAC 2001.11 (OMA 2000). Para preparar las muestras, se pesó por duplicado 1 ± 0.0005 g de tortilla (Pi) en un papel parafinado, que fueron colocadas en un tubo de vidrio. Se le añadió pastillas de sulfato de potasio, para poder destruir la materia orgánica, se le añadió 15 ml de ácido sulfúrico, para poder proceder al digestor FOSS durante dos horas a 520 °C.

Luego, se sacaron los tubos del digestor y se empezó a operar el destilador Kjeltec para obtener una solución de nitrógeno concentrada para proceder a la titulación (T) del mismo con ácido clorhídrico para calcular el nitrógeno presente (%N) mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(T-0.1) \times (0.0928 \times 14.1)}{10 \times Pi} \times 100 \quad [12]$$

Para calcular el porcentaje de proteína se utilizó el factor de conversión de 6.25 para obtener el porcentaje de proteína mediante la ecuación 13.

$$\% \text{ Proteína} = \%N \times 6.25 \quad [13]$$

Fibra cruda. El análisis de fibra se hizo mediante el método AOAC 962.09 (Ankom 2006). Se hizo por duplicado, 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 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 14.

$$\% \text{ Fibra cruda} = 100 \times \frac{(Pt - (Pi \times Pb))}{Pm} \quad [14]$$

Donde:

Pt= peso total de muestra (muestra+bolsa)

Pi= peso bolsa

Pb= peso de la bolsa (blanco)

Pm= peso muestra

Carbohidratos. Para cuantificar los carbohidratos se utilizó la ecuación 14, mediante la diferencia del total (100%) de la sumatoria de los demás macronutrientes.

%Carbohidratos

$$= 100 - (\%grasa + \%proteína + \%cenizas + \%humedad + \%fibra \text{ cruda}) \quad [15]$$

Análisis estadístico. Para el análisis sensorial y comparación proximal entre tratamiento óptimo y control se hizo una separación de medias por medio de una prueba T por medio del programa estadístico SAS® para determinar si hubo diferencia significativas entre los tratamientos. Se usó una probabilidad del 95%.

Análisis microbiológico. Con la optimización se hizo el análisis microbiológico previo a la elaboración del análisis sensorial. Se hizo por medio de número más probable (NMP) para detección de *E.coli* en la tortilla adicionada, a través de conteo de Coliformes fecales y totales. Se verificaron las prácticas de buena manufactura para cumplir con las regulaciones del Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 2009).

Análisis sensorial discriminativo. Se hizo una prueba ABX discriminativa con el tratamiento optimizado y se comparó contra una tortilla control a base de harina de maíz. Las mediciones se hicieron mediante una prueba ABX en donde se colocaron tres muestras en dos combinaciones: dos muestras correspondientes al tratamiento optimizado y una muestra control. Se evaluaron un total de 100 panelistas no entrenados en la Feria Panamericana de Zamorano. Se utilizó un análisis de Chi cuadrado (X^2) con una

probabilidad del 95% ($P < 0.05$) para determinar si había diferencia significativa entre ambas muestras.

Análisis de costos. Se realizó mediante un análisis marginal de la tortilla de maíz optimizada, incluyendo los costos variables de elaboración, para calcular el precio unitario de la tortilla.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de absorción en agua (IAA).

En el cuadro 5 se muestran los resultados para índice de absorción en agua de los tratamientos realizados. El análisis para índice de absorción en agua presenta un coeficiente de variación menor a 70% ($R^2=0.5718$), lo que determina que el 57% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($p<0.10$). Además, se hizo una prueba F y el valor F calculado de 3.12 fue mayor al F tabular de 2.434. A razón que no todos los factores se cumplieron, se clasificó el modelo como tendencioso (Cuadro 6).

Cuadro 5. Índice de absorción en agua de tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.

Tratamiento	Inulina (%)	Proteína de soya (%)	Tiempo (min)	IAA (%)
T1	0.810	6.820	2.70	4.129
T2	3.190	6.820	2.70	4.133
T3	0.810	26.820	2.70	4.305
T4	3.190	26.820	2.70	4.277
T5	0.810	6.820	3.30	3.844
T6	3.190	6.820	3.30	4.235
T7	0.810	26.820	3.30	4.447
T8	3.190	26.820	3.30	3.494
T9	0.000	23.000	3.00	4.232
T10	4.002	16.820	3.00	3.715
T11	2.000	0.000	3.00	3.988
T12	2.000	33.640	3.00	4.100
T13	2.000	16.820	2.50	4.226
T14	2.000	16.820	3.50	4.257
T15 ©	2.000	16.820	3.00	4.299
T16 ©	2.000	16.820	3.00	2.217
T17 ©	2.000	16.820	3.00	4.607

©: Punto central del experimento

Cuadro 6. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de absorción en agua (IAA).

Variable	Coeficiente	P
Intercepto	4.40230	0.000011
X ₁	-0.09284	0.10416 ^{ns}
X ₁ ²	-0.13039	0.05243 [£]
X ₂	0.01334	0.76191 ^{ns}
X ₂ ²	-0.10556	0.08567 [£]
X ₃	-0.01020	0.81621 ^{ns}
X ₃ ²	-0.12418	0.05895 [£]
X ₁ ×X ₂	-0.14863	0.06626 [£]
X ₁ ×X ₃	-0.04073	0.49472 ^{ns}
X ₂ ×X ₃	-0.08348	0.21032 ^{ns}
Falta de ajuste		0.121480
R ²		0.5718
F. Calculado		3.12021
F. Tabular		2.434

X₁: % de inulina

X₂: % de concentrado de soya

X₃: tiempo de cocción de tortilla

[£] : significativo a <0.10

^{ns} : no significativo

Con la siguiente ecuación matemática se determinó el índice de solubilidad en agua (IAA) en la tortilla de maíz adicionada, 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.

$$IAA (\%) = 4.402296 - 0.130386X_1^2 - 0.105564X_2^2 - 0.124183X_3^2 - 0.148631X_1 \times X_2 \quad [16]$$

El gráfico de superficie de respuesta se generó por el modelo, encontrando ciertas interacciones entre variables independientes. El IAA está directamente relacionado con el tamaño de partícula, del grado de gelatinización y porcentaje de almidón dañado (García y Vázquez. 2016). Al aumentar o reducir el porcentaje de concentrado de proteína de soya en la tortilla el índice de absorción de agua tiene un comportamiento casi lineal (Figura 2). No se presenta un cambio en el índice de absorción de agua de las distintas formulaciones relacionado a los porcentajes de concentrado de proteína de soya. En el estudio realizado por (García y Vázquez 2016) se obtuvo en una masa de maíz nixtamalizado un valor de IAA de 4.2. El valor obtenido del tratamiento óptimo de índice de absorción en agua en este estudio fue de 3.5827, que difiere del estudio realizado por Bedolla y Rooney (1984) que aseveran que el rango oscila entre 4.20 a 4.40 en harina nixtamalizada.

El índice de absorción en agua está relacionado con la capacidad que tiene una matriz de absorber y retener agua. Al aumentar el porcentaje de inulina en la tortilla el índice de absorción en agua tiende a disminuir (Figura 2), lo cual indica que la inulina no tiene buena capacidad de retener humedad (Liu *et al.* 2010). En el proceso de cocción, se gelatinizan los almidones y también hay desnaturalización de proteínas, el almidón pre gelatinizado puede absorber más agua (Álvarez 2016). En la preparación de tortillas, el amasado promueve la gelatinización, lo que provoca que haya un hinchamiento en la matriz (Pineda *et al.* 2009). Pero también depende de factores extrínsecos como velocidad de calentamiento, contenido de humedad, daño de los gránulos y cocción. Los resultados concuerdan con Donovan 2009 que determinó que cuando el almidón es calentado en exceso de humedad la tensión ejercida en la masa incrementa gradualmente y su índice de absorción incrementa.

