

**Efecto de la adición de semillas de chía (*Salvia  
hispanica* L.) en las características físicas,  
químicas y sensoriales del yogur natural.**

**Nancy María Cevallos Merchán**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**

**Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Efecto de la adición de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) en las características físicas, químicas y sensoriales del yogur natural.**

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

Presentado por

**Nancy María Cevallos Merchán**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2015

# **Efecto de la adición de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) en las características físicas, químicas y sensoriales del yogur natural.**

Presentado por:

Nancy María Cevallos Merchán

Aprobado:

---

Sandra Espinoza, M.Sc.  
Asesora Principal

---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Director  
Departamento de Agroindustria  
Alimentaria

---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Asesor

---

Raúl H. Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

## **Efecto de la adición de las semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) en las características físicas, químicas y sensoriales del yogur natural**

**Nancy María Cevallos Merchán**

**RESUMEN.** El consumo y elaboración de productos funcionales se ha convertido en una tendencia en la industria de alimentos. Los productos funcionales reducen la incidencia de enfermedades crónicas como la hipertensión y la diabetes. La composición química de la chía (*Salvia hispanica* L.) permite que sea un producto con alto potencial para ser utilizado como ingrediente en la industria de alimentos. Existen investigaciones que sugieren el uso de semillas de chía para mejorar viscosidad en productos lácteos y jugos. Esta investigación se realizó con el fin de determinar el efecto de la adición de semillas de chía en una nueva formulación de yogur natural. Se determinó 0.4% de estabilizador y 0.35% de semillas de chía como la combinación óptima de semilla y estabilizador para generar el mejor grado de acidez, viscosidad y color en el yogur natural. Para validar los resultados, los valores obtenidos mediante la optimización se compararon con un tratamiento control sin semillas de chía y con 0.5% de estabilizador. Se realizaron análisis de viscosidad, acidez, color a los 0, 7, 14 y 21 días de almacenamiento. La adición de semillas de chía evita la sinéresis, genera mayor viscosidad y menor acidez en el yogur natural. El yogur con semillas de chía tuvo menor aceptación general en comparación a un tratamiento óptimo. Se recomienda realizar otro tipo de estudios en combinación con frutas o colorantes que mejoren las características sensoriales del yogur.

**Palabras clave:** Hidrocoloides, ingredientes funcionales, mucílago, productos lácteos, viscosidad.

**Abstract:** The human consumption and the build-up of functional products has become a trend in food industry. Functional products can reduce the incidence of chronic diseases such as hypertension and diabetes. The chemical composition of chia seed (*Salvia hispanica* L.) makes it a product with a great potential for being used as an ingredient in the food industry. This research was done with the idea to determine the effect of adding chia seeds on a new formulation of natural yogurt. It was determined 0.4% of stabilizer and 0.35% of Chia seeds as the optimal combination to get the best level of acidity, viscosity, and color on the natural yogurt. To validate the results, the values obtained by the optimization were compared with a treatment without Chia seeds and with 0.5% of stabilizer. There were done tests of viscosity, acidity, and color at 0, 7, 14 and 21 days after storage and, they proved significant differences between the studied treatments. To add chia seeds could prevent syneresis increased viscosity, and reduced acidity in the natural yogurt. The yogurt with chia seeds had fewer acceptances in comparison to an optimal treatment. It's recommended to make other type of research with different percentages of fruit or dyes that can improve the characteristics sensory characteristics of the yogurt

**Key words:** Chia gum, dairy products, functional ingredients, hydrocolloids, viscosity.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iii
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>38</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción del tratamiento experimental.....	4
2. Niveles de las variables independientes para la formulación de yogur natural.....	5
3. Delineamiento del diseño experimental completo. ....	6
4. Formulación de yogur natural. ....	7
5. Media y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes sobre la viscosidad (Pa.s) del yogur natural con semillas de chía.....	12
6. Análisis de varianza, coeficiente de regresión y $R^2$ para la variable viscosidad. ...	12
7. Media y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes sobre el valor $L^*$ del yogur natural con semillas de chía. ....	14
8. Análisis de varianza, coeficiente de regresión y $R^2$ para el valor $L^*$ . ....	15
9. Media y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes sobre el valor $a^*$ del yogur natural con semillas de chía.....	17
10. Análisis de varianza, coeficiente de regresión y $R^2$ para el valor $a^*$ .....	17
11. Media y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes sobre el valor $b^*$ del yogur natural con semillas de chía.....	19
12. Análisis de varianza, coeficiente de regresión y $R^2$ para el valor $b^*$ . ....	19
13. Media y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes en el análisis de pH del yogur natural con semillas de chía. ....	21
14. Análisis de varianza, coeficiente de regresión y $R^2$ para la variable pH. ....	22
15. Descripción de los tratamientos a analizar en la segunda fase. ....	24
16. Separación de medias de la variable viscosidad, medida en 21 días. ....	25
17. Separación de medias de la variable pH, medido en 21 días.....	26
18. Separación de medias del valor $L^*$ , medido en 21 días . ....	26
19. Separación de medias del valor $a^*$ , medido en 21 días. ....	27
20. Separación de medias del valor $b^*$ , medido en 21 días. ....	27
21. Separación de medias de sinéresis, medida en 21 días.....	28
22. Resultados de análisis proximales. ....	29
23. Resultado de conteo microbiológico. ....	29
24. Evaluación sensorial del atributo Apariencia. ....	30
25. Evaluación sensorial del atributo Color. ....	31
26. Evaluación sensorial del atributo Aroma. ....	32
27. Evaluación sensorial del atributo Acidez. ....	33
28. Evaluación sensorial del atributo Viscosidad.....	34
29. Evaluación sensorial, Aceptación General. ....	35

Figuras	Página
1. Flujo de proceso para yogur natural. ....	8
2. Efecto de las variables cuantitativas % de semillas de chía y % de estabilizador en la viscosidad del yogur natural. ....	13
3. Efecto de dos variables cuantitativas % de semillas de chía y % de estabilizador en el valor de color L* del yogur natural con semillas de chía .....	16
4. Efecto de dos variables cuantitativas % de semillas de chía y % de estabilizador en el valor de color a* del yogur natural con semillas de chía.....	18
5. Efecto de dos variables cuantitativas % de semillas de chía y % de estabilizador en el valor de color b* del yogur natural con semillas de chía.....	20
6. Efecto de dos variables cuantitativas en valor pH del yogur natural con semillas de chía. ....	23
7. Función de utilidad .....	24
8. Análisis sensorial de yogur natural con semillas de chía, atributo Apariencia .....	30
9. Análisis sensorial de yogur natural con semillas de chía, atributo Color.....	31
10. Análisis sensorial de yogur natural con semillas de chía, atributo Aroma.....	32
11. Análisis sensorial de yogur natural con semillas de chía, atributo Acidez .....	33
12. Análisis sensorial de yogur natural con semillas de chía, atributo Viscosidad .....	34
13. Análisis sensorial de yogur natural con semillas de chía, Aceptación General .....	35

Anexos	Página
1. Formato de la hoja de evaluación sensorial.....	41
2. Descripción de los costos de producción para 5 kg de yogur natural con semillas de chía.....	42

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe una nueva tendencia a consumir productos que contengan compuestos biológicamente activos es decir, ingredientes que cumplan una función única en las actividades fisiológicas del organismo y que proporcionen beneficios para la salud (Soto *et al.*, 2006). Estos productos son más conocidos como alimentos funcionales. Entre los principales beneficios de los alimentos funcionales encontraremos crecimiento óptimo, buen funcionamiento del sistema cardiovascular, uso óptimo de antioxidantes, metabolismo de xenobióticos, y la prevención de muchas enfermedades crónicas como obesidad, hipertensión, cáncer de colon, entre otros (Alvídrez *et al.*, 2002).

El yogur es un producto lácteo obtenido por la fermentación de la leche u otros productos lácteos mediante la acción de cultivos lácticos conformados por las bacterias *Streptococcus salivarius* spp. thermophilus y *Lactobacillus delbruekii* spp. bulgaricus (FAO, 2011); es uno de los productos de la industria láctea más antiguos y uno de los más consumidos a nivel mundial (Bylund, 1995). Desde el punto de vista nutricional, el yogur presenta ventajas sobre otros productos lácteos debido a su alta digestibilidad (Zambrano, 2008), excelente fuente de proteínas y de minerales como calcio, fósforo, potasio y cantidades significantes de vitaminas en general (Aswal *et al.*, 2012).

El sabor, aroma y consistencia del yogur varía de acuerdo al lugar donde es producido, ingredientes usados en la formulación y mercado al que va dirigido. Las características y propiedades del yogur pueden ser mejoradas con los tratamientos a los que sean sometidos y también con la ayuda de ciertos aditivos (Bylund, 1995).

Uno de los aditivos usados en la elaboración de yogur es el estabilizador; que tiene la función de generar o mejorar las características físicas y organolépticas como la viscosidad, proporcionándole una textura cremosa y suave y previene la separación del suero del yogur (Lee y Lucey, 2010).

La chía (*Savia hispánica* L.) es una semilla oleaginosa de alta importancia desde tiempo pre-colombinos, principalmente era usado como alimento (Muñoz, 2012). La semilla de chía es libre de gluten, y está compuesta por proteína (15-25%), grasa (30-33%), carbohidratos (26-41%), fibra dietética (18-30%) y cenizas (4-5%) de las cuales el 90-93% son minerales y vitaminas (Mohod Ali *et al.*, 2012).

La composición química de la chía hace que se convierta en un producto con alto potencial para ser utilizado como ingrediente en la industria de alimentos, especialmente por su alto contenido de aceites y fibra. El mucílago es la parte de la semilla con mayor contenido de fibra (Segura *et al.*, 2014). La goma de las semillas de chía presenta propiedades mucilaginosas a bajas concentraciones de agua (Hulse, 1996). Estos

hidrocoloides son conocidos por sus propiedades de espesar y gelificar, control de sinéresis, y estabilización emulsificante (Di Sapio *et al.*, 2008).

En los últimos años las formulaciones y suplementos alimenticios basados en semillas de chía han tomado gran parte del mercado y esto se debe básicamente al incremento de preferencia de las personas en seguir una dieta saludable y esperar beneficios extras en la salud tras el consumo de estas semillas (Valdivia y Tecante, 2008).

Tener productos lácteos de alta calidad se ha convertido en una de las principales prioridades en la industria de alimentos (Castillo *et al.*, 2004). De la misma manera, muchas investigaciones indican que el actual y cambiante estilo de vida ha hecho que el consumo y demanda de productos lácteos evolucione radicalmente. Haciendo que las personas consuman alimentos de origen lácteo que puedan mantener su salud y les proporcionen más energía para las actividades que realizan (Boucher, 2000).

Por lo anterior y con el propósito de elaborar un producto lácteo que cumpla con las expectativas nutricionales del consumidor que genere un beneficio a la salud, se elaboró un yogur con semillas de chía. Este yogur podría ampliar la gama de productos elaborados por la Planta de Lácteos de Zamorano, incrementando sus ventas al atender a un nuevo segmento de mercado que busca productos saludables y naturales.

Los objetivos planteados para esta investigación fueron:

- Encontrar la mejor combinación de semillas de chía y estabilizador que generen efecto en las características físico-químicas y sensoriales del yogur natural.
- Elaborar la formulación y flujo de proceso para un yogur natural con semillas de chía.
- Determinar el efecto de semillas de chía en las propiedades físicas y químicas del yogur natural.
- Evaluar la aceptabilidad de un yogur natural con semillas de chía.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del estudio.** La elaboración del yogur natural con semillas de chía se llevó a cabo en la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano (PIA) y en la Planta de Lácteos de Zamorano. Los análisis físico-químicos se realizaron en Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) y los análisis microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de Zamorano (LMAZ). Finalmente, el análisis sensorial se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos. Todos localizados en la Escuela Agrícola Panamericana ubicada en el Departamento de Francisco Morazán, 32 Km al este de Tegucigalpa, Honduras.

**Fases del experimento.** Este experimento se dividió en dos fases. La primera fase se enfocó en identificar el mejor tratamiento a través de la optimización de parámetros de proceso usando la metodología de superficie respuesta. En la segunda fase, se evaluaron las propiedades físico-químicas y sensoriales del producto.

**Fase I: Optimización de parámetros de proceso usando la metodología de superficie respuesta.** Para esta investigación las variables utilizadas fueron % de semillas de chía y % de estabilizador con el fin de evaluar su influencia en las características físicas y químicas del yogur y en la aceptación del consumidor sobre los atributos de apariencia, color, viscosidad y acidez. Se usó como base la formulación de yogur natural de la Planta de Lácteos de Zamorano.

Se realizaron pruebas preliminares para el ajuste de la metodología experimental, con el propósito de identificar los porcentajes adecuados de semilla de chía y de estabilizador que se puedan combinar en la formulación, estandarizar los tiempos e identificar la etapa del proceso en que se deben adicionar las semillas de chía en la formulación del yogur sin afectar la calidad del mismo. Con los resultados de las pruebas preliminares se estableció un diseño factorial completo, del cual en base a la experiencia del investigador y datos propuestos se obtuvieron los puntos centrales.

