

**Elaboración de yogur estilo griego con
diferentes porcentajes de ATECAL, leche en
polvo y horas de desuerado**

Claudia María Villeda Fuentes

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Elaboración de yogur estilo griego con diferentes porcentajes de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado

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

Claudia María Villeda Fuentes

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Elaboración de yogur estilo griego con diferentes porcentajes de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado

Presentado por:

Claudia María Villeda Fuentes

Aprobado:

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Asesor Principal

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

Juan Antonio Ruano, D.Sc.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Elaboración de yogur estilo griego con diferentes porcentajes de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado.

Claudia María Villeda Fuentes

Resumen: El yogur estilo griego resulta de la concentración de sólidos totales mediante el desuerado y la fermentación láctica. Como resultado se obtiene un producto de consistencia suave y ligeramente ácido. El objetivo principal de este estudio fue identificar los efectos de las variables de ATECAL, leche en polvo y desuerado, sobre la viscosidad, color, porcentaje de proteína y grasa del yogur. Se planteó un Diseño Central Compuesto de 2da orden (DCCR) 2^3 descrito por las variables independientes en relación de porcentaje de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado con tres niveles (-1, 0, +1) y 2 axiales ($-\alpha$ y $+\alpha$), obteniendo 8 factoriales, 6 axiales y 6 puntos centrales. Se caracterizó cada tratamiento en base a viscosidad, color, porcentaje de proteína y grasa, con el fin de encontrar el punto óptimo del yogur estilo griego. El resultado obtenido de la optimización presentó 1% de ATECAL, 11.6% de leche en polvo y ocho horas de desuerado, teniendo un rendimiento del 81%. Se realizó un análisis sensorial de preferencia del tratamiento optimizado contra un yogur griego comercial, obteniendo un 98% de preferencia por el tratamiento optimizado. Para futuras investigaciones utilizar leche en polvo alta en proteína que ayude a mejorar el perfil nutricional del producto.

Palabras clave: axiales, factoriales, optimización, proteína, viscosidad.

Abstract: Greek style yogurt is the concentration of total solids by straining and lactic fermentation. As a result a mild consistency and slightly acid is obtained. The main objective of this study was to identify the effects of variables ATECAL, milk powder and draining on the viscosity, color, percentage of protein and fat yogurt. A central composite design 2nd order (DCCR) 2^3 described by the independent variables relative percentage ATECAL, milk powder and draining hours with three levels (-1, 0, +1) and 2 axial raised ($-\alpha$ and $+\alpha$), obtaining eight factorial, 6 axial and 6 central points. Each treatment based on viscosity, color, percentage of protein and fat was characterized in order to find the optimum point Greek style yogurt. The result of the optimization presented ATECAL 1%, 11.6% of milk powder and 8 hours of draining, with a yield of 81%. A sensory preference analysis of the optimum treatment against a commercial Greek yogurt was conducted, obtaining a 98% preference for the optimized treatment. For future research use milk powder high in protein to help improve the nutritional profile of the product.

Key words: axial, factorial, optimization, protein, viscosity.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	30
5. RECOMENDACIONES.....	31
6. LITERATURA CITADA.....	32
7. ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción del diseño experimental.....	4
2. Niveles codificados de las variables del experimento.....	5
3. Descripción de los tratamientos con los valores codificados y reales.....	6
4. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en el color del yogur estilo griego.	10
5. Coeficientes de regresión, probabilidades (P) de un modelo de regresión polinomial valores F y R ² para color (ΔE) en función del porcentaje de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado en las formulaciones del yogur estilo griego.	11
6. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en la viscosidad del yogur estilo griego.	13
7. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en la proteína del yogur estilo griego.	15
8. Coeficientes de regresión, probabilidades (P) de un modelo de regresión polinomial valores F y R ² para proteína (%) en función de porcentaje de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado en las formulaciones del yogur estilo griego.	16
9. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.	18
10. Coeficientes de regresión, probabilidades (P) de un modelo de regresión polinomial valores F y R ² para grasa (%) en función de porcentaje, leche en polvo y horas de desuerado en las formulaciones del yogur estilo griego.	19
11. Conteo de Coliformes totales en el yogur estilo griego.	21
12. Comparación de color niveles de L* a* y b* y análisis de viscosidad del yogur optimizado y el yogur comercial.	23
13. Comparación análisis químicos entre el yogur optimizado y el yogur comercial..	24
14. Conteo de Coliformes totales del yogur optimizado y el yogur comercial.	24
15. Análisis sensorial de preferencia.	28
16. Análisis de costos variables para una porción de 180g/ yogur estilo griego.....	29

Figuras	Página
1. Flujo de proceso para elaboración de Yogur estilo griego	8
2. Efecto de la variable leche en polvo y desuerado en el diferencial de color del yogur estilo griego.....	12
3. Efecto de la variable ATECAL y leche en polvo en el diferencial de color del yogur estilo griego.....	12
4. Efecto de la variable ATECAL y leche en polvo en el porcentaje de proteína en el yogur estilo griego.....	17
5. Efecto de la variable leche en polvo y desuerado en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.....	20
6. Efecto de la variable ATECAL y leche en polvo en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.....	20
7. Valores óptimos de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas del yogur estilo griego.....	22
8. Resultado de análisis sensorial de aceptación para apariencia del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	25
9. Resultado de análisis sensorial de aceptación para color del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	25
10. Resultado de análisis sensorial de aceptación para el aroma del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	26
11. Resultado de análisis sensorial de aceptación para viscosidad del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	26
12. Resultado de análisis sensorial de aceptación para acidez del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	27
13. Resultado de análisis sensorial de aceptación para sabor del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	27
14. Resultado de análisis sensorial para aceptación general del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.....	28

Anexos	Página
1. Formulaciones para cada nivel de las variables independientes.....	34
2. Análisis de ATECAL y sinéresis en el yogur estilo griego optimizado.....	35
3. Imagen de sinéresis al día 15 y 21.....	35

1. INTRODUCCIÓN

Según Garcia *et al.* (2002), la fermentación de la leche para la elaboración de diversos productos es una práctica antigua, siendo la primera técnica establecida para la preservación de la leche. Durante estas fermentaciones se acumulan metabolitos como ácido láctico, etanol y otros que conservan la leche e imparten características organolépticas distintivas.

Según el Codex Alimentario (2003), la leche fermentada concentrada es un lácteo cuya proteína ha sido aumentada antes o luego de la fermentación a un mínimo del 5.6%. Las leches fermentadas concentradas incluyen productos tradicionales tales como *Stragisto* (yogur colado), *Labneh*, *Ymer* e *Ylette*.

La Comisión del Codex Alimentarius, La agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), establecen que el yogur concentrado es leche fermentada mediante la acción de bacterias ácido-lácticas *Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*.

La concentración de proteína en la leche es de gran importancia para la fabricación del yogur griego, siendo mejor con una mayor concentración de caseína; a medida que aumenta la concentración de proteína, el incremento en la acidez produce la coagulación de la caseína, y se puede obtener un producto mucho más espeso, convirtiéndose en un producto deseable para el consumidor. El conocimiento de la percepción de los consumidores y los controladores del yogur será de gran utilidad para conocer el gusto específico para poder desarrollar este producto (Rojas y Álvarez, 2007).

El yogur estilo griego presenta un contenido de ATECAL mucho mayor que cualquier otro yogur regular que contiene entre 1.8 y 2% de ácido láctico, esto le proporciona una mejor calidad final (Tamime y Robison, 1999). Las concentraciones altas de ATECAL contribuyen a la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas entre ellas los Coliformes totales (Aly *et al.*, 1988).

El aumento por la buena salud asociada con el consumo de dietas ricas en proteínas ha impulsado el consumo del yogur griego (Jaoude *et al.*, 2010). Según Roth (2009), debido a que se está quitando el suero de leche, hay menos azúcares, menos hidratos de carbono y una mayor cantidad de proteínas en comparación con el yogur normal.

El proceso de producción tiene gran influencia en las características sensoriales del yogur las cuales han contribuido a la aceptabilidad por parte de los consumidores, y este depende

del método empleado en el procesamiento (Abu-Jdayil *et al.*, 2002). Existen diferentes métodos para la fabricación del yogur concentrado, tradicionalmente se elabora mediante filtración del yogur natural en bolsas de tela (Yamani y Abujaber, 1994). Se desea eliminar gran parte del suero del yogur natural hasta alcanzar la concentración deseada de sólidos totales, este proceso toma entre 15 -20 horas a temperaturas menores de 10 °C.

Esta separación se puede alcanzar por medio de filtración por gravedad o bien filtración añadiéndole presión a las bolsas de tela en producciones en altos volúmenes, con la adición de presión se disminuye el tiempo de filtración hasta seis horas en el yogur estilo griego (Özer, 2006). El yogur elaborado con este método presenta características sensoriales muy buenas (Robinson 2002). Este método requiere mayor mano de obra y posibles faltas de higiene durante el proceso y menor rendimientos debido a los residuos sobrantes en las bolsas de telas según afirma Zayan *et al.* (2010).