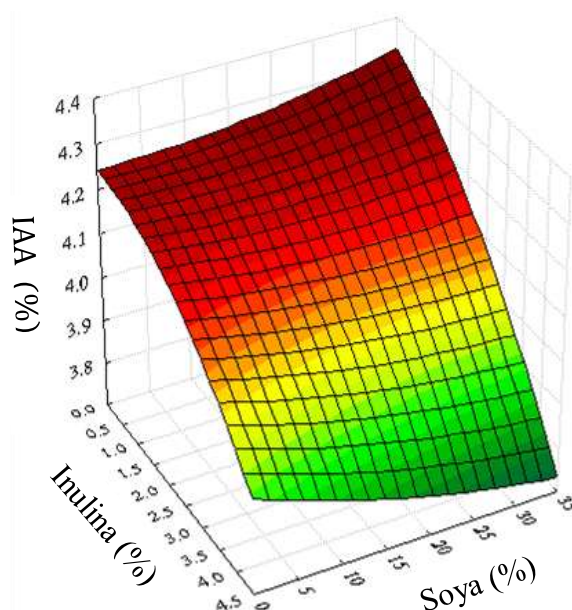


Figura 2. Efecto del porcentaje inulina y porcentaje de concentrado de proteína de soya sobre el índice de absorción en agua (IAA) en una tortilla adicionada.

Al aumentar o reducir el tiempo de cocción en una tortilla el índice de absorción de agua tiene un comportamiento casi lineal (Figura 3). No se presenta un cambio en el índice de absorción de agua de las distintas formulaciones relacionado a los distintos tiempos de cocción de la tortilla. La inulina al ser parcialmente hidrosoluble y entrar en contacto con el agua, forma un retículo donde queda atrapada el agua, originándose viscosidad (Álvarez y González 2006), al llegar a su punto máximo de absorción, el tiempo no influye, ya que no hay incremento de absorción. Naskar *et al.* (2010) indican que la absorción de agua de la inulina disminuye con el incremento de la temperatura (hidrofóbico) y a mayor tiempo prolongado de cocción el índice de absorción tiende a disminuir.

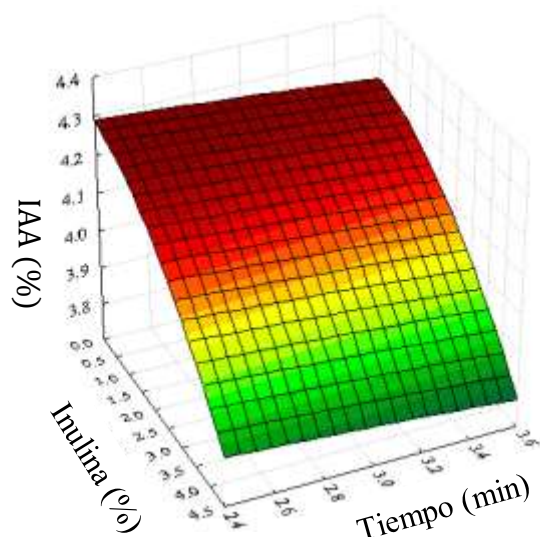


Figura 3. Efecto del porcentaje inulina y tiempo (min) de cocción sobre el índice de absorción en agua (IAA) en una tortilla adicionada.

Índice de solubilidad en agua (ISA).

En el cuadro 7 se muestran los resultados para índice de solubilidad en agua de los tratamientos realizados.

Cuadro 7. Índice de solubilidad en agua (%) en tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soja y tiempo de cocción.

Tratamiento	Inulina (%)	Proteína de soja (%)	Tiempo (min)	ISA (%)
T1	0.810	6.820	2.70	9.728
T2	3.190	6.820	2.70	5.159
T3	0.810	26.820	2.70	3.807
T4	3.190	26.820	2.70	4.971
T5	0.810	6.820	3.30	17.761
T6	3.190	6.820	3.30	9.915
T7	0.810	26.820	3.30	4.274
T8	3.190	26.820	3.30	28.367
T9	0.000	23.000	3.00	4.165
T10	4.002	16.820	3.00	14.215
T11	2.000	0.000	3.00	4.840
T12	2.000	33.640	3.00	5.361
T13	2.000	16.820	2.50	5.215
T14	2.000	16.820	3.50	5.551
T15 ©	2.000	16.820	3.00	7.754
T16 ©	2.000	16.820	3.00	1.281
T17 ©	2.000	16.820	3.00	3.115

©: Punto central del experimento

El análisis para índice de solubilidad en agua (ISA) presenta un coeficiente de variación menor a 70% ($R^2=0.6844$), lo que determina que el 68% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($p<0.10$), por lo que, el modelo no pudo describir adecuadamente la relación de las variables independientes con las variables dependientes. Además, se hizo la prueba F donde el valor F calculado de 4.00 fue mayor al valor F tabular de 2.56 (Cuadro 8). A razón de que no todos los factores no se cumplieron, se clasifica el modelo como tendencioso.

Cuadro 8. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R^2 de un modelo de regresión polinomial aplicado para índice de solubilidad en agua (ISA).

Variable	Coeficiente	P
Intercepto	4.232311	0.12339
X_1	2.178284	0.10587 ^{ns}
X_1^2	2.512016	0.09776 [£]
X_2	-0.017793	0.98369 ^{ns}
X_2^2	1.066188	0.33600 ^{ns}
X_3	2.725384	0.07162 [£]
X_3^2	1.166113	0.30329 ^{ns}
$X_1 \times X_2$	4.705806	0.04294 [£]
$X_1 \times X_3$	2.455956	0.13513 ^{ns}
$X_2 \times X_3$	1.381844	0.30398 ^{ns}
Falta de ajuste		0.121480
R^2		0.68446
F. Calculado		4.00709
F. Tabular		2.56

X_1 : % de inulina

X_2 : % de concentrado de soya

X_3 : tiempo de cocción de tortilla

[£] : significativo a <0.10

^{ns} : no significativo

Se presenta la ecuación matemática con la que se determinó el índice de solubilidad en agua (ISA) en la tortilla adicionada, el polinomio expresado es lineal de primer orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas en la ecuación 17.

$$ISA(\%) = 2.512016X_1^2 + 2.725384X_3 + 4.705806X_1 \times X_2 \quad [17]$$

Al aumentar el porcentaje de inulina en la tortilla, el índice de solubilidad en agua aumenta, ya que la inulina es un polisacárido soluble en agua que puede ser combinado en productos funcionales por su gran capacidad de disolverse en agua (Shoaib *et al.* 2016). El índice de absorción en agua es la capacidad de reacción con agua y la capacidad de disolverse en ella, además relaciona la asociación intragranular entre los polímeros amilosa y amilopectina. (Araujo *et al.* 2004). Así mismo, al aumentar el porcentaje de concentrado de proteína de soya el índice de solubilidad en agua tiene un comportamiento lineal hasta cierto punto, en donde comienza otra interacción y comienza a tener un incremento en el índice de solubilidad de agua (Figura 4). La reducción del índice de solubilidad en agua está relacionado a que parte del material solubilizado, entre los cuales destacan moléculas de amilosa y amilopectina en la harina de maíz, interaccionan entre sí, formando una nueva estructura con lo se impide la absorción en agua y menos capacidad de solubilizarse en agua. El índice de solubilidad de la muestra óptima en el estudio es de 14.582%, un resultado cercano al estudio realizado por Sandoval *et al.* 2006 el cual obtuvieron un índice de solubilidad de 19.22% al analizar las propiedades de una harina de yuca.

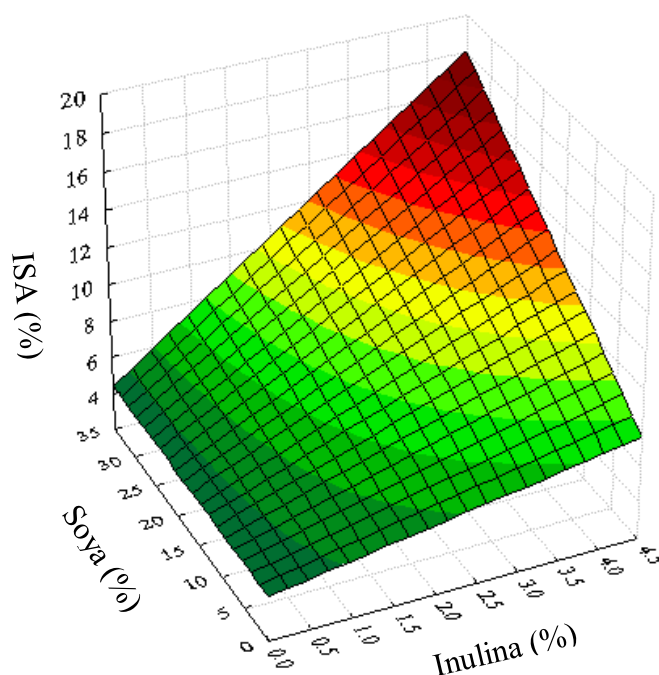


Figura 4. Efecto del porcentaje inulina y porcentaje de concentrado de proteína de soya sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) en una tortilla adicionada.