**Diseño experimental.** Se estableció un experimento factorial completo  $2^2$  estadísticamente delineado en la metodología de Superficie Respuesta con un diseño de composición central rotacional de 2do. Orden (DCCR). Los parámetros del proceso fueron codificados (-1, 0, +1), esto de acuerdo a la ecuación 1:

$$x_i = X_i - \frac{Z}{\Delta x_i} \quad [1]$$

**Dónde:**

- $x_i$  = Valor codificado de la variable  $X_i$
- $X_i$  = Valor real de la variable
- $Z$  = Valor real de la variable en el punto central
- $\Delta x_i$  = Valor del intervalo de variación de  $x_i$

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

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

El número de tratamientos para esta metodología es 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 dos variables independientes y dos niveles codificados usando un total de 12 unidades experimentales, siendo cuatro factoriales la combinación de los niveles -1, y +1, cuatro axiales  $-\alpha$  y  $+\alpha$  y cuatro puntos centrales sirviendo como estimado del error experimental y determinando la precisión del modelo matemático (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental.

<b>Expresión</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Cantidad puntos</b>
$2^k = 2^2$	4	Factoriales
$2k = 2 \times 2$	4	Puntos axiales
$m$	4	Puntos centrales
	12	Ensayos

Fuente: Box y Draper 1959; adaptado por la autora.

El método utilizado describe el análisis de los resultados experimentales como el comportamiento de un sistema en el que se combinan dos variables independientes y una

variable dependiente, donde la respuesta es una función de los niveles en los que se combinan (Box y Draper, 1959), como se determina en la ecuación 4.

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

Los resultados obtenidos se ajustaron a través de un análisis de regresión con 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
- $X_1, X_2$  y  $X_3$  = Valores de las variables independientes
- $\beta_0$  = Coeficiente relativo con la interpretación del eje
- $\beta_1, \beta_2$  y  $\beta_3$  = Coeficientes lineales estimados por el método de mínimos cuadrados
- $\beta_{11}, \beta_{22}$  y  $\beta_{33}$  = Coeficientes de variables cuadráticas
- $\beta_{12}$  = Coeficiente de interacción entre variables independientes
- $\varepsilon$  = Error experimental

Los niveles de las variables independientes son descritas como la combinación de todos los niveles, axiales ( $\alpha = 1.414$ ) y puntos centrales (Cuadro 2), estos son referentes a las proporciones utilizadas en la formulación.

Cuadro 2. Niveles de las variables independientes para la formulación de yogur natural

Variables	Niveles				
	$-\alpha$	$-1$	$0$	$1$	$+\alpha$
$X_1$ (%estabilizador)	0.3010	0.3300	0.400	0.4700	0.4990
$X_2$ (%chia)	0.0215	0.1250	0.400	0.5000	0.5518

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 las superficies de respuesta respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción del diseño experimental completo.

Tratamientos	Niveles de variables codificadas		Niveles de variables decodificadas	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	%Estabilizador	%Chía
1	-1.000	-1.000	0.330	0.125
2	-1.000	1.000	0.330	0.500
3	1.000	-1.000	0.470	0.125
4	1.000	1.000	0.470	0.500
5	-1.414	0.000	0.301	0.375
6	1.414	0.000	0.499	0.375
7	0.000	-1.414	0.400	0.022
8	0.000	1.414	0.400	0.552
9 (C)	0.000	0.000	0.400	0.375
10 (C)	0.000	0.000	0.400	0.375
11 (C)	0.000	0.000	0.400	0.375
12 (C)	0.000	0.000	0.400	0.375

X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub>: Variables codificadas

C = Punto Central

**Análisis estadístico.** Se realizó con una separación de medias LSMEANS y un análisis de varianza ANDEVA con un nivel de probabilidad del 5%, utilizando el programa SAS® versión 9.4 (*Statistical Analysis System*) para todas las variables respuesta así como para las que no generaron un modelo predictivo ni tendencial. Se realizó un análisis con un apego a la prueba F a 5% de significancia, el modelo de regresión fue significativo cuando el valor del prueba F calculado fue mayor o igual al F de la tabla de puntos de distribución con lo cual se pudo trazar la superficie (Rodrigues y Lemma, 2012).

El procesamiento de los datos fue realizado con ayuda del programa Statistica 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.

**Elaboración de yogur con semillas de chía.** Para la elaboración de los tratamientos se utilizó como base la formulación actual de la planta de Lácteos de Zamorano (Cuadro 4). Se agregó semilla de chía como un ingrediente adicional a la formulación actual sustituyendo cierto porcentaje de estabilizador. El porcentaje de semillas de chía variaba acorde el tratamiento (Cuadro 3).

Cuadro 4. Formulación de yogur natural

<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Leche (estandarizada a 2.5%)	84.6	84.60%
Leche descremada en polvo	8.5	8.50%
Azúcar	6.4	6.40%
Estabilizador	0.5	0.50%
Cultivo láctico (Yoflex Mild 1.0)	0.06	0.06%
	100.00	100.00%

Fuente: Planta de Lácteos Zamorano

Se elaboró un flujo de proceso tomando como base el usado en la planta de Lácteos de Zamorano e incluyendo una nueva etapa para la adición de las semillas de chía en el proceso (Figura 1). Antes de ser añadidas al producto las semillas de chía fueron pasteurizadas a 95°C durante 15 minutos, usando una relación 1:4 de semillas y agua destilada respectivamente. La relación de semilla: agua utilizada es en la que tiene la mejor capacidad de retención de agua del mucílago de la chía (Capitani *et al.*, 2012).

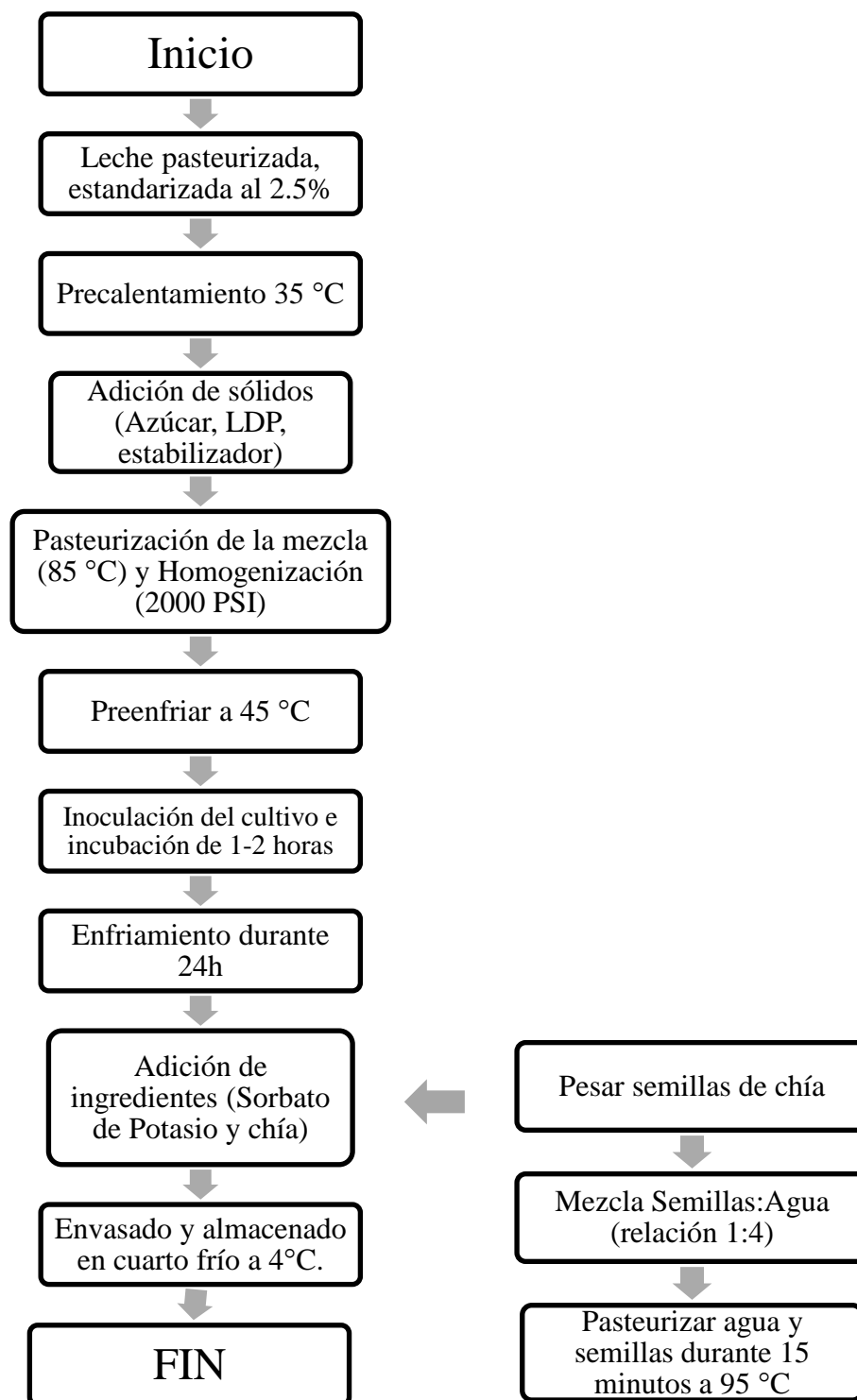


Figura 1. Flujo de proceso para yogur natural con semillas de chía

**Análisis físico-químicos.** Se realizó la medición de los análisis físicos-químicos para cada una de las dos fases de la investigación.

**Fase I:** Se midió viscosidad, acidez y color al día 0 de los tratamientos.

**Fase II:** Se midió viscosidad, acidez, color y sinéresis al día 0, 7, 14 y 21 de almacenamiento al tratamiento óptimo y al control. Además, se realizaron análisis proximales, microbiológicos y sensoriales.

**Análisis de viscosidad.** Se utilizó una muestra de 250 mL en un beaker de vidrio, la viscosidad fue determinada por el Reómetro de Brookfield DV-III Ultra V6.1 LV spindle LV3, según el método descrito por Rojas y colaboradores (2007). La medición se realizó por triplicado a una temperatura promedio de 5°C a 5 rpm cada 30 segundos. La viscosidad se reportó en Pa.s.

**Análisis de color.** Para la medición de color se utilizaron muestras de 10 mL usando el Colorflex de Hunterlab® donde se analizaron los valores L\* a\* b\*. Estos valores describen los colores en tres ejes de coordenadas. El valor L\* mide claridad u oscuridad, en una escala de 0-100, siendo el color negro 0 y el blanco 100. El valor a\* mide los colores del verde al rojo en una escala de -60 a 60, siendo a\*(-) verde y a\*(+) rojo. Finalmente el valor de b\* mide del azul al amarillo en una escala de -60 a 60, siendo b\*(-) azul y b\*(+) amarillo.

**Medición de sinéresis.** Se pesaron 25 g de muestra en tubos volumétricos y fueron centrifugados a 2200 rpm durante 10 minutos, a 4°C. La susceptibilidad a sinéresis del yogurt fue calculada como el porcentaje en volumen del suero liberado a causa de la centrifugación (Robitaille *et al.*, 2009).

**Medición de pH.** La medición de pH se realizó utilizando aproximadamente 50 g de muestra de yogurt por medición, se hizo por triplicado. Se usó el método estándar AOAC 981.12, con un potenciómetro HM digital PH-200 calibrado con soluciones buffer de 4 y 7.

**Análisis proximales.** Se determinó la composición proximal del yogurt con semillas de chía siguiendo los métodos de la AOAC.

- Proteína cruda método Kjeldahl (N\*6.38), (AOAC 32.2.11)
- Humedad se determinó por secado en horno a 105 °C (AOAC 945.15)
- Materia seca, materia orgánica y cenizas (AOAC 923.03)
- Fibra cruda (AOAC 962.29)
- Fibra Dietética (AOAC 985.29)

**Análisis microbiológicos.** En este experimento se realizaron: recuento de mohos y levaduras; y recuento de coliformes totales.

**Recuento de mohos y levaduras.** Los medios de cultivo fueron preparados en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de Zamorano. Los platos Petri preparados fueron transportados a la planta de Lácteos de Zamorano. Se realizó una dilución de 1mL en 99 mL de agua peptonada, luego se inoculó cada dilución en placas estériles por duplicado y se vertió el medio PDA (Agar Papa Dextrosa Acidificada). El conteo de mohos y levaduras se realizó a los 0, 7, 14 y 21 días para el tratamiento óptimo y el control evaluado, con tres repeticiones. Las placas se incubaron por cinco días a una temperatura de 25°C.

**Conteo de coliformes totales.** El análisis microbiológico para conteo de coliformes totales se realizó en la planta de lácteos de Zamorano, a los días 0, 7, 14 y 21 realizando tres repeticiones para los dos tratamientos que fueron comparados en la fase final del experimento; se utilizó Violet Red Bile Agar (VRBA) como medio, aplicando la técnica de vaciado en placas. Los platos Petri se incubaron a 35°C durante 24 horas. El conteo final de coliformes totales debe ser <10 ufc/mL para productos lácteos y derivados (RTC, 2002).