La planta de Lácteos de Zamorano no cuenta en su cartera de negocios con productos funcionales, debido a que se centra en la comercialización de leche fluida, quesos frescos y productos que se encuentran regularmente en un mercado competitivo según Melo y Ferrera (2010). No obstante, debido al alto contenido nutricional del yogur estilo griego podría ubicarse como un producto de alto valor nutritivo con marca Zamorano.

Actualmente los beneficios nutricionales percibidos por los consumidores en diferentes países a nivel mundial y las características de almacenamiento que posee el yogur estilo griego, lo llevó a su creciente popularidad en la última década del siglo XIX, según afirmó Benezch y Maingonnat (1994). El yogur estilo griego se ha establecido como un producto de alto valor nutritivo en comparación con los yogures regulares (Nsabimana *et al.*, 2005).

Basándose en el modelo superficie-respuesta, este estudio desea obtener el mejor tratamiento del yogur estilo griego considerando los atributos evaluados en las condiciones propuestas. Además de tener la oportunidad de brindar a los consumidores un producto de alto valor nutritivo, funcional y saludable que satisfaga la necesidad del consumidor. Este estudio se orientó a determinar el nivel de ácido láctico, porcentaje de leche en polvo y tiempo de desuerado en el desarrollo de un yogur estilo griego, siendo los objetivos del estudio:

- Determinar la combinación óptima de porcentaje de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado para la elaboración de yogur estilo griego.
- Evaluar las propiedades físico-químicas y sensoriales del yogur estilo griego.
- Determinar el rendimiento y costos variables del yogur estilo griego optimizado, obtenido del modelo de superficie respuesta.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se realizó en la Planta de Lácteos de Zamorano y Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano, ubicada en la Escuela Agrícola Panamericana en el km 32 al Este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco de Morazán, Honduras, C.A.

Materia prima para la elaboración del yogur estilo griego. Se utilizó leche estandarizada al 2% de grasa, cultivo termófilo FD-DVS YoFlex® Mild 1.0: *Lactobacillus delbrueckii* y *Streptococcus thermophilus*, leche descremada en polvo de Concadal®, Milk protein concentrate (MCP80) de Concadal®, estabilizador para yogurt 7915-A de Cosco®, azúcar y sorbato de potasio.

Equipo. Marmita MKDT/20 T Cleveland Range Ltd, termómetro digital, mantas de tela para desuerar, balanza de precisión YP8100, Yamato®.

Optimización de elaboración de yogur estilo griego usando metodología de superficie respuesta. Las variables independientes analizadas son nivel de acidez, porcentaje de leche en polvo, horas de desuerado.

En primera instancia se realizaron una serie de pruebas para el ajustes de la metodología experimental estos principalmente para relacionarse con la formulación del yogur estilo griego, nivel de acidez, porcentaje de proteína y horas de desuerado, para luego establecer el diseño experimental dadas las pruebas preliminares, la cual se basa en la experiencia del investigador y literatura, se obtuvieron los puntos centrales.

Diseño experimental. Se estableció un experimento factorial completo 2^3 , estadísticamente delineado en la metodología de superficie respuesta con un Diseño Central Compuesto Rotacional de 2^{do} orden (DCCR). Los parámetros del proceso fueron codificados (-1, 0, +1), esto de acuerdo a la ecuación 1:

$$X_i = \left(\frac{X_i Z}{\Delta x_i} \right) \quad [1]$$

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

Δx_i = Valor de 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 ($K=3$), los valores son definidos por la ecuación 2:

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

El número de unidades experimentales 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 tres variables independientes y tres niveles codificados usando un total de 20 unidades experimentales, siendo ocho factoriales, combinación de los niveles de -1 y +1, seis axiales $-\alpha$ y $+\alpha$ y seis puntos centrales sirviendo como estimado del error experimental y determinado la precisión del modelo matemático (Cuadro 1). El experimento se condujo por triplicado para determinar la variabilidad de los datos.

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental.

Expresión		Cantidad puntos
$2^k = 2^3$	8	Factoriales
$2k = 2 * 3$	6	Puntos axiales
m	6	Puntos centrales
	20	Unidades experimentales

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

El análisis de los resultados experimentales se describe 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, 1967), como se determina en la ecuación 4.

$$Y = (X_{1,2,\dots,\dots}) \quad [4]$$

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.

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

Dónde:

- Y_i = Función respuesta
 X_1, X_2 y X_3 = Valores de las variables independientes
 β_0 = Coeficiente relativo con la interpretación del eje
 β_1, β_2 y β_3 = Coeficientes lineales estimados por el método de mínimos cuadrados
 β_{11}, β_{22} y β_{33} = Coeficientes de variables cuadráticas
 β_{12} = Coeficiente de interacción entre variables independientes
 ε = Error experimental

El arreglo del modelo propuesto fue evaluado por el método regresión por pasos y el análisis de residuos fue clasificado como Falla de Ajuste, la comparación de la proporción de la varianza explicada por el modelo, es decir por 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 descritas como la combinación de todos los niveles, axiales ($\alpha = 1.682$) y puntos centrales (Cuadro 2), estos son referentes a las proporciones utilizadas en la formulación.

Cuadro 2. Niveles codificados de las variables del experimento.

Niveles	Variables		
	Acidez	Leche Polvo (%)	Desuerado (h)
$-\alpha$	0.75	6.00	4.00
-1	0.85	8.50	5.60
0	1.00	12.00	8.00
1	1.15	15.50	10.40
$+\alpha$	1.25	17.90	12.00

El delineamiento del experimento comprende la expresión completa de todas las variables independientes codificadas y decodificadas, las cuales serán 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).

Análisis Estadístico. Los datos obtenidos se analizarán en el programa “Statistica Analysis System” (SAS Versión 9.1®) a través de un análisis de varianza y una separación de medias DUNCAN y Statistic 7.0, con una probabilidad ≤ 0.05 .

Preparación de la mezcla. Como se muestra en la figura 1 para preparar la mezcla se necesitó leche pasteurizada y estandarizada al 2% de grasa. Se precalentó la leche hasta alcanzar los 42°C, seguido a esto se agregó cada uno de los ingrediente; la leche en polvo y la proteína concentrada de leche con azúcar, estos dos previamente disueltos en leche líquida para evitar grumos. Se pasteurizó la mezcla a 85°C por 30 minutos, luego se dejó enfriar hasta 45°C y se inoculó el cultivo (*Lactobacillus delbrueckii* spp. *bulgaricus* y

Streptococcus thermophilus). Se dejó fermentando un promedio de seis horas aproximadamente, hasta obtener el nivel de ATECAL deseado. Se enfrió a 4°C para detener la fermentación y acidificación del yogur.

Desuerado. Se agregó el sorbato de potasio al yogur, se rompió el coagulo y se procedió a colocarlo en mantas de tela muy fina, se dejó desuerando en yogos por un tiempo determinado según el diseño estadístico en cada tratamiento.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos con los valores codificados y reales.

Tratamientos	Variables Codificadas			Variables Decodificadas		
	X ₁	X ₂	X ₃	ATECAL (%)	Leche en Polvo (%)	Desuerado (h)
1	-1	-1	-1	0.85	8.5	5.6
2	1	-1	-1	1.15	8.5	5.6
3	-1	1	-1	0.85	15.5	5.6
4	1	1	-1	1.15	15.5	5.6
5	-1	-1	1	0.85	8.5	10.4
6	1	-1	1	1.15	8.5	10.4
7	-1	1	1	0.85	15.5	10.4
8	1	1	1	1.15	15.5	10.4
9	-1.682	0	0	0.75	8.5	8.0
10	1.682	0	0	1.25	8.5	8.0
11	0	-1.682	0	1.00	6.0	8.0
12	0	1.682	0	1.00	17.9	8.0
13	0	0	-1.682	1.00	12.0	4.0
14	0	0	1.682	1.00	12.0	12.0
15	0	0	0	1.00	12.0	8.0
16	0	0	0	1.00	12.0	8.0
17	0	0	0	1.00	12.0	8.0
18	0	0	0	1.00	12.0	8.0
19	0	0	0	1.00	12.0	8.0
20	0	0	0	1.00	12.0	8.0