Los resultados difieren con los obtenidos por (Contreras 2009) en donde hizo la preparación de tortillas mediante un tratamiento óhmico obtuvo valores de 5.7 a 7.4%. Además, las harinas comerciales tienen un rango de índice de solubilidad en agua de 4 a 7% (Bressani y Billeb 2001), difiriendo ampliamente en el estudio. Comparando el resultado óptimo del estudio, el índice de solubilidad en agua de 14.582% del tratamiento óptimo se encuentra fuera del rango y esto puede estar relacionado con la severidad del proceso, incrementándose por las modificaciones en el almidón ocasionadas y también está afectado

por la adición de inulina y concentrado de soya que tienen un índice de solubilidad mayor que la harina de maíz. Sin embargo, las condiciones como tiempo y temperatura de cocción afectan directamente al índice de solubilidad (Véles 2004).

Al aumentar el porcentaje de inulina en la formulación, el índice de absorción en agua tiende a aumentar. Al reducir el tiempo de cocción de la tortilla el índice de solubilidad en agua tiende a disminuir. (Figura 5). Esto está relacionado con que a mayor temperatura el almidón sufre mayores modificaciones como la gelatinización por lo que el índice de solubilidad aumenta. La gelatinización es un proceso mediante el cual el almidón se modifica de insoluble a una solución mediante la aplicación de calor, a medida que se le suministra más calor por medio del tiempo de cocción, la tortilla comienza a tener transformaciones de su parte cristalina (amilopeptina), pérdida de la birrefringencia y solubilidad del almidón (Rodríguez *et al.* 2001), por lo que la solución al calentarse promueve una lenta absorción de agua en las zonas amorfas (amilosa) en los gránulos del almidón, reteniendo agua hasta alcanzar un hinchamiento máximo e incrementando su solubilidad. El índice de solubilidad de 14.582% del tratamiento óptimo del estudio y se incrementó debido a la adición de inulina y a la temperatura del agua en el mezclado, lo que promovió rápidamente un cambio por factores asociados con la gelatinización del almidón (Véles 2004). Los mayores valores de humedad disminuyen el efecto de absorción en el almidón, pero en combinación con temperaturas incrementan la gelatinización. Las interacciones moleculares del almidón, proteína y componentes lipídicos tienden a reducir la solubilidad (Dogan y Karwe 2003).

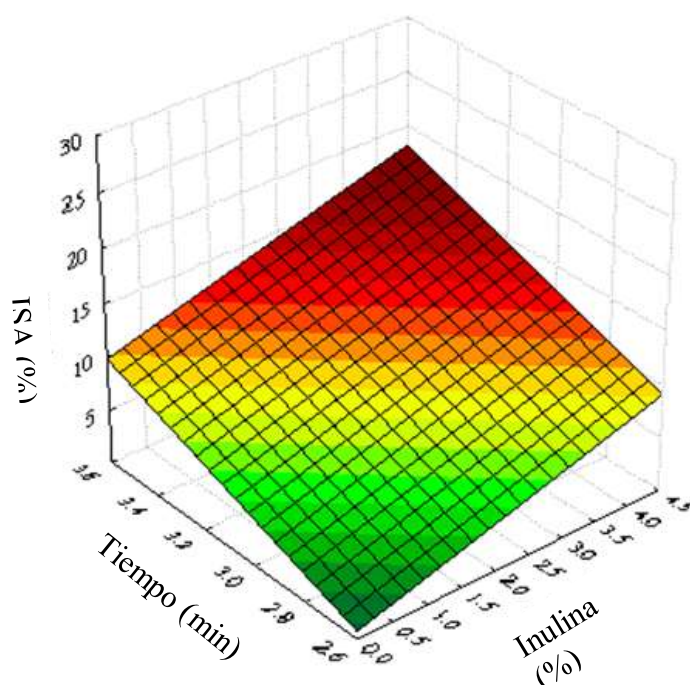


Figura 5. Efecto del porcentaje inulina y tiempo (min) de cocción en el índice de solubilidad en agua (ISA) en una tortilla adicionada.

Fuerza de corte.

En el cuadro 9 se muestran los resultados para fuerza de corte de los tratamientos realizados. El análisis para fuerza de corte presenta un coeficiente de variación menor a 70% ($R^2=0.5666$), lo que determina que el 56.66% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($p<0.10$), por lo que, el modelo no pudo describir adecuadamente la relación de las variables independientes con las variables dependientes. Además, se hizo la prueba F donde el valor F calculado de 3.736 fue mayor al valor F tabular de 2.645 (Cuadro 10). No se cumplieron todos los factores, por lo que se clasifica el modelo como tendencioso.

Cuadro 9. Fuerza de corte (N) en tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.

Tratamiento	Inulina (%)	Proteína de soya (%)	Tiempo (min)	Fuerza de corte (N)
T1	0.810	6.820	2.70	10.244
T2	3.190	6.820	2.70	9.750
T3	0.810	26.820	2.70	6.557
T4	3.190	26.820	2.70	6.709
T5	0.810	6.820	3.30	11.109
T6	3.190	6.820	3.30	10.080
T7	0.810	26.820	3.30	5.675
T8	3.190	26.820	3.30	10.894
T9	0.000	23.000	3.00	7.058
T10	4.002	16.820	3.00	7.339
T11	2.000	0.000	3.00	8.334
T12	2.000	33.640	3.00	7.840
T13	2.000	16.820	2.50	7.298
T14	2.000	16.820	3.50	7.747
T15 ©	2.000	16.820	3.00	8.443
T16 ©	2.000	16.820	3.00	9.797
T17 ©	2.000	16.820	3.00	11.812
T18 ©	2.000	16.820	3.00	9.372
T19 ©	2.000	16.820	3.00	9.071
T20 ©	2.000	16.820	3.00	9.281

©: Punto central del experimento

Cuadro 10. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para fuerza de corte.

Variable	Coeficiente	P
Intercepto	9.584355	0.000005
X ₁	0.316347	0.35885 ^{ns}
X ₁ ²	-0.564602	0.12324 ^{ns}
X ₂	-0.891640	0.03596 [£]
X ₂ ²	-0.250370	0.44888 ^{ns}
X ₃	0.384578	0.27416 ^{ns}
X ₃ ²	-0.449961	0.19999 ^{ns}
X ₁ ×X ₂	0.861750	0.08911 [£]
X ₁ ×X ₃	0.566583	0.22483 ^{ns}
X ₂ ×X ₃	0.263250	0.54841 ^{ns}
Falta de ajuste		0.17023
R ²		0.56666
F. Calculado		3.73065
F. Tabular		2.64500

X₁: % de inulina

X₂: % de concentrado de soya

X₃: tiempo de cocción de tortilla

£ : significativo a <0.10

^{ns} : no significativo

Se presenta la ecuación matemática con la que se determinó la fuerza de corte (N) en la tortilla adicionada, 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.

$$\text{Fuerza de corte (N)} = 9.584355 - 0.891640X_2 + 0.861750X_1 \times X_2 \quad [18]$$

Al reducir el porcentaje de concentrado de proteína de soya, la fuerza de corte tiende a aumentar y viceversa (Figura 6). Así mismo al aumentar el porcentaje de inulina en la tortilla, la fuerza de corte tiende a aumentar. La fuerza de corte es la representación numérica de percepción sensorial de dureza simulando la mordida de la tortilla o cortarla con los dientes (Reyes *et al.* 1998), el valor óptimo experimental del resultado del estudio fue de 8.97 N, mientras que el valor del tratamiento control es de 1.41 N, teniendo una representación mucho mayor de fuerza de corte con relación a la fuerza de mordida de la tortilla. Presentando una tendencia más dura y compacta en las tortillas sustituidas parcialmente con concentrado de proteína de soya e inulina.