**Análisis sensoriales.** Se realizaron pruebas de aceptación con un panel no entrenado de 70 personas para evaluar los atributos de: apariencia, color, aroma, acidez, viscosidad y aceptación general. Se empleó una escala hedónica de cinco puntos, siendo uno el nivel más bajo de aceptación y cinco el más alto.

Los datos obtenidos fueron analizados a través del método ANDEVA para determinar si existían diferencias significativas en el promedio de los puntajes asignados a las muestras, con una separación de medias DUNCAN ( $P < 0.05$ ).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Fase I: Optimización de parámetros de proceso usando la metodología de superficie respuesta.**

**Análisis de viscosidad.** Los valores más altos de viscosidad fueron presentados por los tratamientos 6, 9 y 10, y no tuvieron diferencias significativas entre ellos. Esta similitud es atribuida al porcentaje de estabilizador utilizado que fue entre 0.400-0.499%. El estabilizador es un hidrocoloide cuya función principal es ligar agua (Bylund, 1995) ya que las moléculas del estabilizador son capaces de formar una red con los componentes característicos de la leche especialmente con la proteína y la grasa (Vélez y Rivas, 2001) lo que genera el incremento de la viscosidad del yogur (Cuadro 5).

Por otra parte, el % de semilla de chía en la formulación también influyó en el valor de viscosidad de estos tratamientos. El mucílago de la chía es un polisacárido que se hincha cuando entra en contacto con agua formando una cápsula gelatinosa y pegajosa adherida a la semilla que es difícil de separar (Valdivia y Tecante, 2009). El comportamiento del mucílago de chía es similar a cualquier tipo de estabilizador debido a los hidrocoloides en su composición. La viscosidad aparente de cualquier sustancia aumenta cuando el contenido de polisacáridos o hidrocoloides aumenta (Ramos *et al.*, 2004). Al añadir semillas de chía ya hidratadas en la formulación generó una mayor concentración de polisacáridos, lo que influyó en el aumento de viscosidad.

El tratamiento que presentó menor viscosidad fue el tratamiento uno, que contiene en su formulación 0.330% de estabilizador y 0.125% de semilla de chía. Esto indica que al tener la menor cantidad de estabilizador y la viscosidad que se generó fue menor en comparación al resto de tratamientos, esto debido a que la concentración de hidrocoloides fue menor. Por lo tanto, no se formó la red que encierra a todos los compuestos de la leche que intervienen en la formación del gel y que genera esa característica viscosa del yogur (Vélez y Rivas, 2001).

Por otra parte, en base al  $R^2$  que fue de 0.6858 para la medición de viscosidad del yogur natural con semillas de chía se demostró que el 65.8% fueron predichos por el modelo y solo el 34.2% de los datos no fueron explicados por el mismo (Cuadro 6). La falta de ajuste fue significativa ( $> 0.01$ ) lo que indica que no hace falta un ajuste de los datos al modelo. Por lo tanto, el modelo elegido representa una manera tendenciosa el comportamiento de los datos evaluados con las respectivas interacciones de las variables independientes. De acuerdo a Rodrigues y Lemma (2012), para que un modelo sea considerado tendencioso se deben considerar tres factores: un  $R^2$  mayor a 0.60, el ajuste de modelo no debe ser significativo ( $P < 0.01$ ) y el valor de F calculado debe ser mayor al valor de F tabular.

Cuadro 5. Promedios y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes sobre la viscosidad (Pa.s) del yogur con semillas de chía a 5 rpm.

Tratamientos	Estabilizador	Chía	Viscosidad
	(X <sub>1</sub> )	(X <sub>2</sub> )	
	%	%	Pa.s (±D.E) <sup>¥</sup>
1	0.330	0.125	4.388 ± 0.121 h
2	0.330	0.500	6.410 ± 0.327 f
3	0.470	0.125	6.346 ± 0.227 f
4	0.470	0.500	8.061 ± 0.291 d
5	0.301	0.375	7.480 ± 0.670 e
6	0.499	0.375	10.990 ± 0.439 a
7	0.400	0.022	8.913 ± 0.606 c
8	0.400	0.552	5.991 ± 0.171 g
9	0.400	0.375	11.005 ± 0.274 a
10	0.400	0.375	10.951 ± 0.220 a
11	0.400	0.375	9.495 ± 0.434 b
12	0.400	0.375	9.580 ± 0.692 b
<b>Coefficiente de variación (%)</b>		2.76	

Valor seguido por una letra minúscula son significativamente diferentes P < 0.05

¥ Media ± Desviación estándar

Cuadro 6. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R<sup>2</sup> para viscosidad en función de % chía y % de estabilizador.

Coefficientes	P
Intercepto	1.03E-04*
X <sub>1</sub>	1.07E-02*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-1.02E-02*
X <sub>2</sub>	-5.00E-01 <sup>¥</sup>
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-1.91E-02*
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	-7.48E-01 <sup>¥</sup>
<b>Falta de ajuste</b>	6.24E-02
<b>R<sup>2</sup></b>	0.658

X1: % estabilizador

X2: % semillas de chía

¥ No significativo, \* significativo a P < 0.1

La expresión matemática es un modelo cuadrático de segundo orden con productos cruzados, determinado entre la viscosidad analizada en el yogur y las variables independientes significativas. La expresión está representada en la ecuación 6.

$$\text{Viscosidad (5rpm)} = 1.03 + 1.07X_1 - 1.02X_1^2 - 1.91X_2^2 \quad [6]$$

Se realizó la prueba F con 0.05 de significancia obteniendo un valor de F calculado de 7.23, mayor al F de la tabla, 2.91; lo que permitió realizar la figura de superficie respuestas.

Se ignoraron los resultados de las variables que no fueron significativas, que en este caso fueron la expresión lineal y cuadrática del % de semillas de estabilizador ( $X_1$ ) y la expresión cuadrática del % de semillas de chía ( $X_2$ ). El punto óptimo para el índice de estabilidad se da cuando las variables % de estabilizador ( $X_1$ ) y % de semillas de chía ( $X_2$ ) se encuentran más cerca del punto central establecido en el experimento al alcanzar los valores más altos de viscosidad expresado en Pa.s. La figura 2 demuestra que entre 0.4 y 0.522% de estabilizador y 0.301 y 0.375% de semillas de chía se encuentran en el índice máximo identificado en 11.005 Pa.s.

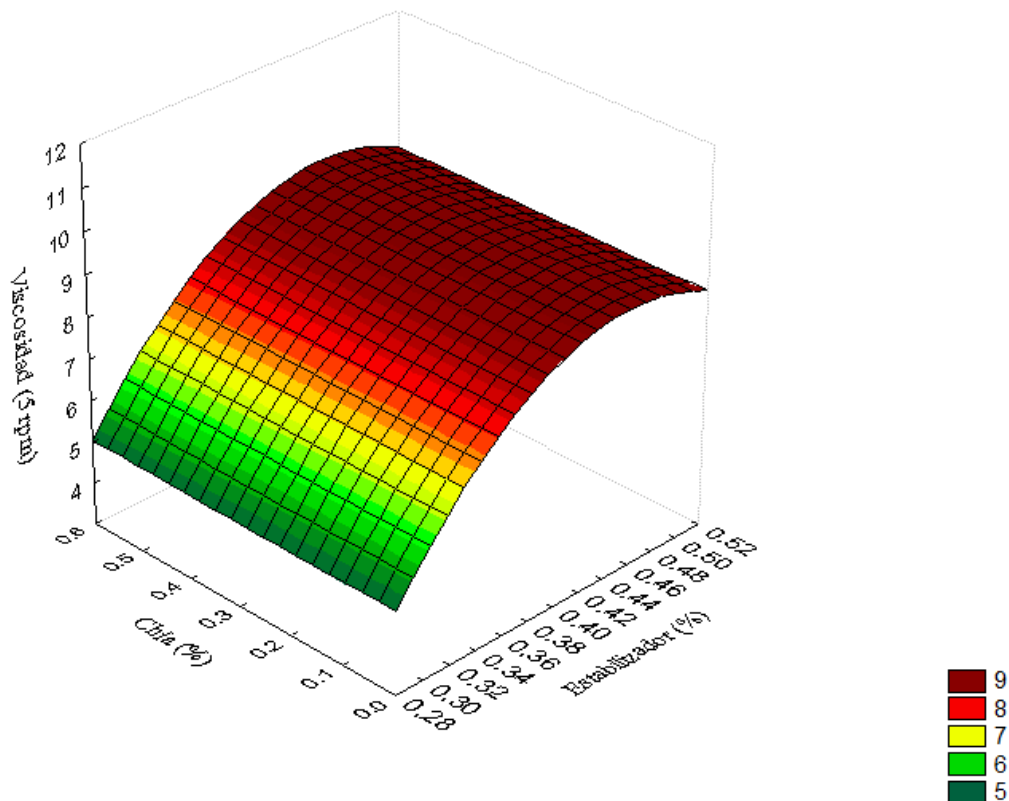


Figura 2. Efecto de dos variables cuantitativas % estabilizador y de semillas de chía en la viscosidad del yogur natural.

## Análisis de Color.

**Valor L\*.** El tratamiento con mayor valor L\* fue el tratamiento uno con 90.65, este tratamiento tuvo valores más bajos de estabilizador y semilla: 0.330% y 0.125%, respectivamente. Y el tratamiento que presentó el valor más bajo de L\* fue el tratamiento ocho, que tuvo el % de semillas de chía más alto (0.552%) en relación al resto de tratamientos y 0.400% de estabilizador (Cuadro 7).

El valor cercano a 100 que tuvo el tratamiento ocho puede deberse principalmente al bajo porcentaje de semillas de chía y estabilizador presente en el tratamiento. Es importante recalcar, que mientras menos sólidos presentes se encuentren en la muestra analizada será mucho más fácil la transmisión de luz emitida por el colorímetro, lo que indica un alto nivel de pureza en el color. Nivel que se expresa en color blanco (Ramos *et al.*, 2004).

El valor L\* se ve afectado directamente por la cantidad de semillas de chía añadida a su formulación. A mayor cantidad de semillas menor va a ser la luminosidad del producto analizado y viceversa. De acuerdo a Koocheki y colaboradores (2009), el color del mucílago de la chía cambia por dos razones, por el tratamiento térmico que reciba y por el medio acuoso en el que se encuentre, tornándose de un color más opaco. Estos resultados, se comparan con los resultados obtenidos por Huerdo (2008) en un prototipo de bebida de maracuyá con semillas de chía; a mayor % de semillas mayor será el efecto en el valor de luminosidad del producto, es decir tendrá un color mucho más opaco que lo habitual.

Cuadro 7. Promedios y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en el valor L\* en el yogur natural con semillas de chía.

Tratamientos	Estabilizador	Chía (X2)	Color	
	(X1)		L* ( $\pm$ D.E) <sup>¥</sup>	
	%	%		
1	0.330	0.125	90.656 $\pm$ 0.180	a
2	0.330	0.500	87.446 $\pm$ 0.069	d
3	0.470	0.125	89.250 $\pm$ 0.099	c
4	0.470	0.500	89.630 $\pm$ 0.060	d
5	0.301	0.375	89.976 $\pm$ 0.090	b
6	0.499	0.375	86.380 $\pm$ 0.398	f
7	0.400	0.022	89.950 $\pm$ 0.242	b
8	0.400	0.552	84.336 $\pm$ 0.277	i
9	0.400	0.375	85.586 $\pm$ 0.051	h
10	0.400	0.375	85.853 $\pm$ 0.132	gh
11	0.400	0.375	86.003 $\pm$ 0.221	g
12	0.400	0.375	87.060 $\pm$ 0.036	e
<b>Coefficiente de variación (%)</b>			<b>0.2168</b>	

Valor seguido por una letra minúscula son estadísticamente diferentes  $P < 0.05$

¥ Media  $\pm$  Desviación estándar

El  $R^2$  obtenido en el valor  $L^*$  para el yogur natural con semillas de chía fue de 0.852, este valor indica que el 85.2% de los datos fueron predichos por el modelo y que el restante 14.8% de los datos no lo fueron (Cuadro 8). La falta de ajuste fue no significativa ( $P < 0.1$ ) lo que indica el modelo elegido es considerado predictivo.

Cuadro 8. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y  $R^2$  para el valor  $L^*$ , en función de % chía y % de estabilizador en las formulaciones de yogur natural.

<b>Coeficientes</b>	<b>P</b>
Intercepto	8.61E-07*
$X_1$	-7.91E-02*
$X_1^2$	1.30E-02*
$X_2$	-1.59E-03*
$X_2^2$	7.82E-02*
$X_1 * X_2$	3.95E-01 <sup>‡</sup>
<b>Falta de Ajuste</b>	1.30E-01 <sup>‡</sup>
<b><math>R_2</math></b>	0.85238

X1: % estabilizador

X2: % semillas de chía

‡ No significativo, \* significativo a  $P < 0.1$

A partir de las variables independientes significativas, se construyó una ecuación de regresión expresada en la ecuación 7.

$$Color L * = 8.61 - 7.91X_1 + 1.30X_1^2 - 1.59X_2 + 7.82X_2^2 \quad [7]$$

Se realizó la prueba F con 0.05 de significancia obteniendo un valor de F calculado de 13.45, mayor al F de la tabla (2.91). En base a esto y al modelo expresado en la ecuación 7 se procedió a crear una figura de superficie respuestas. Se ignoró la variable no significativa, que en este caso fue la expresión cuadrática de la variable  $X_2^2$  y la interacción entre las variables  $X_1$  y  $X_2$ .