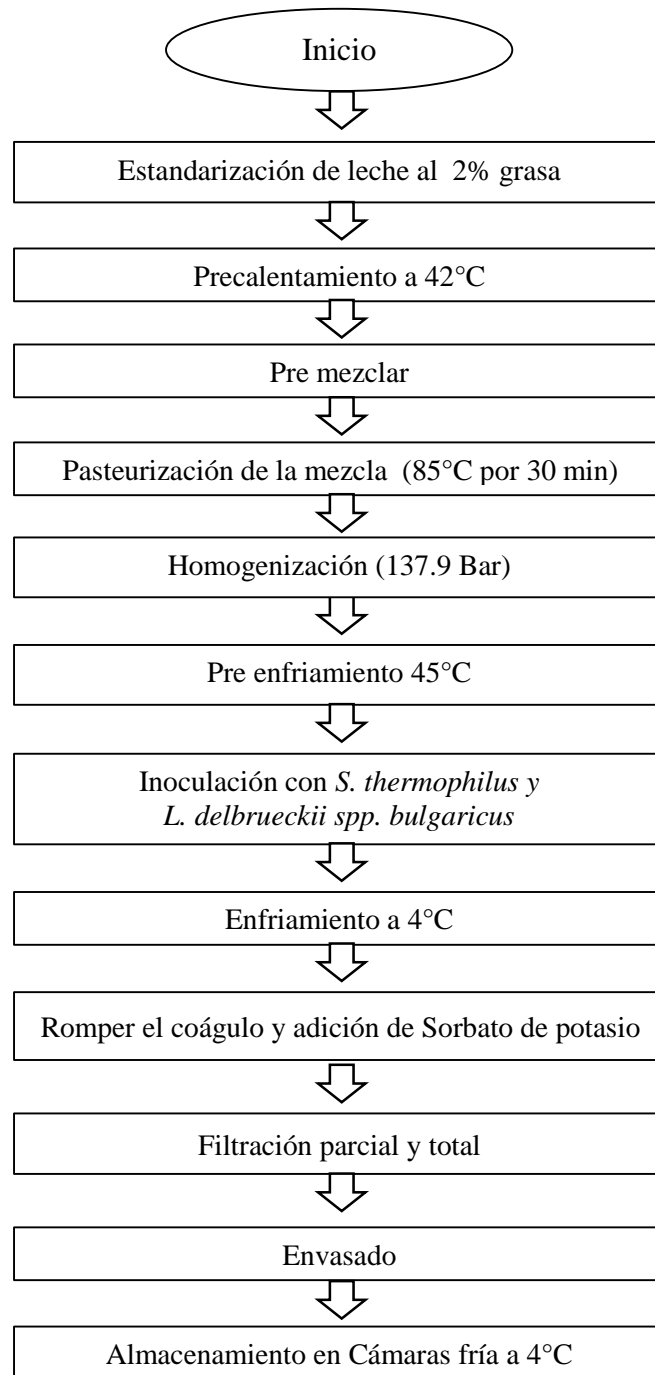


Figura 1. Flujo de proceso para elaboración de Yogur estilo griego.

Análisis de color. El color de los filmes fue determinado por Colorflex Hunterlab donde se utilizaron los valores L^* , a^* y b^* . Dónde:

- L = luminosidad para lo cual se utilizó las siguientes denominaciones cero significa negro y 100 significa blanco.
- a = (- 80 a cero= verde, rojo= cero a 100).
- b = (-100 a cero= azul, amarillo= cero a 100).
- ΔE (diferencia total del color).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad [6]$$

Se realizó tres repeticiones para cada muestra en una placa de vidrio de 3 cm de diámetro.

Análisis de viscosidad. La determinación de la viscosidad de cada uno de los tratamientos para el yogur estilo griego, se realizó por el método de Brookfield. Se utilizó el acople no. 4 y se realizó a 1, 3 y 5 RPM, realizando por triplicado cada tratamiento.

Análisis de proteína. Se realizó en el LAAZ, este se determinó mediante el método de Kjeldahl de la AOAC 2001.11.

Análisis de grasa. El porcentaje de grasa se estipuló de acuerdo al método (Babcock) pesando nueve gramos de la muestra en un butirómetro calibrado de 0 a 50%, luego se agregaron 10 ml de agua destilada a 60 °C, luego se le agregaron 17.5 ml de ácido sulfúrico. Se centrifugó a 800 RPM durante cinco minutos. Después se agregó agua destilada a 60 °C hasta 0.6 ml del cuello, se centrifugó por dos minutos, posteriormente se agregó agua destilada a 60 °C hasta 50 ml donde la grasa quedó en la parte calibrada del cuello, se centrifugo por 1 minuto y finalmente se registró la lectura de grasa (AOAC 933.05).

ATECAL. Se empleó el método AOAC (2000) 939.05. Se pesaron tres gramos del yogur estilo griego en un vaso blanco. Luego se le agregaron 10 ml de agua destilada, se mezcló el yogur estilo griego con el agua destilada y luego se le agregaron tres gotas de fenoltaleína; esta solución se tituló utilizando la solución hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N. Finalmente los mililitros de NaOH se multiplicaron por tres para determinar acidez.

Análisis Microbiológicos. El conteo de Coliformes totales se realizó en el laboratorio de la planta de lácteos Zamorano, para las 20 muestras y el óptimo, cada uno por duplicado usando agar bilis rojo violeta (VRBA) como medio selectivo de cultivo, empleando la técnica vertido en placa (NOM-113-SSA1-1994). La incubación de las muestras fue realizada a 35 °C durante 24 horas.

Rendimiento. Para determinar el rendimiento de la muestra óptima del yogur estilo griego, se pesó antes de la fermentación y luego como producto final. El rendimiento se obtuvo por medio de la ecuación 7.

$$\frac{\text{Peso del producto final}}{\text{Peso del producto inicial}} \times 100 \quad [7]$$

Análisis sensorial. Una prueba hedónica de aceptación (una escala de siete puntos) y preferencia (en la cual se calculó mediante el chi-cuadrado), entre el yogur optimizado y yogur comercial, fue realizada con un grupo de 100 panelistas. Atributos de apariencia, color, aroma, textura, acidez, sabor y aceptación en general fueron evaluados.

Análisis de costos. Se realizó mediante un análisis marginal del yogur optimizado, incluyendo los costos variables de producción, de empaque y precio unitario de venta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de color. El color es un atributo fundamental e importante para el productor, principalmente en la aceptación del consumidor. En el Cuadro 4, se detallan los resultados del análisis de diferencia de color donde variaron de 6.6 hasta 11.58 nm. El tratamiento cuatro presentó una mayor diferencia de color comparado con el resto de muestras y el tratamiento seis y diez presentaron las menores diferencias.

Cuadro 4. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en el color del yogur estilo griego.

Tratamientos	ATECAL (%)	Leche en polvo (%)	Desuerado (h)	Delta Color
				Media ± DE
1	0.85	8.00	5.60	7.01 ± 0.15 ^{FGH}
2	1.15	8.00	5.60	6.70 ± 0.08 ^{GH}
3	0.85	15.50	5.60	11.42 ± 0.17 ^{AB}
4	1.15	15.50	5.60	11.58 ± 0.04 ^A
5	0.85	8.00	10.40	7.40 ± 0.23 ^F
6	1.15	8.00	10.40	6.70 ± 0.33 ^H
7	0.85	15.50	10.40	11.10 ± 0.22 ^B
8	1.15	15.50	10.40	11.20 ± 0.09 ^B
9	0.75	8.00	8.00	7.04 ± 0.33 ^{FG}
10	1.25	8.00	8.00	6.60 ± 0.06 ^H
11	1.00	6.00	8.00	7.00 ± 0.18 ^F
12	1.00	18.00	8.00	11.36 ± 0.08 ^{AB}
13	1.00	12.00	4.00	8.90 ± 0.36 ^C
14	1.00	12.00	12.00	7.90 ± 0.21 ^E
15	1.00	12.00	8.00	8.00 ± 0.08 ^E
16	1.00	12.00	8.00	8.80 ± 0.31 ^{CD}
17	1.00	12.00	8.00	8.50 ± 0.37 ^C
18	1.00	12.00	8.00	8.70 ± 0.22 ^{CD}
19	1.00	12.00	8.00	8.90 ± 0.21 ^{CD}
20	1.00	12.00	8.00	8.90 ± 0.08 ^C
Coefficiente de Variación (%)				2.56

Valores seguidos por una letra (A-H) son estadísticamente diferentes a $P < 0.05$
DE: Desviación estándar.

En el cuadro 5, las variables lineales X_1 y X_3 presentaron un efecto negativo, lo que indica que al incrementar el nivel de ATECAL y tiempo de desuerado en la formulación, el yogur estilo griego presentará una disminución en el diferencial de color. Las variables X_2 (porcentaje de leche en polvo) lineal y X_2^2 cuadrática presentaron un efecto positivo lo que indica que un incremento de estas variables en la formula presentará un mayor valor en el diferencial de color.

El R^2 nos indica que el 88% de los datos se ajustan al modelo de superficie de respuesta y el 12% de los datos no se ajustaron al modelo, esto se atribuye al error experimental. La falta de ajuste fue significativa a una probabilidad de 0.01 lo que nos indica que este modelo clasifica como lo predictivo.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión, probabilidades (P) de un modelo de regresión polinomial valores F y R^2 para color (ΔE) en función del porcentaje de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado en las formulaciones del yogur estilo griego.