En un estudio realizado por (Platt *et al.* 2012) indica que la fuerza máxima puede estar afectada linealmente por las combinaciones de temperatura y humedad, en donde evaluaron la fuerza de corte en tortillas de maíz con adición de goma Xanthan y determinaron que la fuerza de corte se ve influenciada directamente con las combinaciones de temperatura y humedad.

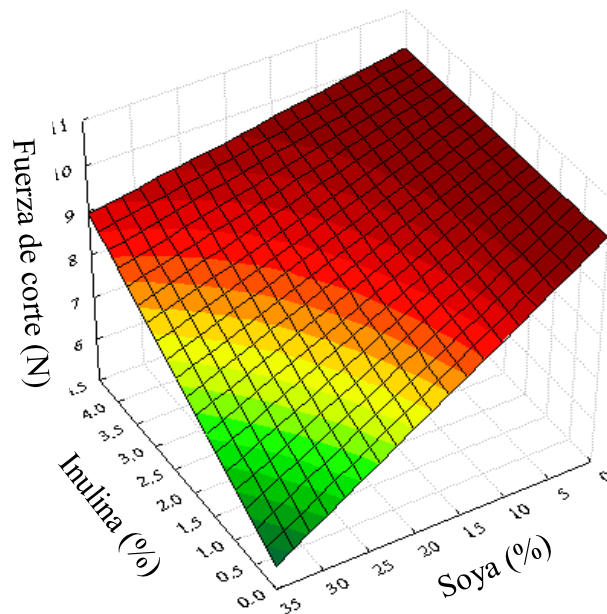


Figura 6 . Efecto de adición del porcentaje de inulina y porcentaje de concentrado de proteína de soya sobre la fuerza de corte (N) de una tortilla adicionada.

La fuerza de corte en las tortillas optimizadas sugiere una fuerza de corte de 9.01 N, siendo un valor muy alto comparado al tratamiento control que posee 1.414 N. La fuerza de corte del tratamiento óptimo presenta más dureza al incrementar la proporción de inulina, mientras al aumentar la proporción de concentrado de proteína de soya la fuerza de corte tiende a disminuir (Figura 6). Las tortillas comerciales de harina de maíz tienen un valor reportado entre 1.782 N (Flores 2004) mientras que las tortillas de maíz criollo tienen un valor promedio de 0.89 a 1.523 N. La textura de la tortilla optimizada puede verse afectada por las propiedades mecánicas que se relacionan con la interacción entre el almidón, la proteína de soya e inulina (Román *et al.* 2007) por lo que representan una fuerza de corte mucho mayor.

Elongación.

En el cuadro 11 se muestran los resultados para elongación de los tratamientos realizados. El análisis para elongación presenta un coeficiente de variación menor a 70% ($R^2=0.4681$), lo que determina que el 46.81% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste no fue significativa ($p<0.10$), por lo que, el modelo no pudo describir adecuadamente la relación de las variables independientes con las variables dependientes. Además, se hizo la prueba F donde el valor F calculado de 11.2204 fue mayor al valor F tabular de 2.304 (Cuadro 12). A razón de que no se cumplieron los factores, se clasifica el modelo como tendencioso.

Cuadro 11. Elongación en Newton (N) de tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.

Tratamiento	Inulina (%)	Proteína de soya (%)	Tiempo (min)	Elongación (N)
T1	0.810	6.820	2.70	2.657
T2	3.190	6.820	2.70	2.579
T3	0.810	26.820	2.70	1.685
T4	3.190	26.820	2.70	2.067
T5	0.810	6.820	3.30	2.257
T6	3.190	6.820	3.30	2.849
T7	0.810	26.820	3.30	2.421
T8	3.190	26.820	3.30	2.278
T9	0.000	23.000	3.00	3.533
T10	4.002	16.820	3.00	3.396
T11	2.000	0.000	3.00	3.302
T12	2.000	33.640	3.00	3.138
T13	2.000	16.820	2.50	1.850
T14	2.000	16.820	3.50	3.304
T15 ©	2.000	16.820	3.00	2.984
T16 ©	2.000	16.820	3.00	3.370
T17 ©	2.000	16.820	3.00	2.551
T18 ©	2.000	16.820	3.00	2.941
T19 ©	2.000	16.820	3.00	2.870
T20 ©	2.000	16.820	3.00	2.852

©: Punto central del experimento

Cuadro 12. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para elongación.

Variable	Coefficiente	P
Intercepto	2.951936	0.000001
X ₁	0.038333	0.61518 ^{ns}
X ₁ ²	0.032064	0.66463 ^{ns}
X ₂	-0.158533	0.07760 [£]
X ₂ ²	-0.054535	0.46915 ^{ns}
X ₃	0.238811	0.02062 [£]
X ₃ ²	-0.281696	0.00988 [£]
X ₁ ×X ₂	-0.034333	0.72854 ^{ns}
X ₁ ×X ₃	0.018167	0.85361 ^{ns}
X ₂ ×X ₃	0.134500	0.20988 ^{ns}
Falta de ajuste		0.02494
R ²		0.46815
F. Calculado		11.22047
F. Tabular		2.30400

X₁: % de inulina

X₂: % de concentrado de soya

X₃: tiempo de cocción de tortilla

£ : significativo a <0.10

^{ns} : no significativo

Se presenta la ecuación matemática con la que se determinó elongación en la tortilla adicionada, el polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas en la ecuación 19.

$$\text{Elongación (N)} = 2.951936 - 0.158533X_2 + 0.238811X_3 - 0.281696X_3^2 \quad [19]$$

La deformación por elongación es el alargamiento o distancia máxima que se estira una material antes de fracturarse o romperse, dando como resultado la resistencia antes de romperse un material (McHugh *et al.* 1994). Al aumentar el tiempo de cocción de la tortilla la elongación tiende a aumentar hasta cierto punto, en donde luego comienza a presentar cierto declive en donde por sobre cocción la estructura de la tortilla comenzaría a perder su estructura, teniendo una leve disminución en la elongación. Al aumentar el porcentaje de proteína de soya se mantiene casi lineal con un comportamiento hacia la disminución de elongación (Figura 7).

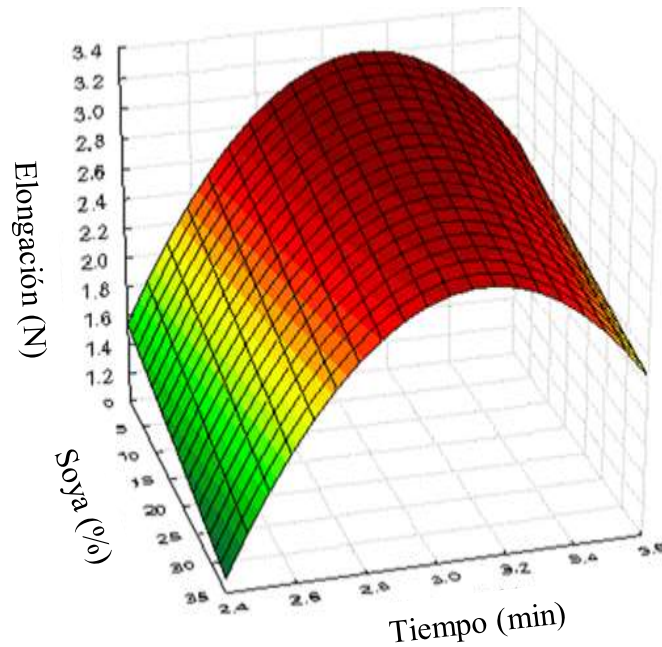


Figura 7. Efecto del porcentaje de adición de proteína de soya y tiempo de cocción en la elongación (N) en una tortilla adicionada.

La fuerza de elongación en las tortillas optimizadas fue de 3.894 N y en la tortilla control fue de 3.939 N, quiere decir que la tensión o elongación fue mayor en la tortilla control. La literatura dicta el valor para tensión en una tortilla de harina de maíz oscila en 3.03 N (Flores 2004) y en tortillas de maíz criollo el rango es de 1.47 a 2.45 N (Grijalva *et al.* 2008). La tortilla optimizada está arriba del rango de aceptación de elongación comparado contra una tortilla de harina de maíz comercial. La fuerza de tensión está relacionada con atributos sensoriales de la tortilla como elasticidad y dureza, ya que es la representación necesaria para rasgar una tortilla al estirla, simulando el rasgado manualmente (Reyes *et al.* 1998). Con referencia a lo mencionado la tortilla optimizada presenta valores de fuerza de tensión un poco arriba del rango, por lo que tenderían a ser susceptibles al rasgado.