En la figura 3 se puede apreciar de manera más clara la interacción de las variables independientes (% de semillas de chía y de estabilizador). Esta interacción indica que a menor porcentaje de semilla de chía usado mayor luminosidad (Punto 1).

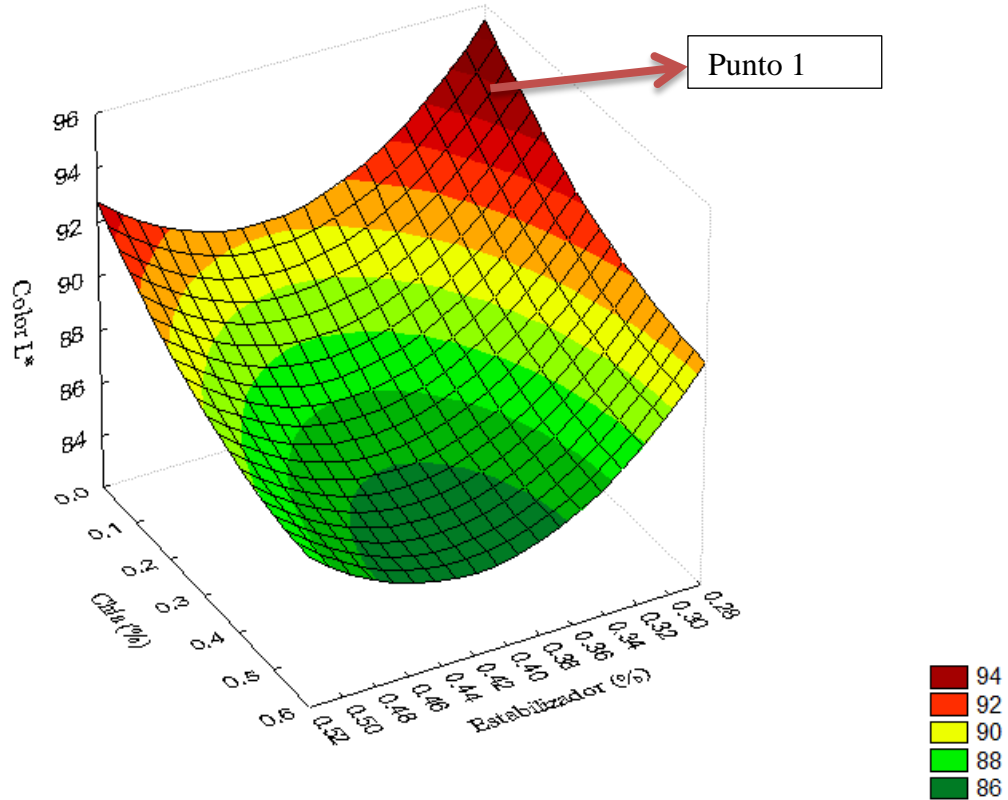


Figura 3. Efecto de dos variables cuantitativas (% estabilizador y % de semillas de chía) en el valor de color L\* del yogur natural con semillas de chía.

**Valor a\*.** Los valores obtenidos en esta escala fueron negativos (Cuadro 9); es decir que se encontraron en el eje del color verde. Sin embargo al ser valores cercanos a 0 indicando que la tonalidad de colores en esta escala fueron colores grises, que en este no fueron relevantes en el análisis.

El  $R^2$  obtenido en el valor a\* para el yogur natural con semillas de chía fue de 0.7439. El significado de este valor indica que el 74.39% de los datos fueron predichos por el modelo y que el 25.61% de los datos no fueron explicados por el mismo (Cuadro 10). La falta de ajuste fue significativa ( $P < 0.1$ ), de la misma manera todos lo que indica el modelo elegido es considerado un modelo tendencioso.

Cuadro 9. Promedios y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en el valor a\* en el yogur natural con semillas de chía.

Tratamientos	Estabilizador (X1)	Chía (X2)	Color
	%	%	a* ( $\pm$ D.E) <sup>‡</sup>
1	0.330	0.125	-1.413 $\pm$ 0.123 ab
2	0.330	0.500	-1.833 $\pm$ 0.065 c
3	0.470	0.125	-1.423 $\pm$ 0.119 ab
4	0.470	0.500	-1.970 $\pm$ 0.055 c
5	0.301	0.375	-1.780 $\pm$ 0.036 bc
6	0.499	0.375	-1.333 $\pm$ 0.451 a
7	0.400	0.022	-1.756 $\pm$ 0.287 bc
8	0.400	0.552	-1.823 $\pm$ 0.398 c
9	0.400	0.375	-1.840 $\pm$ 0.297 c
10	0.400	0.375	-2.076 $\pm$ 0.127 c
11	0.400	0.375	-1.850 $\pm$ 0.286 c
12	0.400	0.375	-2.050 $\pm$ 0.026 c
<b>Coefficiente de variación (%)</b>			12.5

Valor seguido por una letra mayúscula (columna) son estadísticamente diferentes P<0.05

‡: Media  $\pm$ Desviación Estándar

Cuadro 10. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R<sup>2</sup> para el valor a\*, en función de % chía y de estabilizador en las formulaciones de yogur natural.

Coefficientes	P
Intercepto	-2.06E-07*
X <sub>1</sub>	-1.48E-02*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	2.22E-05*
X <sub>2</sub>	-1.27E-04*
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	5.94E-03*
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	2.50E-02*
<b>Falta de Ajuste</b>	7.22E-04*
<b>R<sup>2</sup></b>	0.7439

X1: % estabilizador

X2: % semillas de chía

‡ No significativo, \* significativo a P< 0.1

La expresión matemática es un modelo lineal, determinado entre el valor a\* de las diferentes formulaciones del yogur con las variables independientes significativas analizadas. Esta expresión está representada en la ecuación 8.

$$Color a * = -2.0575 - 1.48X_1 + 2.21X_1^2 - 1.27X_2 + 5.94X_2^2 + 2.50X_1 * X_2 \quad [8]$$

Se realizó la prueba F con 0.05 de significancia obteniendo un valor F de 3.11 al compararse con la F de la tabla que fue de 4.225. En base a esto y al modelo expresado en la fórmula 7 se procedió a crear una gráfica de superficie respuestas.

En la figura 4 se puede apreciar de manera más clara la interacción de las variables y su efecto en el valor  $a^*$ . Esta interacción indica que a mayor porcentaje de semillas de chía, los valores  $a^*$  serán más cercanos a 0 (Punto 1 y Punto 2), es decir que tendrán una tonalidad más gris. Estos resultados pueden ser atribuidos principalmente al color de la semilla de chía que va de un color gris a marrón (Muñoz, 2012).

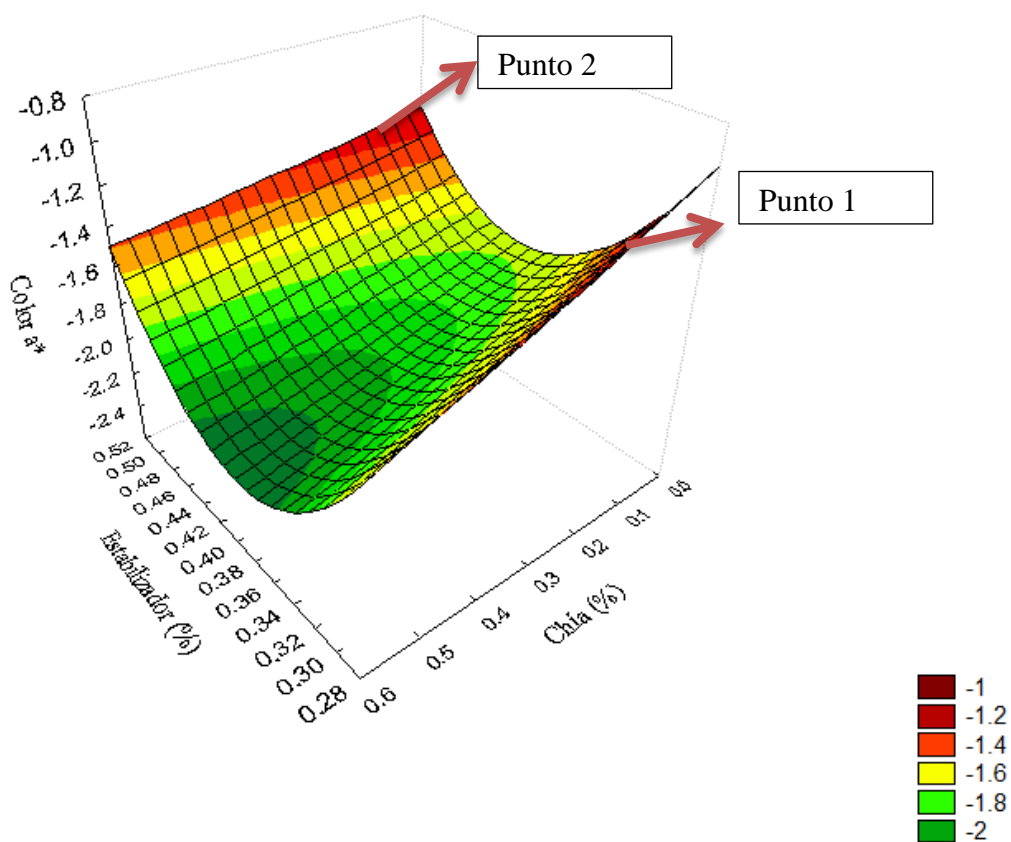


Figura 4. Efecto de dos variables cuantitativas % estabilizador y % de semillas de chía en el valor de color  $a^*$  del yogur natural con semillas de chía.

**Valor  $b^*$ .** Los valores más altos fueron los de los tratamientos 1, 5 y 7. Estos tres tratamientos poseen los porcentajes de semillas de chía más bajos (Cuadro 11). Pese a que todos los tratamientos presentaron diferencias significativas, es importante mencionar que todos tuvieron en cierta forma tonalidades amarillas. Este color amarillo es atribuido a la leche usada en la elaboración del yogur. Este color amarillo no es nada más que el resultado de la translocación de los carotenoides de la alimentación a base de pasto del ganado, en la leche (Moreno, 2013).

En base al  $R^2$  que fue de 0.38632 para la medición de viscosidad del yogur natural con semillas de chía se demostró que únicamente el 38.63% de los datos fueron predichos por el modelo y el 61.37% de los datos no fueron predichos por el modelo (Cuadro 12). La falta de ajuste no fue significativa ( $P < 0.1$ ) lo que indica que no hace falta un ajuste de los datos al modelo. Esto indica que el modelo elegido representa una manera tendenciosa el comportamiento de los datos evaluados con las respectivas interacciones de las variables independientes.

Cuadro 11. Promedios y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en el valor  $b^*$  en el yogur natural con semillas de chía.

Tratamientos	Estabilizador (X1)	Chía (X2)	Color
	%	%	$b^* (\pm D.E)^{\text{¥}}$
1	0.330	0.125	14.986 ± 0.210 a
2	0.330	0.500	10.176 ± 0.089 d
3	0.470	0.125	13.183 ± 0.171 b
4	0.470	0.500	10.903 ± 0.050 c
5	0.301	0.375	14.660 ± 0.190 a
6	0.499	0.375	11.206 ± 0.686 c
7	0.400	0.022	14.496 ± 0.445 a
8	0.400	0.552	10.173 ± 0.612 d
9	0.400	0.375	10.956 ± 0.182 c
10	0.400	0.375	9.876 ± 0.231 d
11	0.400	0.375	11.323 ± 0.385 c
12	0.400	0.375	13.033 ± 0.086 b
<b>Coefficiente de variación (%)</b>			2.6754

Valor seguido por una letra minúscula son estadísticamente diferentes  $P < 0.05$

¥: Media ± Desviación estándar

Cuadro 12. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y  $R^2$  para el valor  $b^*$ , en función de % chía y % de estabilizador en las formulaciones de yogur natural.

Coefficientes	P
Intercepto	1.10E-04*
$X_1$	-1.79E-01 <sup>¥</sup>
$X_1^2$	1.51E-02*
$X_2$	-3.05E-01 <sup>¥</sup>
$X_2^2$	5.46E-01 <sup>¥</sup>
$X_1 * X_2$	6.33E-01 <sup>¥</sup>
<b>Falta de Ajuste</b>	1.60E-01 <sup>¥</sup>
<b><math>R^2</math></b>	0.38632

X1: % estabilizador

X2: % semillas de chía

¥ No significativo, \* significativo a  $P < 0.1$

La expresión matemática es un modelo lineal, determinado entre el valor  $b^*$  de las diferentes formulaciones del yogur con las variables independientes significativas analizadas. Esta expresión está representada en la ecuación 9.

$$\text{Color } b^* = 1.10 + 1.51X_1^2 \quad [9]$$

Debido a que la ecuación cuadrática del % de estabilizador y el intercepto fueron los únicos coeficientes significativos en la ecuación de regresión no se visualizó ninguna tendencia en la gráfica de superficie respuesta (Figura 5). Lo que indica que el modelo, tiene un comportamiento lineal.