Coeficientes	Delta Color	P
Intercepto	8.65E+00	7.33E-09 ***
X_1	-9.90E-02	2.45E-01 ns
X_1^2	-4.41E-01	1.81E-03 ***
X_2	1.79E+00	2.45E-06 ***
X_2^2	4.27E-01	2.09E-03 ***
X_3	-1.57E-01	9.15E-02 *
X_3^2	1.08E-01	2.01E-01 ns
$X_1 * X_2$	1.52E-01	1.82E-01 ns
$X_1 * X_3$	-5.85E-02	5.78E-01 ns
$X_2 * X_3$	-1.22E-01	2.69E-01 ns
Falta de Ajuste		3.93E-03 ***
R^2		0.882
F calculado		23.1
F tabulado		2.5

X_1 : ATECAL (%), X_2 : Leche en Polvo (%), X_3 : Desuerado (h)

n.s = Significantes, * = Significantes a $P < 0.1$, ** = Significante a $P < 0.05$, *** = Significante a $P < 0.01$

De acuerdo con las variables independientes seleccionadas por medio de su significancia $P < 0.1$ se generó la ecuación 8.

$$\text{Delta Color} = 8.65 - 0.44X_1^2 + 1.79X_2 + 0.43X_2^2 - 0.16X_3 \quad [8]$$

En base a la ecuación 8 se crearon las gráficas (figuras 2 y 3) del modelo de superficie respuesta, para la diferencia de color (ΔE), donde se observa la mayor diferencia de color de los yogures con el incremento en la cantidad de leche en polvo.

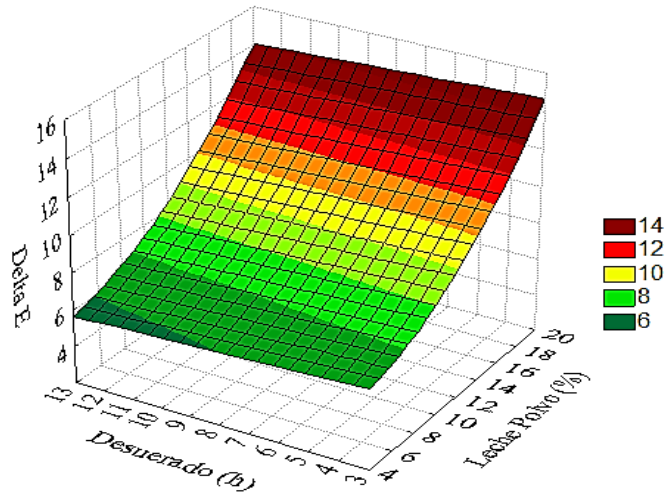


Figura 2. Efecto de la variable leche en polvo y desuerado en el diferencial de color del yogur estilo griego.

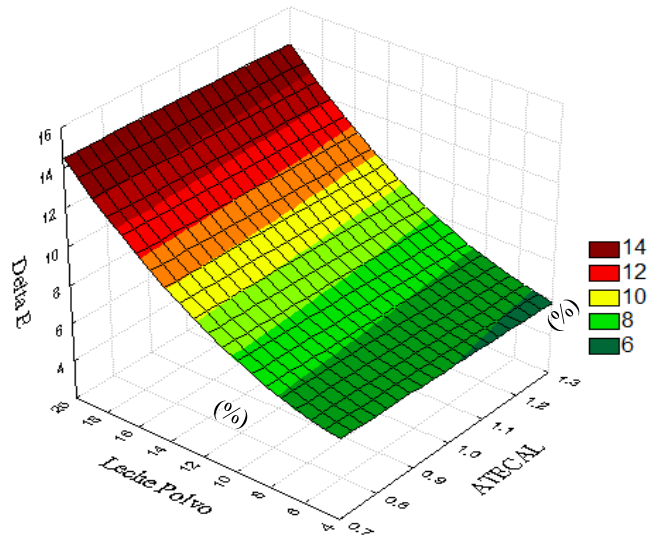


Figura 3. Efecto d
yogur estilo griego

ncial de color del

Los cambios de color que se presentaron en los tratamientos del yogur estilo griego se debieron en gran parte a las diferentes reacciones de las bacterias ácido lácticas así como también a la desnaturalización que ocasiona la reacción de Millard (Rodríguez, 2010). Desai (2012), afirma que al modificar el porcentaje de grasa y aumentar los sólidos totales se modifican propiedades físicas, incluyendo la apariencia (brillo, opacidad y color).

Análisis de viscosidad. La viscosidad o consistencia del coagulo, son de gran importancia por lo general en cuanto mayor sea el nivel de sólidos en la mezcla de yogur mayor es la viscosidad del producto final. La relación entre el nivel de sólidos en la leche y la consistencia de yogur fue estudiada por Tamime (1977), y se observó que esta propiedad ha mejorado en gran medida cuando el sólido de la leche se aumenta.

En el Cuadro 6, se detallan los resultados del análisis de diferencia de viscosidad donde variaron de 43 hasta 120 Pa.s. El tratamiento 12 presentó una mayor diferencia en cuando a viscosidad y los tratamiento 15 y 18 presentaron una menor diferencia de viscosidad.

Cuadro 6. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en la viscosidad del yogur estilo griego.

Tratamientos	ATECAL (%)	Leche en polvo (%)	Desuerado (h)	Viscosidad (Pa.s)
				Media ± D.E
1	0.85	8.00	5.60	56 ± 37 ^{KLM}
2	1.15	8.00	5.60	79 ± 44 ^{GHI}
3	0.85	15.50	5.60	62 ± 38 ^{JKL}
4	1.15	15.50	5.60	70 ± 50 ^{IJ}
5	0.85	8.00	10.40	71 ± 48 ^{IJ}
6	1.15	8.00	10.40	89 ± 63 ^{EFG}
7	0.85	15.50	10.40	108 ± 81 ^{ACD}
8	1.15	15.50	10.40	106 ± 82 ^{CD}
9	0.75	8.00	8.00	74 ± 34 ^{HIJ}
10	1.25	8.00	8.00	101 ± 79 ^{DE}
11	1.00	6.00	8.00	99 ± 89 ^{DEF}
12	1.00	18.00	8.00	120 ± 97 ^A
13	1.00	12.00	4.00	49 ± 42 ^{LM}
14	1.00	12.00	12.00	117 ± 92 ^{AB}
15	1.00	12.00	8.00	43 ± 21 ^M
16	1.00	12.00	8.00	55 ± 45 ^{KLM}
17	1.00	12.00	8.00	112 ± 84 ^{ACD}
18	1.00	12.00	8.00	47 ± 33 ^M
19	1.00	12.00	8.00	86 ± 66 ^{FHG}
20	1.00	12.00	8.00	67 ± 46 ^{OJK}
Coefficiente de Variación (%)				31.08

Valores seguidos por una letra (A-O) son estadísticamente diferentes a P<0.05

¥: Media ± Desviación estándar.

Se observa el tratamiento 12 es $+\alpha$, y esto indica que es el tratamiento que mayor porcentaje de leche en polvo tiene en su formulación. Lo que resulta es que la leche en polvo aumenta los sólidos de la leche, haciéndolo más viscoso en comparación de los demás tratamiento. De igual manera el tratamiento 14 es $+\alpha$, indica que es el tratamiento que más tiempo de desuerado tiene en su proceso, esto resulta dado que el desuerado concentra los sólidos y hace al yogur más viscoso en comparación de los demás.

Dixon (1985), hizo yogur fortificado con leche en polvo, donde obtuvo una mayor viscosidad aparente y el yogur era menos susceptible a la sinéresis. Sin embargo, la viscosidad / consistencia del coágulo es de importancia primaria durante la fabricación de yogur y esta característica es totalmente dependiente del nivel de proteína en la base de la leche o producto que se utilice para fortificarlo, una relación que es evidente con respecto a las variaciones en el contenido de proteína del producto final (Gennip, 1973).

Para lograr un yogur con más consistencia se debe aumentar la proporción de caseína y proteínas del suero (Bylund, 1996).

Análisis de proteína. En el Cuadro 7, se detallan los resultados del análisis de diferencia de proteína donde varía de 5.5 hasta 7.2 %. El tratamiento 17 presentó mayor diferencia en cuando a porcentaje de proteína y los tratamientos 1 y 9 presentaron menor diferencia de proteína.

Cuadro 7. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en la proteína del yogur estilo griego.