Diferencia de color (ΔE).

En el cuadro 13 se muestran los resultados obtenidos para diferencia de color (ΔE) de los tratamientos realizados. El análisis para cambio de color (ΔE) presenta un coeficiente de variación menor a 70% ($R^2=0.42$), lo que determina que el 42% de los datos se ajustaron al modelo. La falta de ajuste fue significativa ($p<0.10$), por lo tanto, el modelo no logró describir la relación de las variables independientes con las variables dependientes. Además, se hizo una prueba F y el valor F calculado de 2.34 fue mayor al F tabular de 2.30. A razón que todos los factores no se cumplieron, se clasificó el modelo como tendencioso (Cuadro 14).

Cuadro 13. Diferencia de color (ΔE) en tortilla con variables de porcentaje de inulina, concentrado de proteína de soya y tiempo de cocción.

Tratamiento	Inulina (%)	Proteína de soya (%)	Tiempo (min)	Diferencia de color (ΔE)
T1	0.810	6.820	2.70	2.657
T2	3.190	6.820	2.70	2.579
T3	0.810	26.820	2.70	1.685
T4	3.190	26.820	2.70	2.067
T5	0.810	6.820	3.30	2.257
T6	3.190	6.820	3.30	2.849
T7	0.810	26.820	3.30	2.421
T8	3.190	26.820	3.30	2.278
T9	0.000	23.000	3.00	3.533
T10	4.002	16.820	3.00	3.396
T11	2.000	0.000	3.00	3.302
T12	2.000	33.640	3.00	3.138
T13	2.000	16.820	2.50	1.850
T14	2.000	16.820	3.50	3.304
T15 ©	2.000	16.820	3.00	2.984
T16 ©	2.000	16.820	3.00	3.370
T17 ©	2.000	16.820	3.00	2.551
T18 ©	2.000	16.820	3.00	2.941
T19 ©	2.000	16.820	3.00	2.870
T20 ©	2.000	16.820	3.00	2.852

©: Punto central del experimento

Cuadro 14. Coeficientes de regresión, probabilidad (P), valores F y R² de un modelo de regresión polinomial aplicado para cambio de color (ΔE).

Variable	Coeficiente	P
Intercepto	1.372444	0.003749
X ₁	-0.068515	0.503255 ^{ns}
X ₁ ²	0.305679	0.047219 [£]
X ₂	0.297100	0.046098 [£]
X ₂ ²	0.108495	0.331312 ^{ns}
X ₃	-0.087483	0.404195 ^{ns}
X ₃ ²	-0.219627	0.101175 ^{ns}
X ₁ ×X ₂	-0.089925	0.501501 ^{ns}
X ₁ ×X ₃	-0.273750	0.103120 ^{ns}
X ₂ ×X ₃	-0.008858	0.944891 ^{ns}
Falta de ajuste		0.041887
R ²		0.421240
F. Calculado		2.34200
F. Tabular		2.30400

X₁: % de inulina

X₂: % de concentrado de soya

X₃: tiempo de cocción de tortilla

[£] : significativo a <0.10

^{ns} : no significativo

Se presenta la ecuación matemática con la que se determinó el cambio de color (ΔE) en la tortilla adicionada, el polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas en la ecuación 20.

$$\text{Cambio de color } (\Delta E) = 1.372444 + 0.305679X_1^2 + 0.297100X_2 \quad [20]$$

A medida que el porcentaje de inulina y el porcentaje de proteína de soya aumentan, el cambio de color tiende a aumentar teniendo un comportamiento directamente proporcional. El porcentaje de concentrado de proteína soya tiene un mayor efecto en el cambio de color (ΔE) que la inulina, es decir que si el porcentaje de concentrado de soya aumenta, el cambio de color tiende a aumentar, mientras que el comportamiento de la proporción de inulina se mantiene lineal (Figura 8).

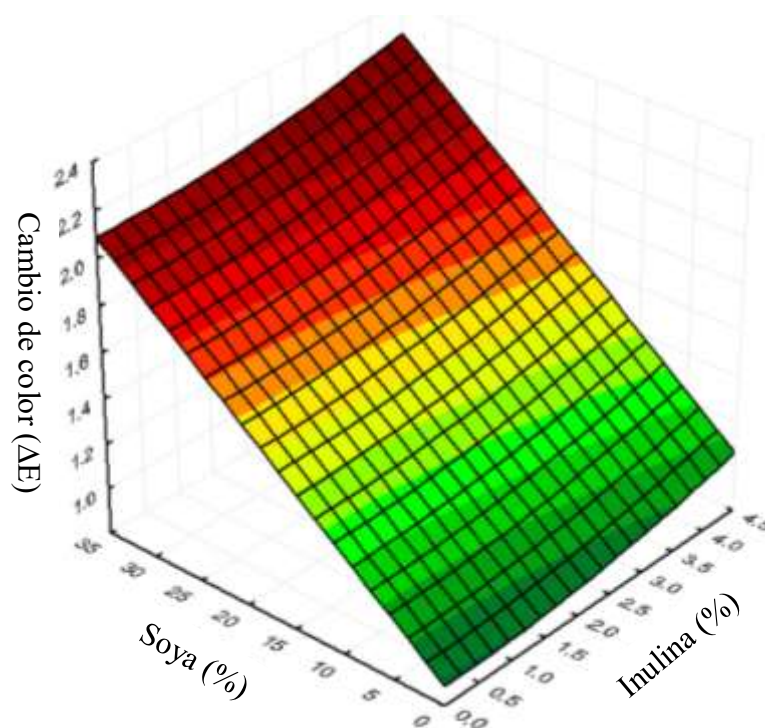


Figura 8. Efecto del porcentaje de concentrado de proteína de soya y porcentaje de inulina en el cambio de color (ΔE) en una tortilla adicionada.

La combinación de calor y humedad junto a la adición de inulina y proteína de soya en la harina de maíz facilitan la gelatinización del almidón. La coloración de una tortilla se debe a la composición de la harina y a empardeamiento no enzimático provocando una reducción de azúcares y péptidos (Orozco 2007). La reacción de Maillard en la tortilla está directamente relacionada con la cantidad de proteína que posee la tortilla, ya que los azúcares reductores reaccionan con las proteínas o con aminos libres y que al ser aplicado tratamiento térmico junto con la interacción de la inulina y concentrado de proteína de soya ocasiona cambio de color en la misma. Las melanoidinas son pigmentos pardos de estructura compleja y de alto peso molecular, y es responsable del color dorado o tostado de los productos de panadería (Lupano 2013), el cambio de color está directamente relacionado con las reacciones ocurridas por el tiempo y temperatura de cocción de la tortilla.

Optimización de tortilla adicionada.

Se consideraron las variables dependientes fuerza de corte, elongación, índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA). La optimización se observa en la figura 9, se determinaron los niveles óptimos para obtener las características deseadas (variables dependientes) en la tortilla adicionada.