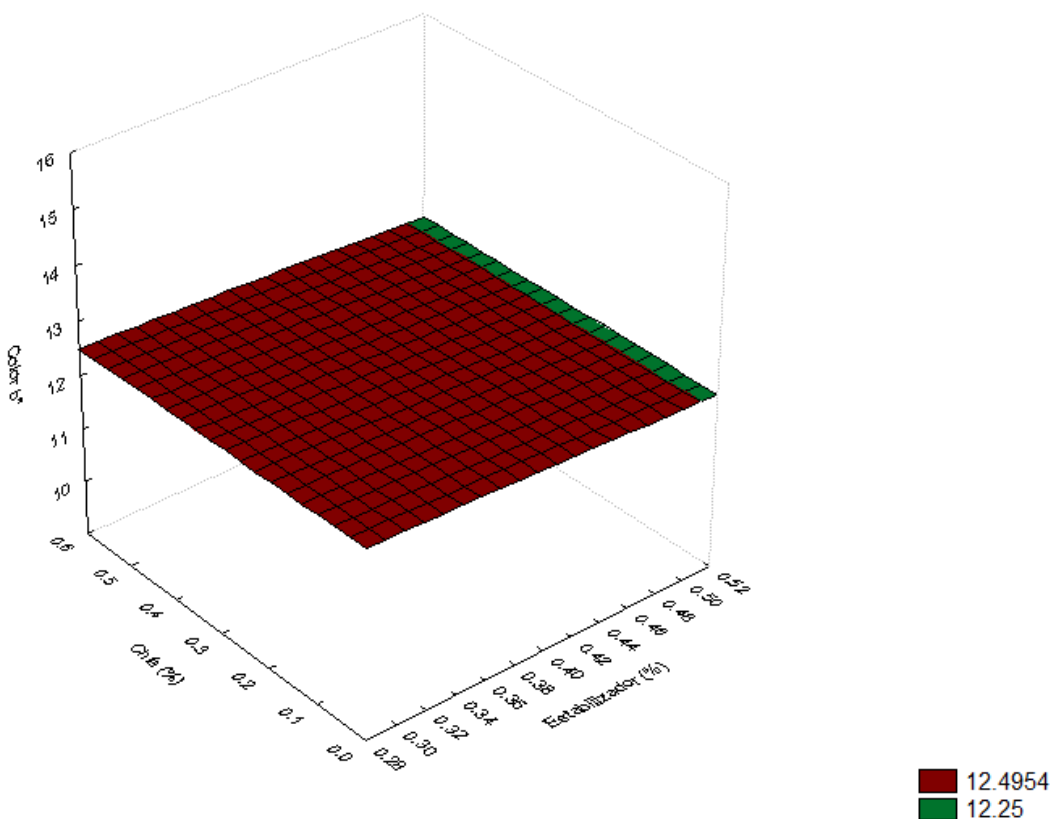


Figura 5. Efecto de dos variables cuantitativas % estabilizador y de semillas de chíá en el valor  $b^*$  del yogur natural con semillas de chíá.

**Análisis de acidez (pH).** Un yogur natural debe tener un pH mínimo de 4.2 y máximo de 4.9 (FAO, 2011). Los tratamientos que cumplieron con esta especificación técnica fueron los tratamientos uno y siete (Cuadro 13), que fueron los tratamientos con menor porcentaje de semillas de chíá. El pH de la semilla de chíá está en un rango de pH entre 6.5-9, que es considerado un pH alcalino (Muñoz, 2012). Se puede decir, que es por esta

razón que los tratamientos con mayor porcentaje de semillas generaron un pH más alcalino que otros. La diferencia de baja acidez entre tratamientos pudo ser atribuido a fallas en el control de la fermentación del yogur, esto incluye aspectos como temperatura y tiempo (Mahaut *et al.*, 2004).

Cuadro 13. Promedios y desviación estándar (D.E) del efecto de las variables independientes en el análisis de pH en el yogur natural con semillas de chía.

Tratamientos	Estabilizador	Chía	Acidez
	(X1)	(X2)	
	%	%	pH* ( $\pm$ D.E) <sup>‡</sup>
1	0.330	0.125	4.916 $\pm$ 0.0054 h
2	0.330	0.500	5.106 $\pm$ 0.0054 f
3	0.470	0.125	5.136 $\pm$ 0.0054 d
4	0.470	0.500	5.268 $\pm$ 0.0044 b
5	0.301	0.375	5.014 $\pm$ 0.0134 g
6	0.499	0.375	5.142 $\pm$ 0.0044 d
7	0.400	0.022	4.872 $\pm$ 0.0044 i
8	0.400	0.552	5.272 $\pm$ 0.017 b
9	0.400	0.375	5.238 $\pm$ 0.0044 c
10	0.400	0.375	5.332 $\pm$ 0.0044 a
11	0.400	0.375	5.332 $\pm$ 0.0044 a
12	0.400	0.375	5.248 $\pm$ 0.0109 c
<b>Coefficiente de variación (%)</b>			0.162

Valor seguido por una letra mayúscula (columna) son estadísticamente diferentes  $P < 0.05$

‡: Media  $\pm$  Desviación Estándar

En base al  $R^2$  que fue de 0.915 para la medición de acidez del yogur natural con semillas de chía se demostró que el 91.5% de los datos fueron predichos por el modelo y únicamente el 8.5% de los datos no fueron predichos por el modelo (Cuadro 14). La falta de ajuste no fue significativa ( $P < 0.1$ ) lo que indica que no hace falta un ajuste de los datos al modelo, por lo que el modelo elegido representa en una manera tendenciosa el comportamiento de los datos evaluados con las respectivas interacciones de las variables independientes.

Cuadro 14. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R<sup>2</sup> para el pH, en función de % chía y % de estabilizador en las formulaciones de yogur natural

<b>Coeficientes</b>	<b>P</b>
Intercepto	5.27E-07*
X <sub>1</sub>	7.17E-02*
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-9.00E-02*
X <sub>2</sub>	1.09E-03*
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-9.25E-02*
X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	-1.25E-01‡
<b>Falta de Ajuste</b>	1.78E-01‡
<b>R<sup>2</sup></b>	0.91585

X1: % estabilizador

X2: % semillas de chía

‡ No significativo, \* significativo a P < 0.1

El % de semillas en su nivel lineal fue significativo a una probabilidad <0.1. De la misma manera, la variable % de estabilizador en ambos niveles (cuadrático y lineal) y la variable cuadrática % de semillas de chía fueron significativas a una probabilidad <0.1. La interacción entre ambas variables no fue significativa en la fórmula de regresión (ecuación 10). El ajuste de modelo para esta variable (R<sup>2</sup>) fue de 91.5%. Esto indica que el 91.5% de los datos se ajustaron al modelo usado. En este caso, la falta de ajuste no fue significativa, por lo que los datos pueden adaptarse al modelo de regresión expresado en la ecuación 10.

$$pH = 5.27 + 7.17X_1 - 9.00X_1^2 + 1.09X_2 - 9.25X_2^2 \quad [10]$$

En base al modelo expresado anteriormente, se construyó un gráfico de superficie respuesta (Figura 6), donde se muestra el efecto de las variables independientes analizadas (% de semillas de chía y % de estabilizador). La interacción entre variables indica que a menor cantidad de semillas de chía presentes en la formulación, menor será el pH del yogur (Punto 1).

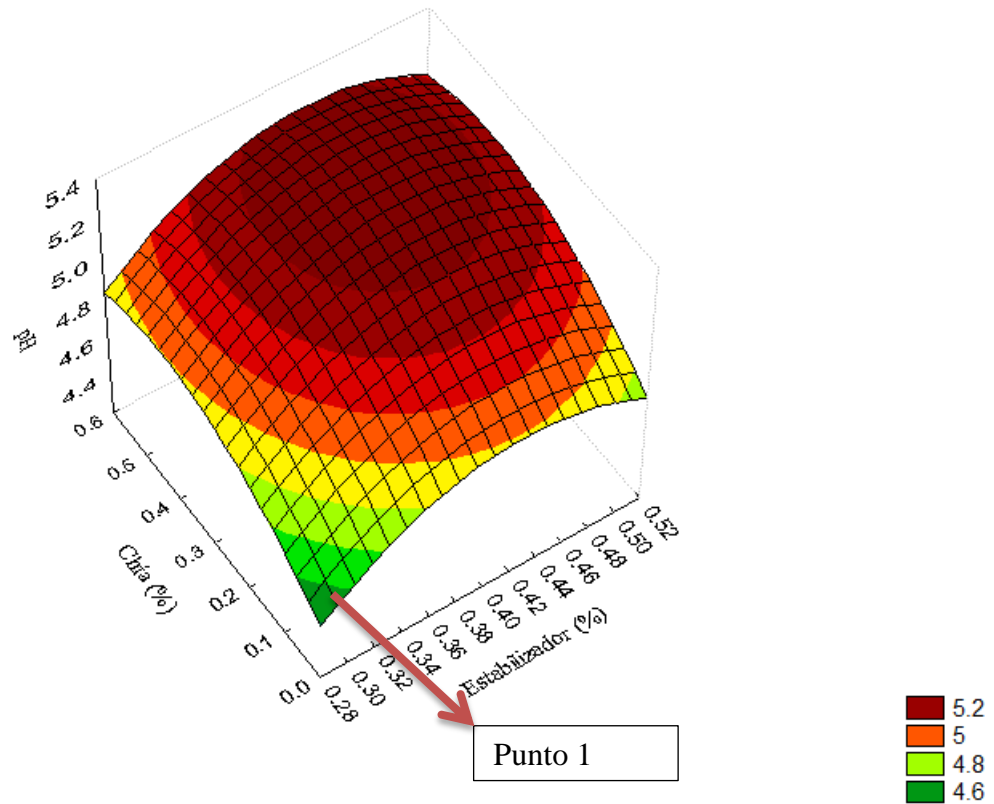


Figura 6. Efecto de dos variables cuantitativas % estabilizador y % de semillas de chía en el pH del yogur natural con semillas de chía.

**Función de utilidad.** En la figura 7 se observan los valores óptimos de las variables independientes sobre los diferentes resultados obtenidos para cada variable. Se determinó 0.400% de estabilizador y 0.339% de semillas de chía aplicando una restricción para las variables viscosidad, valores de color L\* y pH.

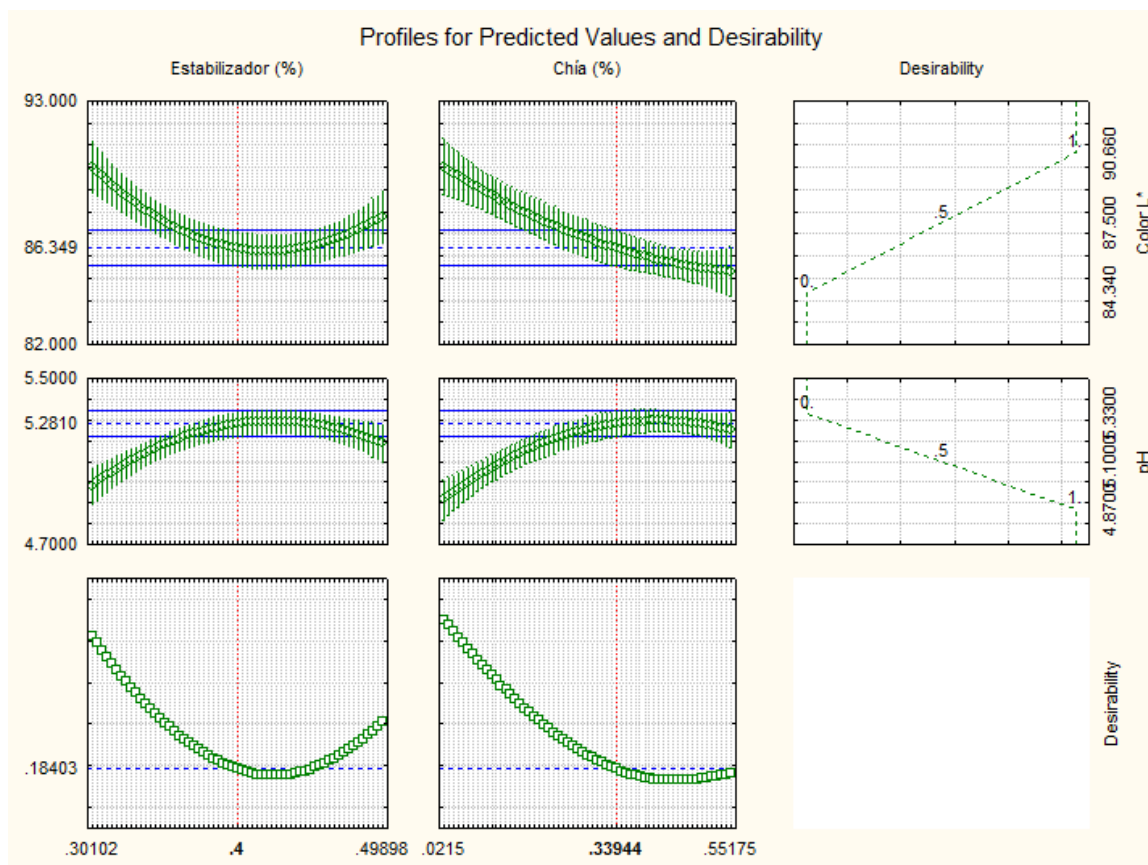


Figura 7. Función de utilidad

**Fase II. Resultados.** Una vez identificados los porcentajes óptimos de las variables dependientes analizadas se establecieron los dos tratamientos a analizar en la segunda fase (Cuadro 15).