Tratamientos	ATECAL (%)	Leche en Polvo (%)	Desuerado (h)	Proteína (%)
				Media ± D.E
1	0.85	8.00	5.60	5.5 ± 0.0 ^F
2	1.15	8.00	5.60	5.8 ± 0.0 ^{EF}
3	0.85	15.50	5.60	5.8 ± 0.0 ^{EF}
4	1.15	15.50	5.60	6.3 ± 0.0 ^{CDE}
5	0.85	8.00	10.40	5.9 ± 0.1 ^{EF}
6	1.15	8.00	10.40	6.0 ± 0.3 ^{DEF}
7	0.85	15.50	10.40	6.0 ± 0.3 ^{DEF}
8	1.15	15.50	10.40	6.3 ± 0.1 ^{CDE}
9	0.75	8.00	8.00	5.7 ± 0.0 ^F
10	1.25	8.00	8.00	6.5 ± 0.0 ^{BCD}
11	1.00	6.00	8.00	7.0 ± 0.4 ^{AB}
12	1.00	18.00	8.00	6.3 ± 0.0 ^{CDE}
13	1.00	12.00	4.00	6.6 ± 0.1 ^{ABC}
14	1.00	12.00	12.00	6.8 ± 0.3 ^{ABC}
15	1.00	12.00	8.00	5.9 ± 0.9 ^{EF}
16	1.00	12.00	8.00	6.9 ± 0.0 ^{AB}
17	1.00	12.00	8.00	7.2 ± 0.2 ^A
18	1.00	12.00	8.00	6.9 ± 0.0 ^{AB}
19	1.00	12.00	8.00	6.5 ± 0.0 ^{BCD}
20	1.00	12.00	8.00	7.0 ± 0.2 ^{AB}
Coefficiente de Variación (%)				4.24

Valores seguidos por una letra (A-H) son estadísticamente diferentes a $P < 0.05$
DE: Desviación estándar.

En el cuadro 8 la variable X_2^2 (leche en polvo) no fue significativa a una $P < 0.1$ y presenta efecto negativo lo que indica que un incremento en esta variable en la formulación presenta una disminución en el contenido de proteína del yogur.

El R^2 indica que el 51% de los datos de la variable independiente Proteína, se ajustaron al modelo de superficie respuesta y el 49% de los datos no se ajustaron al modelo. Este modelo

no clasifica como predictivo porque el R^2 es menor a 60%, pero puede ser usado como un modelo tendencioso.

Cuadro 8. Coeficientes de regresión, probabilidades (P) de un modelo de regresión polinomial valores F y R^2 para proteína (%) en función de porcentaje de ATECAL, leche en polvo y horas de desuerado en las formulaciones del yogur estilo griego.

Coeficientes	Proteína (%)	P
Intercepto	6.65E+00	2.67E-07***
X ₁	1.81E-01	1.88E-01 ns
X ₁ ²	-3.34E-01	3.44E-02**
X ₂	-8.15E-03	9.48E-01 ns
X ₂ ²	-1.30E-01	3.12E-01 ns
X ₃	8.58E-02	5.02E-01 ns
X ₃ ²	-1.20E-01	3.47E-01 ns
X ₁ *X ₂	4.54E-02	7.82E-01 ns
X ₁ *X ₃	-5.31E-02	7.46E-01 ns
X ₂ *X ₃	-4.54E-02	7.82E-01 ns
Falta de Ajuste		3.62E-01 ns
R²		0.51
F calculado		9.20
F tabulado		2.46

X₁: ATECAL (%), X₂: Leche en Polvo (%), X₃: Desuerado (h)

n.s = No Significantes, * = Significantes a P<0.1, ** = Significante a P<0.05, *** = Significante a P<0.01

En base a la variable leche en polvo que fue significativa a una P<0. Se construyó la ecuación 9.

$$Proteina = 6.65 - 0.33X_1^2 \quad [9]$$

En base a la ecuación 7 se construyó la gráfica (figura 4) de superficie respuesta para la variable dependiente proteína. Donde se puede observar que en un incremento 0.33 unidades de ATECAL aumenta el contenido de proteína en el yogur.

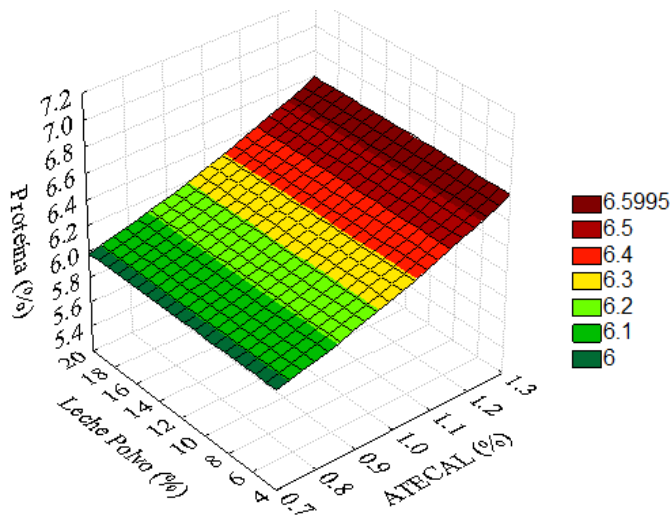


Figura 4. Efecto de la variable ATECAL y leche en polvo en el porcentaje de proteína en el yogur estilo griego.

La adición de leche en polvo para aumentar viscosidad y proteína es ampliamente utilizada en la industria para fortalecer la leche a utilizar en la fabricación de un yogur (Bøjgaard, 1987). Un aumento en el contenido del ácido láctico se atribuye a la capacidad de retención de sólidos (Lanzanova *et al.*, 1993).

Aunque en términos generales, el nivel global de la proteína en la mezcla influye en las características del coágulo, la formación del gel es totalmente dependiente de las propiedades funcionales de la caseína (Rohm y Foissy, 1991).

La figura 4 indica que a mayor nivel de ácido láctico hubo mayor porcentaje de proteína. Esto se debe a que el ácido láctico producido por el cultivo iniciador desestabiliza las micelas de caseína en presencia de iones divalentes (calcio y magnesio), por lo que la caseína forma una red tridimensional que atrapa todos los constituyentes de la leche (Rohm y Foissy, 1991).

Comercialmente, un yogur con alto contenido de proteína se puede lograr mediante la adición de polvo de caseinato, concentrar la leche por el método de UF o, en menor grado, por la adición de un polvo de alto contenido en proteínas ya sea suero de leche o leche en polvo (Tamime *et al.*, 1984)

Análisis de grasa. Desai (2012), afirma que al modificar el porcentaje de grasa se modifican propiedades físicas en el yogur. En el cuadro 9, se muestra que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en cuando a porcentaje de grasa.

Cuadro 9. Efecto de la combinación de ATECAL, leche en polvo y desuerado en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.

Tratamientos	ATECAL (%)	Leche en polvo (%)	Desuerado (h)	Grasa (%)
				Media ± DE
1	0.85	8.00	5.60	1.4 ± 0.0 ^A
2	1.15	8.00	5.60	1.5 ± 0.1 ^A
3	0.85	15.50	5.60	1.5 ± 0.0 ^A
4	1.15	15.50	5.60	1.4 ± 0.1 ^A
5	0.85	8.00	10.40	1.0 ± 0.1 ^A
6	1.15	8.00	10.40	1.0 ± 0.1 ^A
7	0.85	15.50	10.40	1.2 ± 0.2 ^A
8	1.15	15.50	10.40	1.0 ± 0.1 ^A
9	0.75	8.00	8.00	1.3 ± 0.0 ^A
10	1.25	8.00	8.00	1.4 ± 0.1 ^A
11	1.00	6.00	8.00	1.0 ± 0.2 ^A
12	1.00	18.00	8.00	1.3 ± 0.3 ^A
13	1.00	12.00	4.00	1.0 ± 1.0 ^A
14	1.00	12.00	12.00	1.1 ± 0.1 ^A
15	1.00	12.00	8.00	1.5 ± 0.1 ^A
16	1.00	12.00	8.00	1.2 ± 0.2 ^A
17	1.00	12.00	8.00	1.0 ± 0.1 ^A
18	1.00	12.00	8.00	1.1 ± 0.2 ^A
19	1.00	12.00	8.00	1.0 ± 0.1 ^A
20	1.00	12.00	8.00	1.1 ± 0.1 ^A
Coefficiente de Variación (%)				0.00

Valores seguidos por una letra (A) son estadísticamente diferentes a P<0.05
DE: Desviación estándar.

En el cuadro 10 las variables X_1^2 y X_2 (ATECAL y leche en polvo) fueron significativas a una P<0.1 y presentan efecto positivo, lo que indica que un incremento en esta variable en la formulación presenta aumento en el contenido de grasa del yogur. La variable lineal X_3 (desuerado) fue significativa a una P<0.1. Ésta presenta signo negativo lo que indica que el incremento de esta variable independiente ocasiona una disminución en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.

El R^2 indica que el 53% de los datos de la variable independiente grasa, se ajustaron al modelo de superficie respuesta y el 47% de los datos no se ajustaron al modelo. Este modelo no clasifica como predictivo porque el R^2 es menor a 60%, pero puede ser usado como un modelo tendencioso.

Cuadro 10. Coeficientes de regresión, probabilidades (P) de un modelo de regresión polinomial valores F y R^2 para grasa (%) en función de porcentaje, leche en polvo y horas de desuerado en las formulaciones del yogur estilo griego.