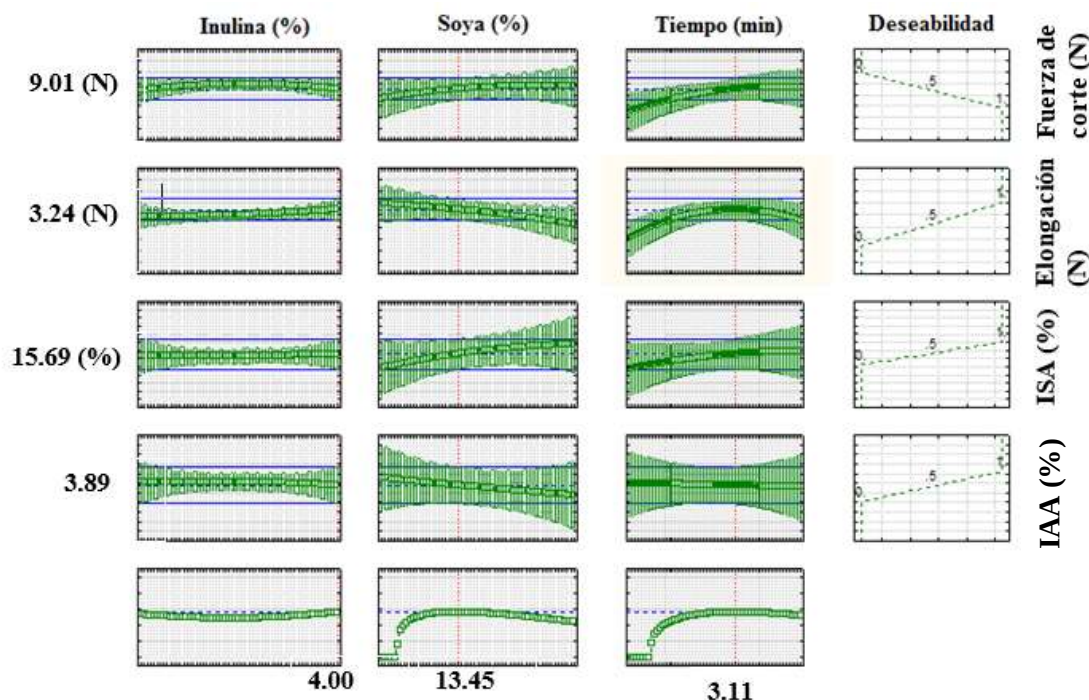


Figura 9. Función de utilidad de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas en la fortificación de una tortilla de maíz, mostrando las proporciones óptimas

El punto óptimo en la elaboración de tortillas adicionadas se estableció en 4.00% de inulina, 13.456% de concentrado de proteína de soya y cocción de 3.1177 minutos dentro de la composición de la tortilla adicionada.

Fase II. Comparación entre el tratamiento óptimo de tortilla adicionada con concentrado de proteína de soya e inulina y el control.

Análisis estadístico para prueba sensorial. Para el análisis sensorial se realizó una prueba de Chi cuadrado, comparando si el panelista detecta diferencias entre los tratamientos. El análisis discriminador por medio de Chi Cuadrado (X^2) determinó que las personas no encontraron diferencias entre la tortilla control y la tortilla optimizada con concentrado de proteína de soya e inulina, ya que se obtuvo un Chi (X^2)=0.64, en donde la probabilidad ($Pr>0.4237$) indica que no hay diferencias significativas entre estos dos tratamientos ($P<0.05$) (Cuadro 15).

Hipótesis:

Ho: Las muestras de tortilla son iguales.

Ha: Las muestras de tortilla son diferentes.

Cuadro 15. Resultados del análisis sensorial.

Tratamiento	Panelistas	%
Identificación correcta	46	46
Identificación incorrecta	54	54
		100
Chi cuadrado= 0.64		
Pr>Chi cuadrado= 0.0004237		

Dado que $Pr > 0.4237$, se aceptó la hipótesis nula, determinando que no se encontraron diferencias significativas entre la muestra control y la muestra optimizada de tortilla.

Análisis microbiológico. Para la identificación de *Escherichia coli* por conteo de coliformes totales y fecales a través de la técnica de número más probable (NMP) se obtuvieron resultados < 3 NMP en la prueba microbiológica para el tratamiento óptimo y el tratamiento control, por lo que se cumplió con el límite máximo permitido que el Reglamento Técnico Centroamericano (< 3 NMP) (RTCA 2009).

Comparación física entre tratamiento optimizado y tratamiento control.

Para comprobar la cercanía de los resultados se hizo experimentalmente la tortilla optimizada con las proporciones ideales, teniendo los siguientes resultados fisicoquímicos: fuerza de corte 8.972 N, elongación de 3.894 N, índice de solubilidad en agua de 14.582% e índice de absorción en agua de 3.5827 respectivamente (Cuadro 16).

El tratamiento óptimo de tortilla tuvo una fuerza de corte de 8.972 N, siendo estadísticamente mayor con respecto al tratamiento control, esto está relacionado con el incremento de fibra dentro de la composición. Así como el estudio realizado por (Flores 2004) que añadió fibra a una tortilla y determinó que a medida incrementaba el porcentaje de fibra aumentan los valores de esfuerzo a la tensión y fuerza de corte. Así mismo puede estar asociado levemente a la retrogradación ocasionada luego del proceso de enfriamiento. Siendo la tortilla susceptible al rasgado fácil. Por otra parte, el incremento del índice de absorción en agua e índice de absorción en agua, está relacionado a la adición de proteína de soya e inulina que poseen un mayor índice de estas variables en comparación a la harina de maíz.

Cuadro 16. Promedios y desviación estándar de análisis fisicoquímicos entre el tratamiento óptimo y control mediante una prueba T.

Tratamiento	Elongación (N)	Fuerza de corte (N)	ISA (%)	IAA (%)
Media ± D.E				
Control	3.93 ± 0.30 ^a	1.41 ± 0.14 ^b	5.67 ± 0.19 ^b	2.64 ± 0.11 ^b
Óptimo	3.89 ± 0.22 ^a	8.97 ± 0.13 ^a	14.58 ± 0.42 ^a	3.58 ± 0.12 ^a
Pr>F	0.6522	0.0001	0.0001	0.0007

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

ISA= índice de solubilidad en agua

IAA= índice de absorción en agua

Cuadro 17. Promedios y desviación estándar de análisis proximal entre el tratamiento óptimo y el control.

Nutriente (%)	Control	Óptimo	Pr>F
Media ± D.E			
Grasa	1.9 ± 0.08 ^a	0.7 ± 0.12 ^b	0.0081
Proteína	3.9 ± 0.06 ^b	8.9 ± 0.18 ^a	0.0007
Fibra	1.2 ± 0.11 ^b	1.8 ± 0.05 ^a	0.0207
Humedad	45.1 ± 2.21 ^a	49.3 ± 0.32 ^a	0.1130
Cenizas	0.2 ± 0.01 ^b	0.8 ± 0.32 ^a	0.0140
Carbohidratos	47.5 ± 2.35 ^a	38.1 ± 0.12 ^a	0.1093

D.E= desviación estándar

a,b= medias en la misma fila con letra distinta son estadísticamente diferentes P<0.05

Pr>F= probabilidad en la igualación de las varianzas

El contenido de grasa redujo significativamente en la tortilla optimizada en 157% con respecto al tratamiento control, esto debido a que se utilizó concentrado de proteína de soya con un porcentaje de grasa del 4%, por lo que influencio con la adición de proteína de soya dentro de la formulación de 0.57 a 0.22 gramos de grasa (Cuadro 17).

El porcentaje de proteína de la tortilla optimizada aumentó 130% (2.7 gramos) con relación al tratamiento control (1.17 gramos), esto se debe a que el concentrado de proteína de soya utilizado tiene un valor proteico alto (65%) (Cuadro 17). Resultados similares fueron encontrados por Green *et al.* (1977) en donde trabajo en base seca con granos de soya enteros en donde obtuvo un incremento del contenido de proteína en dos gramos.

Hubo diferencia significativa en el contenido de fibra cruda del tratamiento control y el tratamiento óptimo. En la nixtamalización el maíz pierde fibra cruda por pérdida de fibra soluble, con la adición de concentrado de proteína de soya e inulina que aumentó en un 49%

con respecto al tratamiento control (Cuadro 17). La proteína usada tiene un total de fibra dietética del 26%.

Según un estudio realizado por Vasco y Lozano (2003) indican que el contenido de humedad de las tortillas oscila entre 45-50%. Estableciéndose los resultados obtenidos de experimentación dentro del rango.

La ceniza contenida dentro de las tortillas adicionadas fue mayor en el tratamiento óptimo ya que la proteína utilizada tiene un contenido de 6% de cenizas, por lo que incremento 192% el contenido de cenizas en la tortilla adicionada de 0.089 gramos a 0.26 gramos (Cuadro 17). El incremento de ceniza fue significativo en la composición de la tortilla. El contenido de carbohidratos se redujo un 24%, ya que al añadir fuente de proteína se cambió la composición de la tortilla. Teniendo una reducción de 14.27 a 11.45 gramos dentro de la composición de la tortilla.