Cuadro 15. Descripción de los tratamientos a analizar en la segunda fase.

Tratamientos	%Chía	%Estabilizador
Óptimo	0.339	0.400
Control	0.000	0.500

**Viscosidad.** De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 16, los dos tratamientos fueron significativamente diferentes a través del tiempo (0, 7, 14 y 21 días). Los niveles más altos de viscosidad fueron encontrados en el tratamiento óptimo, que fue el tratamiento con semillas de chía. Esto reafirma la teoría de Segura y colaboradores (2014), que indica que la semilla de chía podría ser usada como un agente espesante en bajas concentraciones para productos como el yogurt, jugos y salsas (Cuadro 16).

Es necesario recalcar, que la semilla de chía no tiene habilidad de formar geles, únicamente tiene una excelente capacidad de formar soluciones altamente viscosas en concentraciones bajas (Muñoz, 2012). El mucílago es una cápsula gelatinosa formada alrededor de la semilla cuando entra en contacto con agua (Hulse, 1996). El mucílago es un polisacárido o hidrocoloide que se encuentra localizado en las estructuras celulares de las capas que recubren la semilla y cuando se hidrata se caracteriza como filamentos que en conjunto forman una capa transparente, que genera viscosidad en la solución en la que se encuentre (San Juan *et al.*, 2013).

Cuadro 16. Separación de medias de la variable viscosidad medida en diferentes fechas durante 21 días.

Tratamientos	Viscosidad (Pa.s) ± D.E <sup>‡</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	11.01±2.22b(A)	13.42±1.97a(A)	12.77±1.96a(A)	11.51±2.42b(A)
Control	6.86±1.11c(B)	8.70±1.17b(B)	10.17± 0.72a(B)	10.40±0.20a(B)
<b>C.V (%)</b>	15.17	14.08	10.71	16.14

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

‡: Media ± Desviación Estándar

**Acidez (pH).** Los dos tratamientos fueron estadísticamente diferentes a lo largo del tiempo, siendo el tratamiento control el que obtuvo los niveles más altos de acidez (Cuadro 17)

Este resultado es atribuido principalmente a la adición de semillas en la formulación. De acuerdo a Muñoz (2012), el pH del mucílago tiene un valor aproximado de 6.5, este al ser un pH neutro pudo en cierta forma inhibir la producción de ácido láctico generado por el cultivo haciendo que el pH del yogur con semillas no tenga un valor bajo como se espera.

Por otra, parte el control y el tratamiento óptimo presentaron una disminución gradual del pH, es decir que la disminución del pH fue gradual conforme pasó el tiempo de almacenamiento. Esto se debe a la producción constante de ácido láctico producido por el cultivo iniciador (Vélez y Rivas, 2001).

Un yogur con un pH menor a 4.2 favorece la contracción del coágulo de proteína formado por la adición de bacterias lácticas produciendo sinéresis y un pH demasiado alto (>4.9) influye desfavorablemente en la consistencia del yogur (Castillo *et al.*, 2004)

Cuadro 17. Separación de medias del pH medido en diferentes fechas durante 21 días.

Tratamientos	pH $\pm$ D.E. <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	4.97 $\pm$ 0.10a(A)	4.87 $\pm$ 0.05 b(A)	4.79 $\pm$ 0.05c(A)	4.81 $\pm$ 0.03c(A)
Control	4.78 $\pm$ 0.04a(B)	4.58 $\pm$ 0.02 b(B)	4.48 $\pm$ 0.02c(B)	4.45 $\pm$ 0.03d(B)
<b>C.V (%)</b>	1.17	0.61	0.65	0.528

C.V: Coeficiente de variación

€ <sup>A-B</sup> Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ <sup>a-d</sup> Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media  $\pm$  Desviación Estándar

### Resultados Color.

**Valor L\*.** Los valores L\* de los dos tratamientos fueron estadísticamente diferentes durante todo su tiempo de almacenamiento. Los valores L\* más altos al día 7, 14 y 21 se encontraron en el tratamiento control, esto se le puede atribuir a la ausencia de semillas de chíá (Cuadro 18). Esta diferencia es atribuida principalmente al cambio de color del mucílago de chíá. El color que genera el mucílago es atribuido al tratamiento térmico por el que pasa la semilla previa a ser añadida al yogur (Koocheki *et al.*, 2009).

Sé observó que el tratamiento óptimo presentó diferencias significativas en los diferentes períodos de almacenamiento, mostrando una tendencia a que el valor L\* disminuya durante su almacenamiento. Esto se debe a la presencia de la semilla en los tratamientos ya que la transparencia del mucílago cambia conforme va absorbiendo agua del medio.

Cuadro 18. Separación de medias del valor L\*, medida en diferentes fechas durante 21 días.

Tratamientos	L* $\pm$ D.E. <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	89.97 $\pm$ 0.06a(A)	86.51 $\pm$ 0.45b(B)	83.94 $\pm$ 1.60c(B)	84.29 $\pm$ 1.81c(B)
Control	87.43 $\pm$ 0.42b(B)	89.01 $\pm$ 0.62a(A)	88.97 $\pm$ 0.29a(A)	88.85 $\pm$ 0.35a(A)
<b>C.V (%)</b>	0.32	0.69	1.5	1.74

C.V: Coeficiente de variación

€ <sup>A-B</sup> Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ <sup>a-d</sup> Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media  $\pm$  Desviación Estándar

**Valor a\*.** En los resultados de la medición del valor a\* (Cuadro 19) se observó que los dos tratamientos fueron estadísticamente diferentes y a esto se le atribuye la presencia y ausencia de semilla de chía en el yogur óptimo y el control. Los valores a\* del tratamiento óptimo se mantuvieron más cercanos al color verde. La diferencia estadística entre tratamientos respecto al tiempo, pudo ser consecuencia de una mala homogenización al momento de tomar las muestras para ser analizadas.

Cuadro 19. Separación de medias del valor a\*, medido en diferentes fechas durante 21 días.

TRT	a* ±D.E <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	-1.54±0.11b(A)	-1.54±0.24ab(A)	-1.26±0.14a(A)	-1.40± 0.18ab(A)
Control	-1.81±0.19c(B)	-1.24±0.18a(B)	-1.54±0.24b(B)	-1.59± 0.31b(B)
<b>C.V (%)</b>	11.38	12.85	13.49	21.12

C.V: Coeficiente de variación

€ <sup>A-B</sup> Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ <sup>a-d</sup> Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥ Media ± Desviación Estándar

**Valor b\*.** De la misma forma que los valores L\* y a\*, los dos tratamientos fueron estadísticamente diferentes a través del tiempo (Cuadro 20), pero es importante mencionar que ambos tratamientos presentaron un incremento en la intensidad del color amarillo durante su almacenamiento. Este cambio de color se debe principalmente a la desnaturalización de proteínas generada por la reacción de Maillard (Rodríguez, 2010).

En el cuadro 20 se puede observar que el tratamiento óptimo tiene valores b\* menores en comparación al control. Esto puede ser atribuido a que la presencia de las semillas de chía no permite que las bacterias lácticas tengan una reacción adecuada en la desnaturalización de las proteínas de la leche generando un efecto menor en el cambio de las características físicas del yogur especialmente en el color (Rodríguez, 2010).

Cuadro 20. Separación de medias del valor b\*, medido en diferentes fechas durante 21 días.

TRT	b* ±D.E <sup>‡</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	14.17±0.08a(A)	12.29±0.24b(B)	10.69±1.01c(B)	11.56±1.09d(B)
Control	11.83±0.52b(B)	15.17±0.37a(A)	14.77±0.38a(A)	15.00±0.43a(A)
<b>C.V (%)</b>	2.78	2.86	6.4	7.84

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

‡: Media ± Desviación Estándar

**Sinéresis.** En el tratamiento óptimo y en el control, la sinéresis incrementa conforme disminuye el pH debido a que el yogur continúa produciendo ácido láctico durante su almacenamiento. Este descenso provoca la separación de fases en el yogur, lo que es ocasionado por el rompimiento del coágulo de proteína y con esto empieza a liberar el suero (Zambrano, 2008).

Sin embargo, el porcentaje de purga fue menor en el tratamiento óptimo. Lo que indica, que la capacidad de absorción de agua de la semilla de chía redujo la sinéresis del tratamiento óptimo. Esto concuerda con los resultados de Minatelli y colaboradores (2009), en los que indican que la semilla de chía tiene una absorción eficiente de agua y también una excelente capacidad de retención de la misma (Cuadro 21). Por otra parte, se observa que conforme aumenta el tiempo de almacenamiento del yogur, la sinéresis aumento. Esto puede ser consecuencia de la producción constante de ácido láctico, lo que genera que las proteínas de la leche lleguen a su punto isoeléctrico, lo que provoca una desnaturalización de proteínas, lo cual se ve reflejado en una expulsión de agua (Revilla, 1996)

Cuadro 21. Separación de medias sinéresis, medida en diferentes fechas durante 21 días.

TRT	Sinéresis (%) ±D.E <sup>‡</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	0.013±0.02c(B)	2.09±1.87b(B)	3.05±0.86b(B)	4.73 ± 1.36a(B)
Control	6.58±1.21d(A)	8.27±1.29c(A)	15.33±2.58b(A)	16.8 ± 1.74a(A)
<b>C.V (%)</b>	25.66	8.21	13.35	4.22

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

‡: Media ± Desviación Estándar

**Análisis proximales.** Los resultados del análisis proximal realizado a los tratamientos evaluados muestran que no existen diferencias estadísticas en el contenido de humedad, grasa cruda y proteína, únicamente se observó diferencia significativa en el contenido de fibra cruda y cenizas (Cuadro 22). Esta diferencia puede deberse al aporte de fibra cruda y cenizas que da la semilla de chía al producto. La semilla de chía contiene entre 17-20% de fibra cruda y de 8-9% de cenizas (Minatelli *et al.*, 2009).

Cuadro 22. Resultados de los análisis proximales realizados

TRT	Composición Proximal $\pm$ D.E <sup>‡</sup>				
	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra Cruda (%)	Grasa Cruda (%)	Proteína Cruda (%)
Óptimo	75.56 $\pm$ 0.32A	4.51 $\pm$ 0.03 A	2.89 $\pm$ 0.47 A	2.89 $\pm$ 0.28 A	3.17 $\pm$ 0.03 A
Control	74.52 $\pm$ 0.23 A	1.14 $\pm$ 0.01 B	1.28 $\pm$ 0.33 B	2.93 $\pm$ 0.67 A	3.10 $\pm$ 0.06 A
<b>C.V (%)</b>	1.24	13.33	27.4	2.92	2.15

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B: Medias con letras mayúsculas en fila son iguales estadísticamente.

‡ Media  $\pm$  Desviación Estándar

**Resultados análisis microbiológicos.** Todos los tratamientos cumplieron con los estándares microbiológicos establecidos por el Reglamento Técnico Centroamericano (RTC), que indica que el conteo debe ser <10 ufc/g tanto en coliformes totales como en el conteo de hongos y levaduras; este resultado indica que el tratamiento de pasteurización de la semilla de chía fue efectivo y que el producto es altamente inocuo. De la misma forma, el conteo de hongos y levaduras fue <10 ufc/g, este conteo es una muestra de las buenas condiciones de almacenamiento del yogur (Cuadro 23), lo que indica que el contenido de semillas de chía no afectó la calidad microbiológica del producto.

Cuadro 23. Conteo microbiológico en tratamientos de yogur natural

Tratamientos	Coliformes Totales (UFC/g)				Hongos y Levaduras (UFC/g)			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Control	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

**Resultados de análisis sensorial.** En el análisis sensorial fueron evaluados los atributos de apariencia, color, aroma, acidez, viscosidad y aceptación general.

**Apariencia.** En los días 0, 7, 14 y 21 los panelistas identificaron diferencias entre los dos tratamientos evaluados (Cuadro 24). Siendo el mejor calificado (incluso a través del tiempo) el tratamiento control con una descripción de “Me gusta”. El tratamiento óptimo fue menos aceptado por los consumidores, especialmente al día 21 de almacenamiento, en

donde el resultado obtenido en mayor cantidad fue “Me disgusta” (Figura 8). El bajo valor de aceptación en el tratamiento óptimo puede ser consecuencia de la presencia de las semillas de chía hidratadas en el yogur lo que afecta directamente la apariencia del yogur a la cual los consumidores normalmente están acostumbrados (Campos *et al.*, 2015).