Coeficientes	Grasa (%)	P
Intercepto	1.18E+00	2.47E-05 ***
X ₁	2.67E-03	9.61E-01 ns
X ₁ ²	1.06E-01	9.28E-02 *
X ₂	1.33E-01	5.26E-02 *
X ₂ ²	-1.77E-02	7.43E-01 ns
X ₃	-1.24E-01	6.39E-02 *
X ₃ ²	-3.54E-02	5.20E-01 *
X ₁ *X ₂	-3.75E-02	6.08E-01 ns
X ₁ *X ₃	-3.75E-02	6.08E-01 ns
X ₂ *X ₃	3.75E-02	6.08E-01 ns
Falta de Ajuste		1.93E-01 ns
R²		0.53
F calculado		4.74
F tabulado		2.46

X₁: ATECAL (%), X₂: Leche en Polvo (%), X₃: Desuerado (h)

n.s = No Significantes, *= Significantes a P<0.1, ** = Significante a P<0.05, ***= Significante a P<0.01

En base a la variables que presentaron significancia a una P<0.1 se construyó la ecuación 10.

$$\text{Grasa} = 1.18 + 0.106X_1^2 + 0.133X_2 - 0.124X_3 - 0.035X_3^2 \quad [10]$$

En base a la ecuación 8 se construyeron las gráficas (5 y 6) de superficie respuesta para la variable dependiente grasa.

En la figura 5, se observa que a mayor concentración de leche en polvo, esto sucede ya que la leche en polvo contiene un 2% de grasa, y al ser agregada esta le añade a la formulación una cantidad extra de grasa. Caso contrario ocurre con un aumento en el tiempo de desuerado, al incrementar el tiempo de desuerado disminuye el porcentaje de

grasa, esto concuerda con Aguirre *et al.* (2014), donde afirma que un 0.22% de grasa se pierde en el suero, lo que hace que reduzca la cantidad de grasa en el yogur.

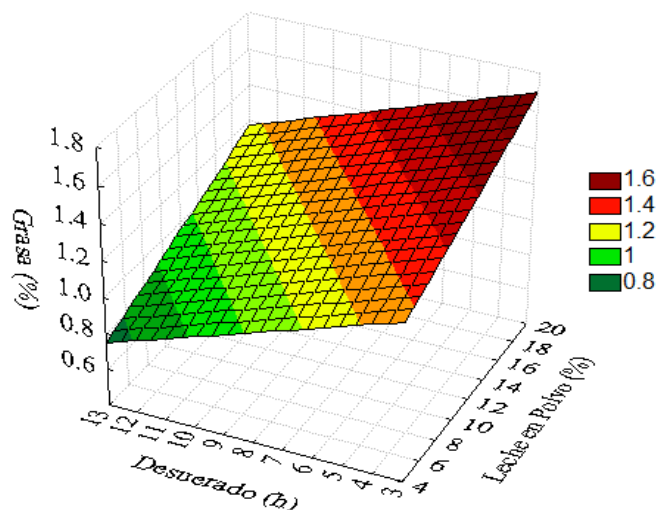


Figura 5. Efecto de la variable leche en polvo y desuero en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.

En la figura 6 la variable ATECAL no influye en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego. El incremento de la variable leche en polvo da como resultado aumento del porcentaje de grasa del yogur estilo griego.

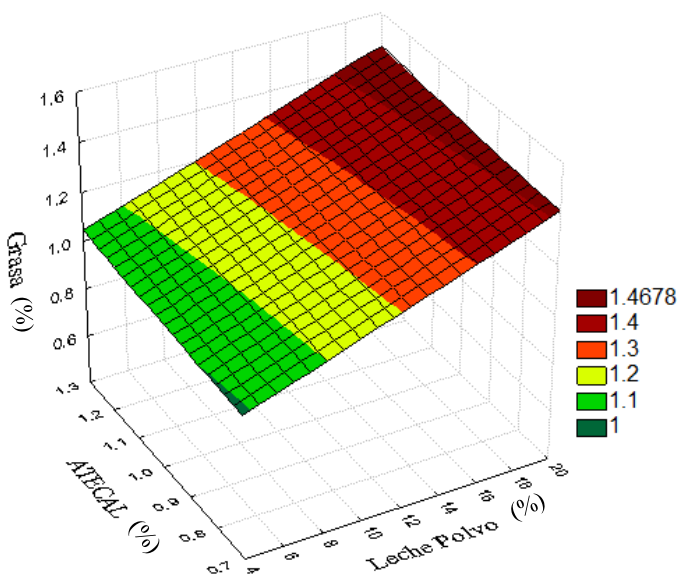


Figura 6. Efecto de la variable ATECAL y leche en polvo en el porcentaje de grasa del yogur estilo griego.

Análisis microbiológico. El cuadro 11 indica el conteo microbiológico de los tratamientos, el cual demuestra que todos cumplieron con el parámetro de calidad microbiológica establecido por ICAITTI para productos lácteos y derivados (Chiriboga, 2008), ya que los conteos finales menores a 10 ufc de coliformes totales por gramos de muestra fueron reportados. Esto se logró evitando la contaminación posterior a la pasteurización de la leche y manteniendo temperaturas de almacenamiento a 4°C después del envasado.

Cuadro 11. Conteo de Coliformes totales en el yogur estilo griego.

Tratamiento	ATECAL (%)	Leche en Polvo (%)	Desuerado (h)	Coliformes Totales (UFC/g)
1	0.85	8.00	5.60	< 10
2	1.15	8.00	5.60	< 10
3	0.85	15.50	5.60	< 10
4	1.15	15.50	5.60	< 10
5	0.85	8.00	10.40	< 10
6	1.15	8.00	10.40	< 10
7	0.85	15.50	10.40	< 10
8	1.15	15.50	10.40	< 10
9	0.75	8.00	8.00	< 10
10	1.25	8.00	8.00	< 10
11	1.00	6.00	8.00	< 10
12	1.00	18.00	8.00	< 10
13	1.00	12.00	4.00	< 10
14	1.00	12.00	12.00	< 10
15	1.00	12.00	8.00	< 10
16	1.00	12.00	8.00	< 10
17	1.00	12.00	8.00	< 10
18	1.00	12.00	8.00	< 10
19	1.00	12.00	8.00	< 10
20	1.00	12.00	8.00	< 10

Función de utilidad. En la figura 7 muestra los valores óptimos de las variables independientes sobre las diferentes respuestas. Bajo las restricciones de viscosidad, color, porcentaje de proteína y grasa se determinó que 1% de ATECAL, 11.6 % de leche en polvo y 8 horas de desuerado.

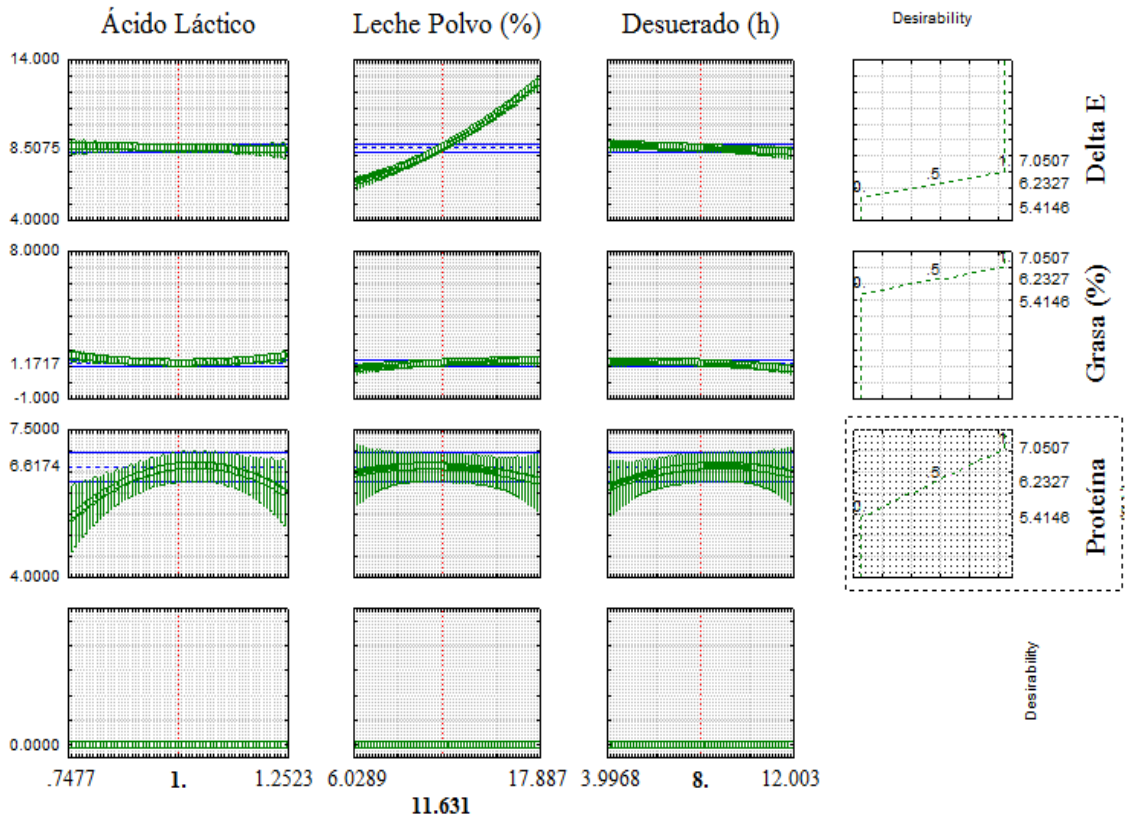


Figura 7. Valores óptimos de las variables independientes sobre las propiedades físicas y químicas del yogur estilo griego.