En Honduras, el consumo de maíz expresado como tortilla es de 96 gramos para el área urbana y 340 gramos para el área rural, teniendo un promedio nacional de 218 gramos (INCAP 2004). Es decir, el equivalente a siete tortillas optimizadas aproximadamente. Con esta tortilla se aportarían 21 gramos de proteína y siete gramos de fibra dietética.

Análisis de costos variables.

Para formular una tortilla ingresan 35 gramos de masa elaborada, sin embargo, en la cocción hay una pérdida aproximada de 16-20% por vapor de agua (Arámbula *et al.* 1999) obteniendo tortillas con un peso final de entre 28-30 gramos. La cocción de la tortilla lleva un parámetro que es el inflado de la misma, y que es deseable para determinar que la tortilla esta cocida y se relaciona con los valores de humedad en la masa, temperatura y tiempo de cocción. (Ortega, 2005). El mayor incremento de los costos variables en la tortilla optimizada está dado por el concentrado de proteína de soya, ya que representa el 58% del costo de elaboración de tortilla adicionada con proteína de soya e inulina. La tortilla adicionada es 5.58 veces más cara comparada con una tortilla de maíz convencional.

Cuadro 18. Costos variables del tratamiento óptimo y control en la elaboración de una tortilla adicionada de 30 g.

Ingredientes	Muestra óptima			Muestra control	
	Costo L./g	Peso g	Costo (L.)	Peso g	Costo (L.)
Harina de maíz	0.024	13.289	0.321	16.1	0.390
Concentrado de proteína de soya	0.580	2.166	1.256	-	-
Inulina	0.938	0.644	0.604	-	-
Agua	0.000	18.900	0.000	18.9	-
Costo Total L.			2.1828	35	0.3900
Costo Total (\$)			0.093*		0.016*

(*) Una tasa de cambio de L. 23.396.

4. CONCLUSIONES

- El porcentaje de sustitución de harina de maíz por concentrado de proteína de soya e inulina que optimiza las características fisicoquímicas de una tortilla adicionada fueron 4.00% para inulina, 13.45% de concentrado de proteína de soya y 3.11 minutos de cocción (200° C).
- La tortilla optimizada tuvo un aumento en fuerza de corte, índice de solubilidad e índice de absorción en agua, en relación a la tortilla convencional de maíz sin ser considerada sensorialmente diferente por los consumidores.
- La tortilla optimizada presentó incremento nutricional en porcentaje de proteína, fibra y cenizas, así mismo tuvo reducción de porcentaje de grasa comparándola con una tortilla convencional.
- La tortilla optimizada tiene un costo de L. 2.19, lo cual es 5.58 veces más que una tortilla de maíz convencional que tiene un precio de L.0.39 por cada unidad.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de vida de anaquel de la tortilla optimizada con concentrado de proteína de soya e inulina.
- 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 un análisis sensorial con algún acompañamiento para determinar el agrado de consumir la tortilla optimizada.
- Hacer un estudio de mercado para determinar si la población está dispuesta a pagar 5.58 veces más por una tortilla optimizada.
- Estudiar el comportamiento de glucemia en personas con diabetes al consumir la tortilla optimizada.

6. LITERATURA CITADA

Álvarez E, González P. 2006. La fibra dietética. Unidad de Dietética y Nutrición. España. [Consultado 2017 sep 23]. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007.

Álvarez F. 2016. Caracterización fisicoquímica y reológica de harinas mixtas pre gelatinizadas de quinua, frijol caupí y arroz parbolizado por extrusión termoplástica [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano- Honduras. 87 p.

Anderson R, Conway H, Peplinski A. 1969. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch*. 22 (4):130-135. [Consultado 2017 sep 23].

ANKOM. 2006. Crude fiber analysis in feeds by filter bag technique. 3 p. [Consultado 2017 oct 27]. https://agronomy.ifas.ufl.edu/pdfs/crudefiber120606_2000.pdf.

Arámbula V, Mauricio S, Figueroa C, González J, Ordorica F. 1999. Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science*. [Consultado 2017 sep 15]. 64(1): 120-124. <http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/Journal%20of%20food%20science/1999%20v.64/no.1/jfsv64n1p120-124ms0798%5B1%5D.pdf>.

Araujo V, Rincón C, Padilla A. 2004. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. [Consultado 2017 sep 07]. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54: 241-244. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222004000200016&script=sci_abstract.

Bedolla S, Rooney L. 1984. Characteristics of US and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereals Science Today*. 29(11): 732-735. [Consultado 2017 sep 05]. <http://europepmc.org/abstract/AGR/IND85022082>.

Bressani R, Billeb. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. [Consultado 2017 oct 02]. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 51: 115-119. https://www.researchgate.net/publication/262752143_Caracteristicas_de_coccion_por_nixtamalizacion_de_once_variedades_de_maiz

Castor L. 2011. Inulina: polisacárido con interesantes beneficios a la salud humana y con aplicación en la industria farmacéutica. *Infármate*. México. [Consultado 2017 sep 18]. <http://www.zukara.com.mx/inulina%202011.pdf>.

Contreras B. 2009. Caracterización de harina de maíz instantánea obtenida por calentamiento óhmico. Instituto Politécnico Nacional. México. [Tesis]. [Consultado 2017 sep 25]. <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4899/BLCJ.PDF>.

De Luna A. 2007. Composición y procesamiento de la soya para Consumo Humano. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. [Consultado 2017 sep 14]. <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista37/Articulo%205.pdf>.

Dogan H, Karwe M. 2003. Physicochemical properties of Quinoa Extrudates. Food Science and Thechnology International. 9(2): 101-114. [Consultado 2017 sep 18]. <https://doi.org/10.1177/1082013203009002006>

Donovan J, Mapes C. 2009. Multiple Phase Transitions of Starches and Nageli Amylodextrins. Biosynthesis Nutrition Biomedical. Starch. 32(6): 190-193. [Consultado 2017 sep 25]. doi: 10.1002/star.19800320604

Figuerola J, Acero M, Vasco N, Lozano A, Flores L. 2003. Nutritional quality of nixtamal tortillas fortified with vitamins and soy proteins. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 54(3): 189-200. [Consultado 2017 sep 14]. doi: 10.1080/09637480120091991.

Flores, R. 2004. Efecto de la incorporación de fibra dietética de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales en tortillas de maíz (*Zea mays L.*). Instituto Politécnico Nacional. México. [Tesis]. [Consultado 2017 oct 05]. <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/952/Tesis-RivelinoFlores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

García A, Vázquez C. 2016. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Masa y harina de maíz nixtamalizado. [Consultado 2017 sep 18]. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/15.pdf>.

González G, González A, Álvarez E, García H, Vallejo B. 2014. Los alimentos funcionales: un nuevo reto para la industria de alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. México. [Consultado 2017 oct 19]. https://www.ciad.mx/archivos/dtaov/gustavo/Los_Alimentos_Funcionales.pdf.

Green J, Lawhon J, Carter C, Mattil K. 1977. Utilization of whole undeffated glandless cottonseed kernels and soybean to protein-fortify corn tortillas. Journal Food Science. 14:7-10. [Consultado 2017 sep 19].

Grijalva O, Herrera S, Arámbula G, Palomo A, Gutiérrez E, Espinosa A, Navarro O, Enríquez A. 2008. Calidad tortillera en maíces criollos de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(3): 23-27. [Consultado 2017 sep 27]. <http://www.redalyc.org/html/610/61009705/>.

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).1993. Producción de Alimentos Básicos en Centroamérica. [Consultado 2017 sep 03]. http://www.incap.int/portaleducativo/index.php/es/recursos/reservorio-san/doc_view/460-cadena-16-alimentos-basicos-en-centroamerica-pdf.

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). 2004. Análisis de la situación alimentaria en Honduras. Análisis de la ENCOVI. En colaboración con la Organización Mundial para la Salud. [Consultado 2017 ago 28]. http://www.paho.org/hon/index.php?option=com_docman&view=download&alias=285-situacion-alimentaria-de-honduras-analisis-de-la-encovi-2004&category_slug=desarrollo-humano-sostenible-y-estilos-de-vida-sal&Itemid=211.