Cuadro 24. Evaluación sensorial del atributo Apariencia.

Tratamientos	Análisis Sensorial Apariencia $\bar{x} \pm D.E^{\text{¥}}$			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	3.33±0.99a(A)	3.94±0.99a(B)	3.34±1.15b(B)	2.21±0.88c(B)
Control	4.09±0.92a(A)	4.27±0.72a(A)	4.03± 0.83a(A)	4.25±0.73b(A)
<b>C.V (%)</b>	24.91	17.27	24.13	21.28

C.V: Coeficiente de variación

$\bar{e}^{\text{A-B}}$  Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

$\bar{e}^{\text{a-d}}$  Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

$\text{¥}$ : Media  $\pm$  Desviación Estándar

$\text{£}$ : Escala Hedónica de 5 puntos: 5=Me gusta extremadamente; 4= Me gusta; 3=No me gusta ni me disgusta; 2= Me disgusta; = Me disgusta extremadamente

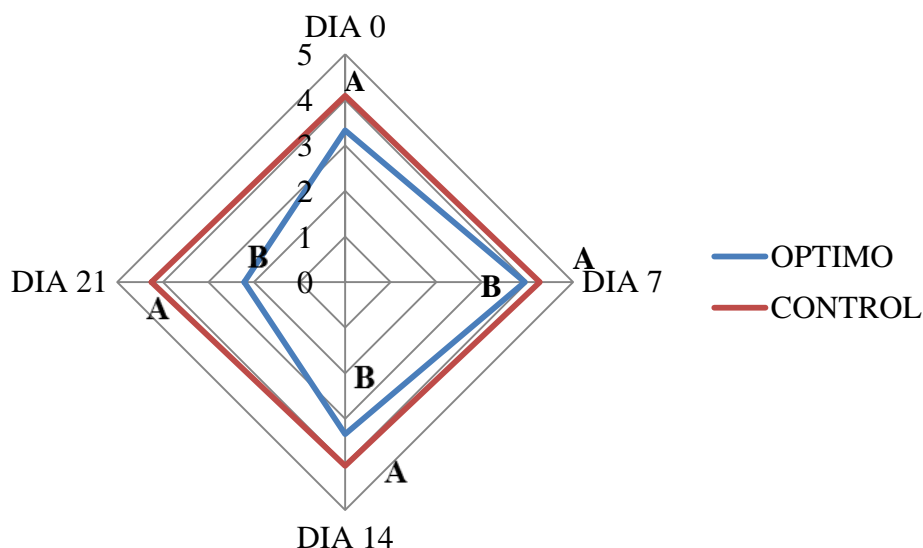


Figura 8. Análisis sensorial de yogur con semillas de chía, atributo Apariencia.

**Color.** Los panelistas presentaron una mayor aceptación en el atributo color con el tratamiento control (Cuadro 25). Estos resultados concuerdan con los resultados hechos por Campos y colaboradores (2015), en el cual evaluaron en una prueba sensorial el atributo color en un helado con mucílago de chía y concluyeron, que el color en comparación a otros atributos fue calificado con menos aceptación por parte de los

panelistas (Figura 9). Esto se debe de manera general a la presencia de la semilla en el producto, lo que no fue del completo agrado de los consumidores.

Cuadro 25. Evaluación sensorial del atributo Color.

TRT	Análisis Sensorial Color <sup>£</sup> ±D.E <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	3.69±0.92b(B)	4.10±0.96a(A)	3.55±1.13b(A)	3.91±0.94ad(B)
Control	4.11±1.07ab(A)	4.34±0.72a(A)	3.90±0.86b(A)	4.16±0.85ab(A)
<b>C.V (%)</b>	21.31	17.45	27.01	26.39

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media ± Desviación Estándar

£: Escala Hedónica de 5 puntos: 5=Me gusta extremadamente; 4= Me gusta; 3=No me gusta ni me disgusta; 2= Me disgusta; = Me disgusta extremadamente

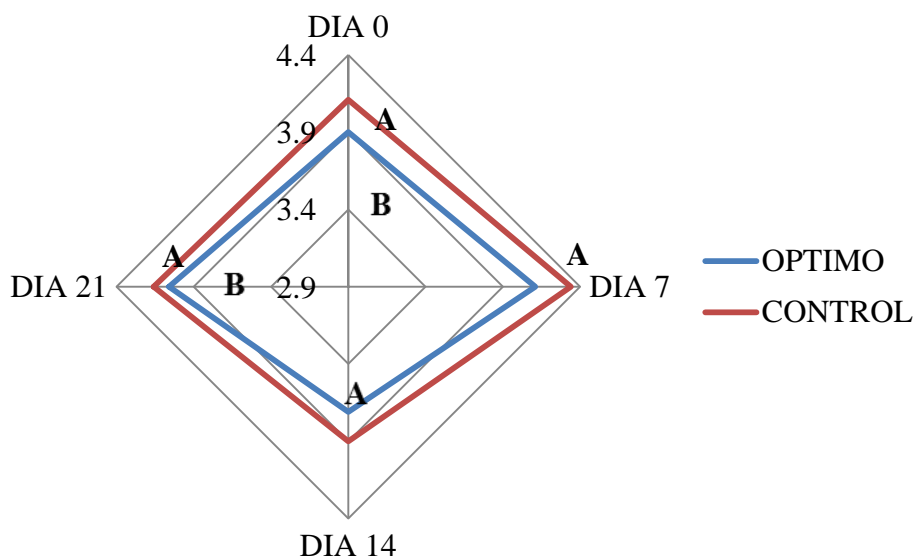


Figura 9. Análisis sensorial de yogur de semilla de chía, atributo Color.

**Aroma.** No se presentaron diferencias significativas en la evaluación sensorial del atributo aroma entre tratamiento, a excepción del día 14 (Cuadro 26). El aroma es la fragancia del alimento que permite la estimulación del sentido del olfato (Wittig, 2001). La composición de la semilla de chía no tuvo efecto en la característica de aroma en el yogur, conservando de tal manera el aroma ácido-dulce característico del yogur (Figura 10).

Cuadro 26. Evaluación sensorial del atributo Aroma.

Tratamientos	Análisis Sensorial Aroma <sup>€</sup> ±D.E <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	3.90±0.87ab(A)	4.11±0.90a(A)	3.71±1.21b(B)	4.06±0.77ab(A)
Control	4.05±0.81a(A)	4.05±0.89a(A)	4.09±0.85a(A)	4.03±0.86 a(A)
<b>C.V (%)</b>	17.01	19.07	23.39	19.8

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media ± Desviación Estándar

€: Escala Hedónica de 5 puntos: 5=Me gusta extremadamente; 4= Me gusta; 3=No me gusta ni me disgusta; 2= Me disgusta; = Me disgusta extremadamente

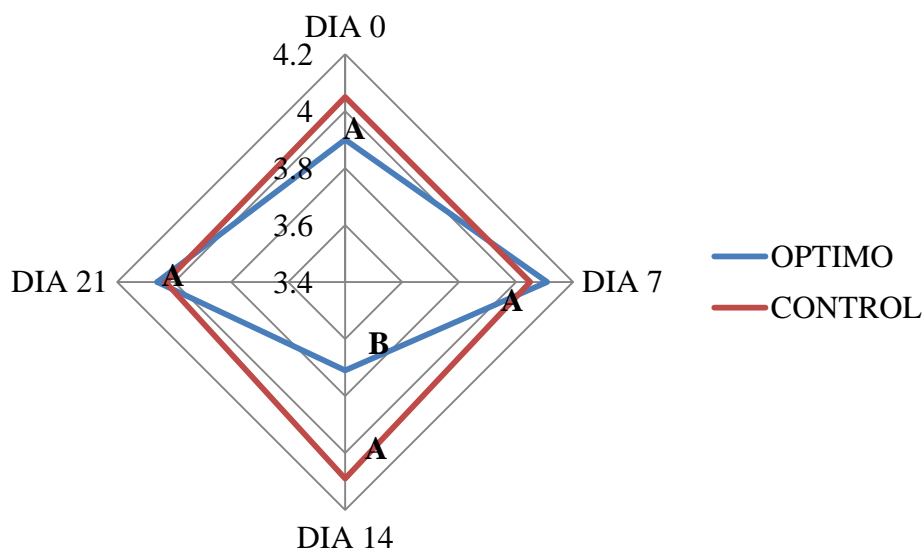


Figura 10. Análisis sensorial de yogur con semillas de chía, atributo Aroma.

**Acidez.** Todos los tratamientos fueron evaluados con un “No me gusta, ni me disgusta” es decir que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, ni en las mediciones realizadas en diferentes días (Cuadro27). Este resultado se debe a que el yogur natural al ser un poco ácido no pudo ser del completo agrado de los panelistas; lo que concuerdan con lo que señalan Garibay y colaboradores (2004) en que el alto nivel de acidez del yogur natural generalmente no es del agrado de los consumidores (Figura 11).

Cuadro 27. Evaluación sensorial del atributo Acidez.

Tratamientos	Análisis Sensorial Acidez <sup>£</sup> ±D.E <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	3.83±1.10a(A)	3.87±1.09a(A)	3.73±1.10a(A)	3.73±1.02a(A)
Control	3.76±0.99a(A)	4.03±0.91a(A)	3.98±0.87a(A)	3.81±1.03b(A)
<b>C.V (%)</b>	18.45	16.02	24.95	21.62

C.V: Coeficiente de variación

€<sup>A-B</sup> Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€<sup>a-d</sup> Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media ± Desviación Estándar

£: Escala Hedónica de 5 puntos: 5=Me gusta extremadamente; 4= Me gusta; 3=No me gusta ni me disgusta; 2= Me disgusta; = Me disgusta extremadamente

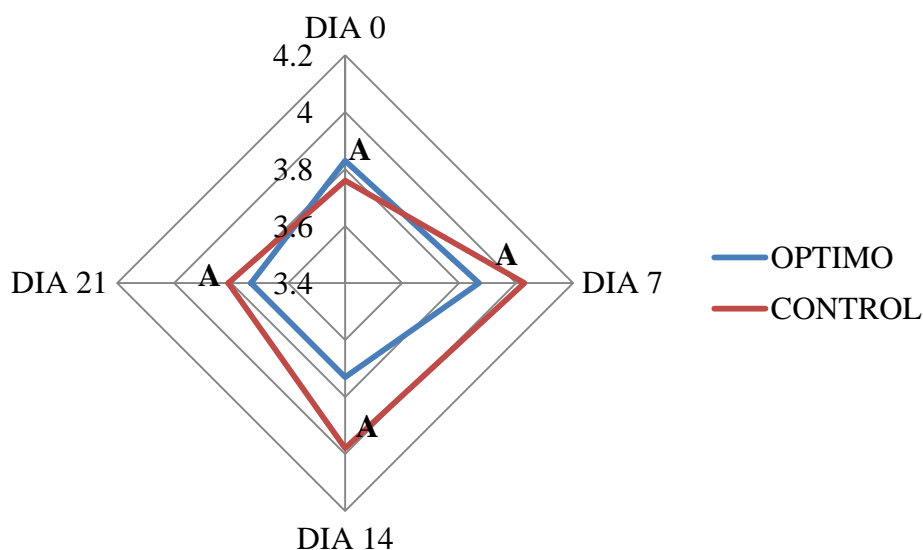


Figura 11. Análisis sensorial de yogur con semillas de chía, atributo Acidez.

**Viscosidad.** Pese a que los resultados de viscosidad indican que a mayor tiempo de almacenamiento mayor va a ser la viscosidad del yogur, los panelistas mostraron igual aceptación por los dos tratamientos durante los días 0, 7 y 14 (Cuadro 28). Al día 21 el tratamiento óptimo fue menos aceptado en comparación al tratamiento control (Figura 12), esto se puede atribuir a que la capacidad de absorción y retención de agua de la semilla de chía llegó a su punto máximo generando de esta manera la presencia de sinéresis, que afectó de manera directa a la viscosidad del mismo.

Cuadro 28. Evaluación sensorial del atributo Viscosidad.