Análisis físicos. Como se muestra en el cuadro 12 los resultados obtenidos de color en ambas muestras (yogur optimizado y yogur comercial), mostraron que existieron diferencias significativas para los valores L^* , a^* y b^* . El valor en el eje L^* el mejor evaluado fue el yogur comercial siendo más cercano a 100, con un valor de 94.72 en relación a claridad y brillo.

En el valor del eje a^* se obtuvo un resultado más cercano al color verde en el yogur comercial comparado con el yogur optimizado (1.51 y 0.37). En la evaluación del valor del eje b^* , el yogur optimizado obtuvo un valor más cercano al color amarillo, comparado al yogur comercial (15.18 y 9.29).

El cambio está relacionado con la modificación del porcentaje de sólidos grasos y totales, el cual se ve afectado en las propiedades físicas del yogur, incluyendo color (Desai, 2012).

Cuadro 12. Comparación de color niveles de L* a* y b* y análisis de viscosidad del yogur optimizado y el yogur comercial.

Muestra	L*	a*	b*	Viscosidad (Pa.s)
	Media ± DE	Media± DE	Media ± DE	Media ± DE
Yogur optimizado	90.17 ± b	0.37 ± b	15.18 ± a	328.89 ± 177.47 a
Yogur comercial	94.72 ± a	1.51 ± a	9.29 ± b	126.91 ± 111.72 b
CV (%)	0.24	18.00	2.25	65.00
R²	0.99	0.94	0.99	0.41

a-b diferentes letras en las mismas columnas indican diferencias estadísticas a P<0.05
DE: Desviación estándar CV: Coeficiente de variación.

Análisis químicos. Los resultados obtenidos en el cuadro 13, muestran que sí existen diferencias significativas para ambas muestras en los valores de proteína y grasa.

La muestra que presenta un mayor contenido de proteína es el yogur comercial en comparación con el yogur optimizado (9.19 y 5.98, respectivamente en el cuadro 13). Aun así el yogur optimizado cumplió con la norma para yogur concentrado del Codex Alimentarius (2010), donde especifica que después de la fermentación se debe de aumentar el contenido de proteína a un mínimo de 5.6% comparado con un yogur regular que contiene mínimo 2.7% de proteína.

En los resultados obtenidos de análisis de grasa se obtuvo que se encuentren diferencias significativas entre ambas muestras. El contenido de grasa promedio de un yogur es alrededor de 1.5 medio en grasa y 0.5 bajo en grasa. Por lo tanto, el yogur optimizado entraría a la categoría de yogur bajo en grasa.

En un estudio realizado los yogures mejores percibidos en cuando a cremosidad y dulzura estaban relacionados con el nivel de grasa que estos contenían (Tourial *et al.*, 1993).

Cuadro 13. Comparación análisis químicos entre el yogur optimizado y el yogur comercial.

Muestra	Proteína (%)	Grasa (%)
	Media ± DE	Media ± DE
Yogur optimizado	5.98 ± 0.06 b	1.23 ± 0.25 a
Yogur comercial	9.19 ± 0.05 a	0.00 ± 0.00 b
CV (%)	0.80	28.80
R ²	0.99	0.94

a-b diferentes letras en las mismas columnas indican diferencias estadísticas a P<0.05

DE: Desviación estándar CV: Coeficiente de variación.

Análisis microbiológicos. En el cuadro 14 se indica el conteo microbiológico de ambas muestras, los cuales cumplen con los parámetros de calidad microbiológicos establecidos por ICAITTI para productos lácteos y derivados (RTC, 2009).

Cuadro 14. Conteo de Coliformes totales del yogur optimizado y el yogur comercial.

Muestra	Coliformes Totales (UFC/g)
Yogur optimizado	< 10
Yogur comercial	< 10

Análisis Sensorial.

Yogur griego es actualmente el sector de mayor crecimiento en la industria láctea. Debido a que no existe una norma de identidad para los yogures griegos en los Estados Unidos, se puede hacer por una variedad de métodos y se espera variabilidad en las propiedades sensoriales (Thompson *et al.*, 2007).

Para las siguiente graficas se utilizó una escala de siete puntos, siendo uno me disgusta extremadamente y siete me gusta extremadamente. Para ello se unieron los valores 1 - 3 como negativo, 4 como neutral y 5 - 6 positivo.

Para el atributo de apariencia (figura 8), El yogur comercial obtuvo una calificación de 72% de la respuesta positivas, 10% negativas y el resto de las personas fue indiferente ante este atributo. En el yogur optimizado, el 59% de la personas dio resultados positivos y 21% respuestas negativas, sienten 21% de las personas indiferentes a la apariencia.

Según Fisher *et al.* (1997), la apariencia de los alimentos es considerado decisivo para la elección del consumidor.

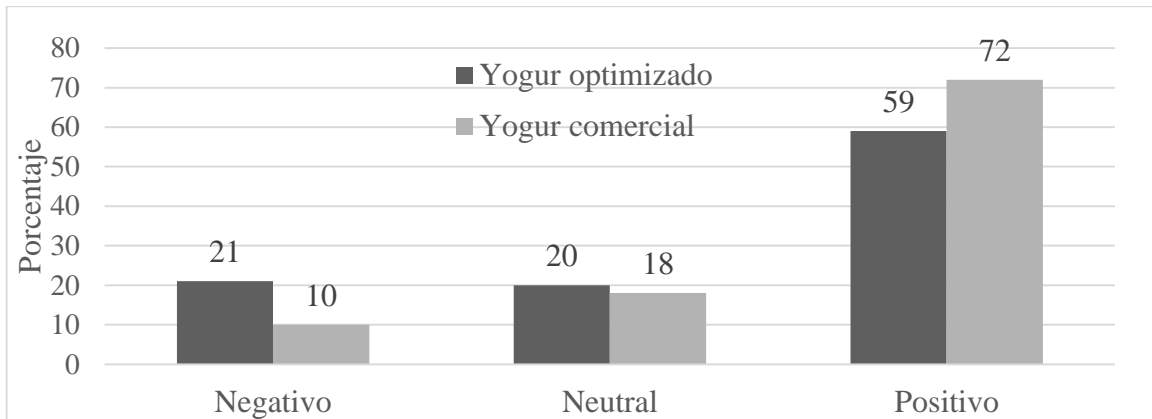


Figura 8. Resultado de análisis sensorial de aceptación para apariencia del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

Se observa en la figura 9 que el yogur comercial obtuvo una mejor calificación en el atributo color. Esto se debe a que presentaba un color más blanco en comparación al yogur optimizado. Esto concuerda con Bylund (1995), donde afirma que el color blanco en un yogur es más atractivo para el consumidor.

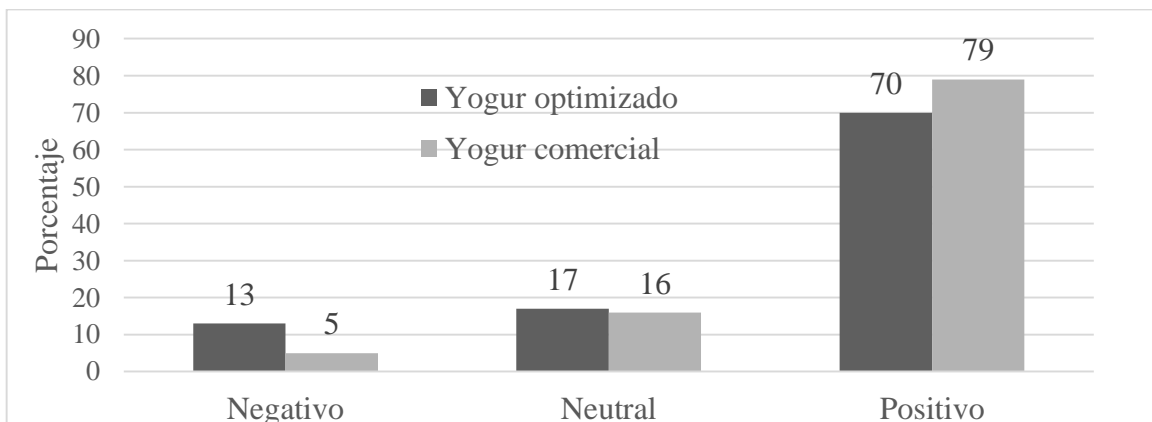


Figura 9. Resultado de análisis sensorial de aceptación para color del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

En cuanto al atributo de aroma, se observa en la figura 10 que el yogur optimizado obtuvo una mejor calificación en comparación al yogur comercial, dando como resultados positivos 81 y 54% respectivamente, siendo los resultados negativos 3% para el yogur optimizado y un 18% para el yogur comercial.