Lara C. 2011. INULINA. Infarmate. [Consultado 2017 ago 30]. Universidad de las Américas Puebla. México. <http://www.zukara.com.mx/inulina%202011.pdf>.

Liu J, Dong F, Xue Q, Guo Z. 2010. The moisture absorption and retention abilities of carbocymethyl inulin and quaternized inulin. Yantai Institute of Coastal Zone Research. China. [Consultado 2017 ago 28]. <http://ir.yic.ac.cn/bitstream/133337/4770/1/The%20Moisture%20Absorption%20and%20Retention%20Abilities%20of%20Carboxymethyl%20Inulin%20and%20Quaternized%20Inulin.pdf>.

Lupano C. 2013. Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. [Tesis]. [Consultado 2017 sep 22]. <https://www.biol.unlp.edu.ar/alimentosysalud/ModificacionesComponentes.pdf>.

Madrigal L, Sangronis E. 2007. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Archivos Latinoamericanos de nutrición. 2: 57. [Consultado 2017 sep 22]. <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/la-inulina-y-derivados-como-ingredientes-claves-en-alimentos-funcionales>.

McHugh Th, Krochta J. 1994. Sorbitol vs glycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42(4): 841-845. [Consultado 2017 sep 29]. doi: 10.1021/jf00040a001

Naskar B, Dan A, Ghosh S, Moulik S. 2010. Viscosity and Solubility behavior of the polysaccharide inulin in water, water+dimethyl sulfoxide and water+isopropanol media. Journal of Chemical Sciences. 55(7):2424-2427. [Consultado 2017 sep 18]. doi: 10.1021/jc900834c.

OMA (Official Methods of Analysis). 2000. 17th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD. ISBN: 093558467-6.

ONU (Organización de las Naciones Unidas), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), OPS (Organización Panamericana de la Salud), INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 2013. Guía Alimentaria para Honduras: manual del usuario. Honduras. [Consultado 2017 oct 01]. <http://www.bvs.hn/Honduras/pdf/GUIASALIMENTARIAS.pdf>.

Orozco M. 2007. Desarrollo de harina de maíz para tortilla de mesa. Universidad de San Carlos. Guatemala. [Tesis]. [Consultado 2017 sep 14]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1795_IN.pdf.

Ortega Y. 2005. Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas. México. [Tesis]. [Consultado 2017 ago 19]. <http://tesis.bnct.ipn.mx:8080/jspui/handle/123456789/1839>.

Pineda P, Coral D, Arciniegas M, Rorales A, Rodríguez M. 2009. Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. Universidad Nacional de Colombia. Ingeniería y Ciencia. 6(11): 129-141. [Consultado 2017 oct 07]. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3651081.pdf>.

Platt L, Ramírez B, Torres P, Morales I. 2012. Características viscoelásticas y texturales de masa y tortilla de harinas extrudidas de maíz con Goma Xantana. Universidad de Sonora. México. [Tesis]. [Consultado 2017 sep 12]. <https://www.intechopen.com/books/viscoelasticity-from-theory-to-biological-applications/viscoelastic-and-textural-characteristics-of-masa-and-tortilla-from-extruded-corn-flours-with-xantha>.

Reyes M, Peralta R, Anzaldúa A, Figueroa D, Martínez F. 1998. Relating sensory textural attributes of corn tortillas to some instrumental measurements. Journal of Texture Studies. 29(4): 361. [Consultado 2017 sep 14]. doi: 10.1111/j.1745-4603.1998.tb00809.x

Rodrigues, M. 2015. Experimental Design and Process Optimization. London, New York: Taylor & Francis Group. [Consultado 2017 sep 12]. ISBN: 9781482299557

Rodríguez P, San Martín M, González G. 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. México. [Tesis]. [Consultado 2017 oct 05]. <http://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/13/sv136101.pdf>.

Román J, Acevedo A, Méndez G, Bello L. 2007. Textural studies of Stored Corn Tortillas with added Xanthan Gum. AACC (American Association for Clinical Chemistry). 84(5):502-505. [Consultado 2017 oct 01]. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-84-5-0502>.

Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA). 2009. Alimentos: criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos. [Consultado 2017 sep 14]. https://members.wto.org/crnattachments/2008/sps/CRI/08_1142_00_s.pdf.

Sandoval E, Fernández A, Alcalá L, Ospina B. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. Ingeniería y Desarrollo. 19: 17-30. [Consultado 2017 sep 29]. ISSN: 0122-3461

Shoaib M, Shehzad A, Omar M, Raka A, Raza H, Sharif HR, Shakeel A, Ansari A, Niazi S. 2016. Inulin: properties, health benefits and food applications. Elsevier. 147: 444-454. [Consultado 2017 sep 23]. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>

United States Soybean Export Council (USSEC). 2008. Soy protein concentrate for Aquaculture Feeds: Technical bulletin. [Consultado 2017 sep 18]. <https://ussec.org/wp-content/uploads/2015/10/Soy-Protein-Concentrate-Aquaculture.pdf>.

Vasco N, Lozano A. 2003. Nutritional quality of nixtamal tortillas fortified with vitamins and soy proteins. *International Journal Food Science and Nutrition*. 54 (3): 189-200. [Consultado 2017 oct 01]. https://www.researchgate.net/publication/10736169_Nutritional_quality_of_nixtamal_tortillas_fortified_with_vitamins_and_soy_proteins.

Véles J. 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Instituto Politécnico Nacional. México. [Tesis]. [Consultado 2017 sep 15]. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/689>

7. ANEXOS

Anexo 1. Etiqueta nutricional mediante Software Genesis.

Datos de Nutrición	
Tamaño por Ración	1 Tortilla (30g)
Amount per serving / Cantidad por ración	
Calories / Calorías	45
% Daily Value* / % Valor Diario*	
Total Fat / Grasa Total 0g	0%
Saturated Fat / Grasa Saturada 0g	0%
Trans Fat / Grasa Trans 0g	
Cholesterol / Colesterol 0mg	0%
Sodium / Sodio 0mg	0%
Total Carbohydrate / Carbohidratos Total 8g	3%
Dietary Fiber / Fibra Dietética 1g	4%
Total Sugars / Total Azúcares 0g	
Includes 0g Added Sugars / Incluye 0g Azúcares Añadidos	0%
Protein / Proteínas 3g	
Vitamin D / Vitamina D 0mcg	0%
Calcium / Calcio 22mg	2%
Iron / Hierro 1mg	6%
Potassium / Potasio 41mg	0%

*The % Daily Value tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2,000 calories a day is used for general nutrition advice.
 *El porcentaje de Valor Diario indica la cantidad de un nutriente en una porción de alimento contribuye a una dieta diaria. 2,000 calorías al día se utiliza para el consejo general de la nutrición.

Anexo 2. Formato de análisis sensorial.

Edad:

Género:

Instrucciones:

- Frente a usted hay dos muestras de referencia marcadas con A y B respectivamente, y una muestra X. La muestra X es idéntica a A o a B. Indique con un círculo a cuál referencia es idéntica.
- Si usted no encuentra ninguna muestra igual, escriba "NINGUNA" en la raya sobre "X".
- Indique el porqué de su respuesta en OBSERVACIONES.

A

B

X

OBSERVACIONES:

Anexo 3. Resultado de prueba presuntiva para coliformes totales de la muestra control y la muestra óptima de tortilla adicionada.

Dilución	Muestra control	Muestra óptima
10 ⁻¹	1-0-0	1-0-0
10 ⁻²	0-0-0	0-0-0
10 ⁻³	0-0-0	0-0-0

Anexo 4. Resultado de prueba confirmatoria para coliformes totales y fecales para la muestra control de tortilla.

Análisis	Dilución			Combinación	Resultado
Conteo	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³		
Coliformes totales	0/3	0/3	0/3	0-0-0	<3 NMP
Coliformes fecales	0/3	0/3	0/3	0-0-0	< 3NMP

Anexo 5. Resultado de prueba confirmatoria para coliformes totales y fecales para la muestra óptima de tortilla.

Parámetro	Dilución			Combinación	Resultado
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³		
Coliformes totales	0/3	0/3	0/3	0-0-0	< 3NMP
Coliformes fecales	0/3	0/3	0/3	0-0-0	< 3NMP