Tratamientos	Análisis Sensorial Viscosidad $\bar{x} \pm D.E^{\ddagger}$			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	3.94±0.97a(A)	3.87±1.09a(A)	4.07±0.79a(A)	3.25±1.09b(B)
Control	3.69±1.01b(A)	4.02±0.91a(A)	3.81±0.95a(A)	4.00±0.94ab(A)
<b>C.V (%)</b>	20.74	19.3	21.88	26.05

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media ± Desviación Estándar

£: Escala Hedónica de 5 puntos: 5=Me gusta extremadamente; 4= Me gusta; 3=No me gusta ni me disgusta; 2= Me disgusta; = Me disgusta extremadamente

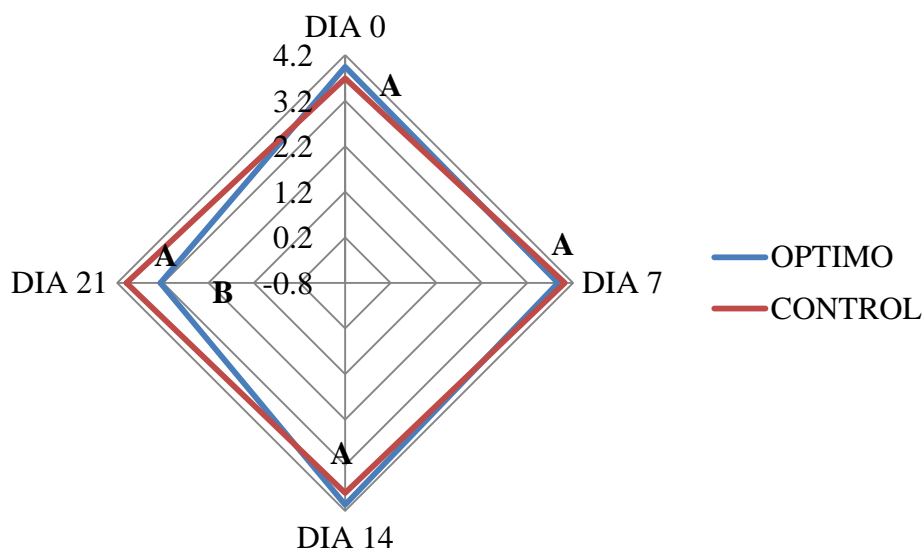


Figura 12. Análisis sensorial de yogur con semillas de chía, atributo Viscosidad.

**Aceptación general.** Los panelistas mostraron igual aceptación por los dos tratamientos al día 0 y 7. Por otra parte, durante los días 14 y 21 mostraron una mayor aceptación por el tratamiento control (Cuadro 29). Esta diferencia pudo ser provocada por la baja acidez que presentó el tratamiento óptimo durante estos días de almacenamiento. Que al ser comparadas con el tratamiento óptimo fue más notable por los panelistas (Figura 13).

Cuadro 29. Evaluación del atributo Aceptación general.

Tratamientos	Aceptación General <sup>£</sup> ±D.E <sup>¥</sup>			
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21
Óptimo	3.91±0.86a(A)	4.18±0.80 a(A)	3.52±0.95b(B)	2.98±0.85c(B)
Control	4.12±0.72ab(A)	4.37±0.68 a(A)	4.06± 0.79b(A)	4.07±0.77a(A)
<b>C.V (%)</b>	16.03	12.03	21.67	23.44

C.V: Coeficiente de variación

€ A-B Medias con letras mayúsculas diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0.05)

€ a-d Medias con letras minúsculas diferentes en la misma fila son diferentes estadísticamente a través del tiempo (P<0.05)

¥: Media ± Desviación Estándar

£: Escala Hedónica de 5 puntos: 5=Me gusta extremadamente; 4= Me gusta; 3=No me gusta ni me disgusta; 2= Me disgusta; = Me disgusta extremadamente

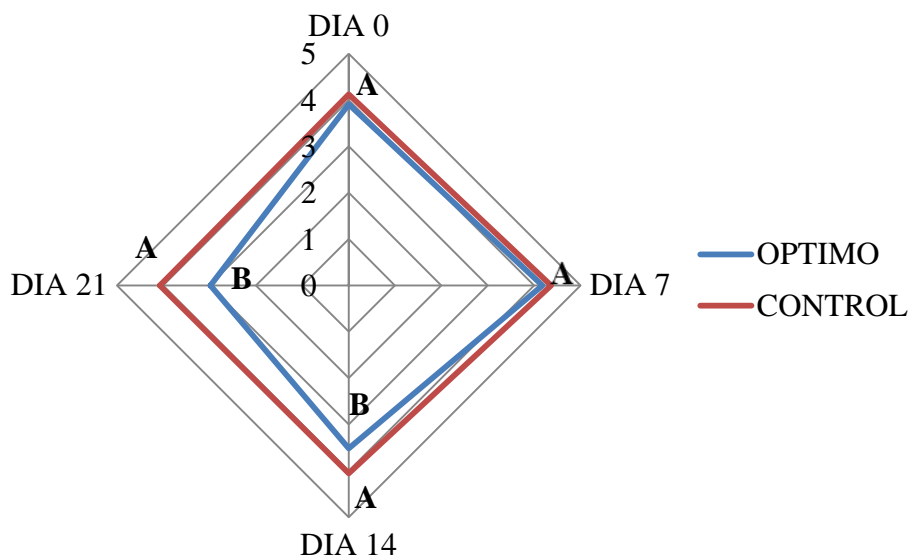


Figura 13. Análisis sensorial de un yogur con semillas de chía, Aceptación Sensorial.

## 4. CONCLUSIONES

- La combinación de 0.4% de estabilizador y 0.339% de semillas de chía, optimizaron todas las variables físicas, químicas y sensoriales del yogur natural.
- La adición de semillas de chía genera mayor viscosidad, menor acidez, y menor luminosidad en el yogur natural.
- La adición de semilla de chía disminuye aproximadamente el 71% de sinéresis del yogur al día 21 de almacenamiento en comparación al control.
- El yogur con semillas de chía tuvo una menor aceptación en comparación al yogur control.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Elaborar un yogur de otros sabores e incluyendo frutas y semillas de chía para medir el efecto en las características físicas, químicas y sensoriales del mismo.
- Realizar un análisis de composición proximal a la semilla y al mucílago de chía.
- Elaborar un análisis de ácidos grasos al yogur natural con semillas de chía para comprobar si existe un efecto de la adición de las semillas en el yogur.

## 6. LITERATURA CITADA

Aguirre, K. y Biollo, R. 2010. Efecto del uso de tres concentraciones de estabilizador y dos edulcorantes artificiales en las propiedades físico-químicas y sensoriales de yogur de fresa sin grasa y sin azúcar. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano”, Honduras. 31p.

Alvídrez, A., Gonzáles, B. y Jiménez, Z. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: Alimentos Funcionales. Revista Salud Pública y Nutrición. Volumen 3 N° 3.

Aswal, P; Shukla, A y Priyadarshi, S. 2012. Yogurth: Preparation, characteristics and recent advancements. School of Biotechnology. Gautam Buddha University, Yamuna Expressway. Cibtech Journal of Bio-Protocols. Vol. 1(2) September-December.

Boucher, F. 2000. Productos nutracéuticos: oportunidad para los recursos naturales autóctonos. Lima, Perú. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. PRODAR, 22 p.

Box, D., y Draper, N. 1959. A Basis for the selection of a Response Surface Design. Journal of the American Statistical Association. Vol. 54 No. 287, pp. 622-654.

Bylund, G. 1995. Dairy Processing Handbook. Tetra Pak Processing Systems AB. 243 p.

Campos, B., Dias, T., Da Silva, M., Scaramal, y G., De C, R. 2015. Optimization of the mucilage extraction process from chia seed application in ice cream, as a stabilizer and emulsifier. Department of Food Engineering, State University of Maringa, Parana. Brazil.

Castillo, M., Borregales, C., y Sánchez, M.D. 2004. Influencia de la pectina sobre las propiedades reológicas del yogur. Departamentos de Ciencia de los Alimentos, Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

Di Sapio, O., Bueno, M., Basulacchi, H., y Severin, C. 2008. Chía: Importante Antioxidante Vegetal. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina.

FAO, 2011. Codex Alimentarius. Leche y Productos Lácteos. Segunda edición. 259 p.

Garibay, M., Quintero, R. y López-Mungia, A. 2004. Biotecnología Alimentaria, Editorial Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores, 126p.

Huezo, A. 2008. Evaluación física y sensorial de un prototipo de bebida de maracuyá con semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) y análisis químico de la semilla de chía. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 38 p.

Hulse, J. 1996. Flavor, spices and edible gums: opportunities for integrated agroforestry systems. International Conference on Domestication and Commercialization of Non-timber Forest Products in Agroforestry Systems. FAO, Uganda.

Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. Food Hydrocolloids, 23(8), 2369e2379.

Lee, W., y Lucey, J. 2010. Formation and Physical Properties of Yogurt. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 23, 1127-1136.

Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., y Schuck, P. 2004. Productos lácteos industriales: Productos fermentados y postres lácteos. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA. 169p.

Minatelli, J., Hill, S., Moerck, R. y Nguyen, U., 2009. Chia seed beverage and related method. U.S Nutraceuticals, LL.C d/b( Valensa International, Eutis, FL (US).Pub. No.: US 20090181114 A1.

Mohod Ali, N., KeongYeap, S., Yong Ho, W., Kee Beh, B., Wei Tan, S., y Guan Tan, S. 2012. The Promising Future of Chia *Salvia hispánica* L. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 9.

Moreno, V., 2013. Efecto de tres concentraciones de grasa y dos niveles de acidez en un yogur estilo griego. Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 30 p.

Muñoz, L. H. 2012. Mucilage Chia Seeds (*Salvia hispánica*): Microestructure, Physico-chemical characterization and Applications in Food Industry. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.

Ramos, N., Farías, M., Almada, C. y Crivaro., N. 2004. Estabilidad de Salchichas con Hidrocoloides y Emulsificantes. Información Tecnológica, Vol. 15 N°4, 2004.

Revilla, A. 1996. Tecnología de la leche. 3 Ed. Revisas. Escuela Agrícola Panamericana-Zamorano, Honduras. 396p.

Robitaille, G., Tremblay, A., Moineau, S., St-Gelais, D., Vadeboncoeur, C. y Britten, M. (2009). Fat-free yogurt made using a galactose-positive exopolysaccharideproducing recombinant strain of *Streptococcus thermophilus*. Journal of Dairy Science, 92(2), 477e482. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1312>

Rodríguez, J.M. 2010. Consecuencias higiénicas de la alteración de los alimentos. Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de Alimentos, Universidad Complutense de Madrid. P 60.

Rodríguez, M. I. y Lemma, A. F. 2012. Diseño Experimental y Optimización de Procesos. Cárita Editorial.

RTC, 2002. Reglamento Técnico Centroamericano. Alimentos y bebidas procesadas. Aditivos Alimentarios. ICS 67.05.

San Juan, G., Rendón, R., Solórzano, J. y Flores, E. 2013. Extracción acuosa del biopolímero de la chía (*Salvia hispánica* L.). Departamento de Desarrollo Tecnológico, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Técnico Nacional. Yautepec, México.

Segura, M. R., Ciau, N., Rosado, G., Chel, L. y Betancur, D. 2014. Chemical and functional properties of chia seed gum. *International Journal of Food Science*. 5p.

Soto, D., Wittig, E., Guerrero, L., Garrido, F. y Fuenzalida, R. 2006. Alimentos funcionales: Comportamiento del consumidor chileno. *Revista Chilena de Nutrición*. Volumen 33, N°1.

Valdivia, M. y Tecante, A. 2009. Chia (*Salvia hispanica*): A review of Native Mexican Seed and its Nutritional and Functional Properties. Departamento de Alimentos y Biotecnología. Facultad Química, Universidad Autónoma de México.

Vélez, J.F., y Rivas, A.H. 2011. Propiedades y características del yogurt. Universidad de las Américas. Información Tecnológica. Vol. 12 N°6 - 2001.

Wittig, E. 2001. Evaluación Sensorial: Una metodología actual para la tecnología d alimentos. Universidad de Chile. Artículo científico recuperado de [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/wittinge01/s](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/s)

Zambrano, Gloria. 2008. Evaluación de la calidad de yogur tipo II elaborado con leche concentrada por microfiltración tangencial utilizando diferentes tipos de grasas y estabilizante. Tesis Ing. Agroindustrial. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y ambientales. Universidad Técnica del Norte. Cotopaxi, Ecuador.

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** Formato de la hoja de evaluación sensorial.

### HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL. PRUEBA DE HEDÓNICA DE ACEPTACIÓN DE YOGUR NATURAL CON SEMILLAS DE CHÍA

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Se le presentarán dos muestras codificadas de yogur, una galleta de soda y un vaso con agua. Limpie su paladar con galleta y agua antes y después de cada muestra. Marque con una “X” el círculo adecuado según su evaluación de las muestras de acuerdo con los atributos de: apariencia, color, aroma, dulzura, acidez, textura y aceptación general. Antes de probar cada muestra, evalúe primero el color y aroma.

Muestra \_\_\_\_\_

	Me disgusta extremadamente		ng/nd		Me gusta extremadamente
<b>Apariencia</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
<b>Color</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
<b>Aroma</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
<b>Dulzura</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
<b>Acidez</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
<b>Viscosidad</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>
<b>Aceptación general</b>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>

**Anexo 2.** Descripción de los costos de producción para 5 kilogramos de yogur natural con semilla de chía.

	<b>Precio (L.)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (L.)</b>
Leche Estandarizada (2.5%)	9.69	L	5.0000	48.45
Leche Descremada en Polvo	67.47	kg	0.0425	2.87
Semillas de chía	120.01	kg	0.0170	0.20
Cultivo Láctico Yo Flex Mild	269.01	gr	0.0100	0.07
Estabilizador para yogur	262.45	kg	0.0250	0.05
Envase plástico para yogur	1.47	unidad	1.0000	1.47
Tapa blanca sin impresión	2.11	unidad	1.0000	2.11
Etiqueta para yogur	0.17	unidad	1.0000	0.17
Sello termoencogible	0.29	unidad	1.0000	0.29
<b>Total</b>				<b>55.68</b>