Según Kneifel (1992), compuestos aromáticos es uno de los parámetros que se caracteriza de los cultivos o cepas de arranque en las leches fermentadas.

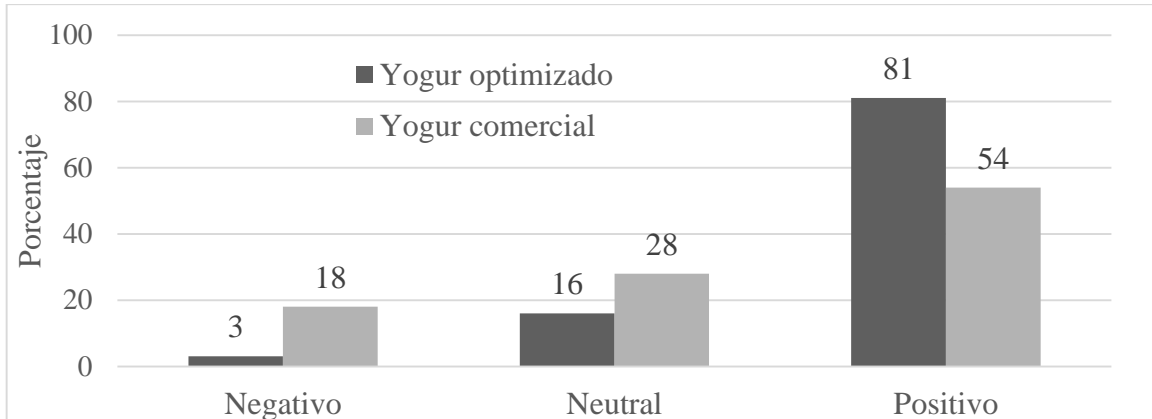


Figura 10. Resultado de análisis sensorial de aceptación para el aroma del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

En la figura 11 obtenemos los resultados para el atributo de viscosidad, en cual se observa que los datos obtenidos son similares entre ambas muestras, yogur optimizado y yogur comercial, con respuestas positivas de 59 y 54% respectivamente, siendo 17 y 20 % en respuestas negativas y el resto de las personas fueron indiferentes al atributo de viscosidad.

La textura es un parámetro organoléptico determinante en la aceptación del consumidor (Kneifel, 1992). Según Drake y Civiile (2003), los consumidores prefieren yogures griegos con textura firme y densa.

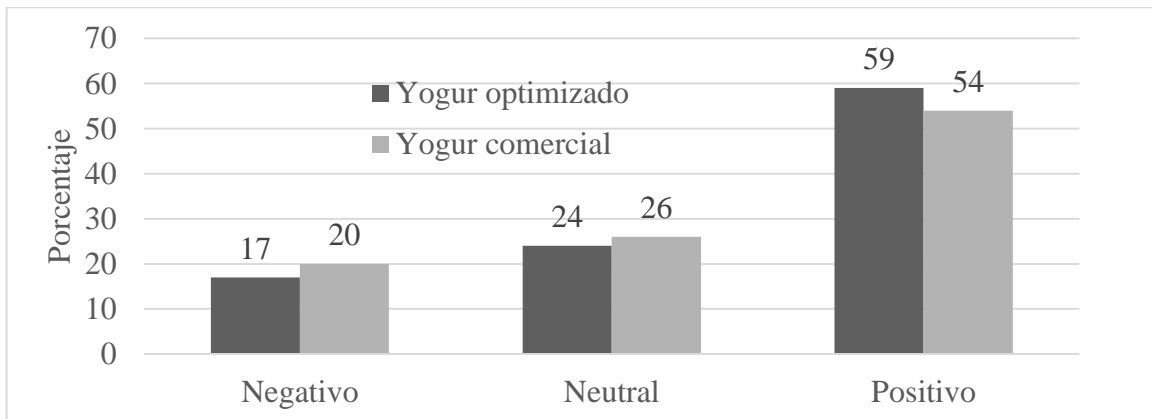


Figura 11. Resultado de análisis sensorial de aceptación para viscosidad del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

Para el atributo de acidez, en la figura 12 se observa que el yogur optimizado obtuvo 70% en respuestas positivas y 9% negativas en comparación al yogur comercial con 13% de respuestas positivas y 68% negativa, el resto de las personas les fue indiferente este atributo de acidez. Esto concuerda con Tourial (1993), donde demuestra que los consumidores perciben mejor los yogures por su dulzura, cremosidad y que sea ligeramente ácidos.

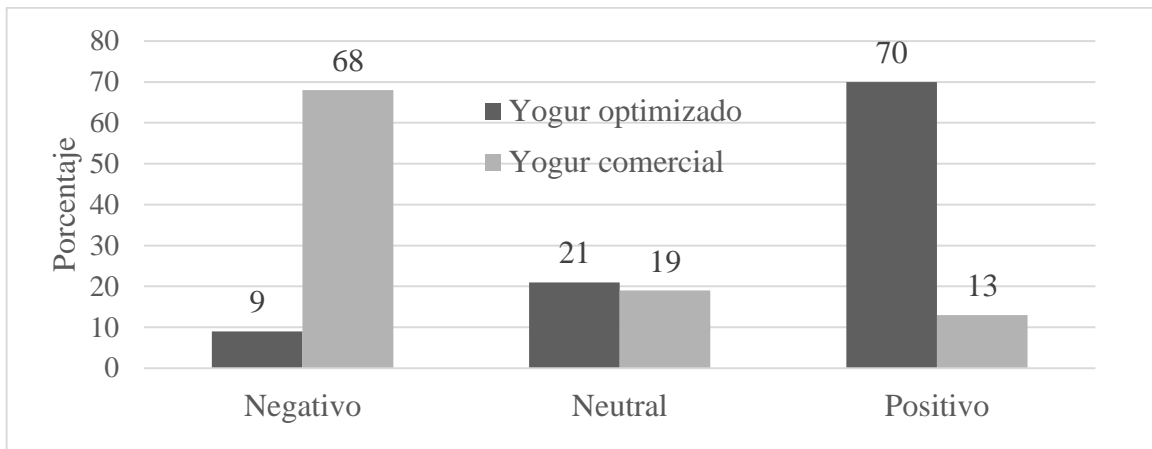


Figura 12. Resultado de análisis sensorial de aceptación para acidez del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

En la figura 13 se obtienen los resultados para el atributo de sabor, el cual muestra que los panelistas dieron resultados positivos en un 75% para el yogur optimizado y el 20%, por otro lado, los resultados negativos fueron 8% para el yogur optimizado y 56% para el yogur comercial, el resto de las personas mostraron indiferencia en cuanto a sabor. Como anteriormente dicho, esto concuerda con Tourial (1993), donde demuestra que los consumidores perciben mejor los yogures por su dulzura, cremosidad y ligeramente ácidos.

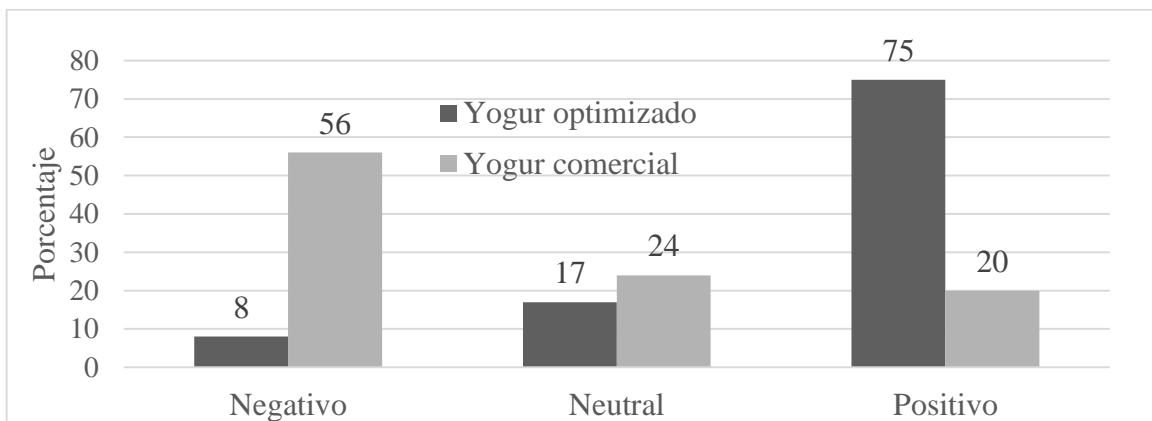


Figura 13. Resultado de análisis sensorial de aceptación para sabor del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

Dado todos los tributos anteriormente evaluados, los panelistas calificaron aceptación general de ambas muestras, el cual se muestran los resultados en la figura 14 donde se observa que el 79% de las personas dieron respuesta positiva en cuanto a la aceptación del yogur optimizado y solamente un 25% de las personas aceptó el yogur comercial. También se obtienen los resultados negativos con solamente un 10% al yogur optimizado y 41%

para el yogur comercial, siento el resto de las personas indiferentes a la aceptación en general en ambas muestras.

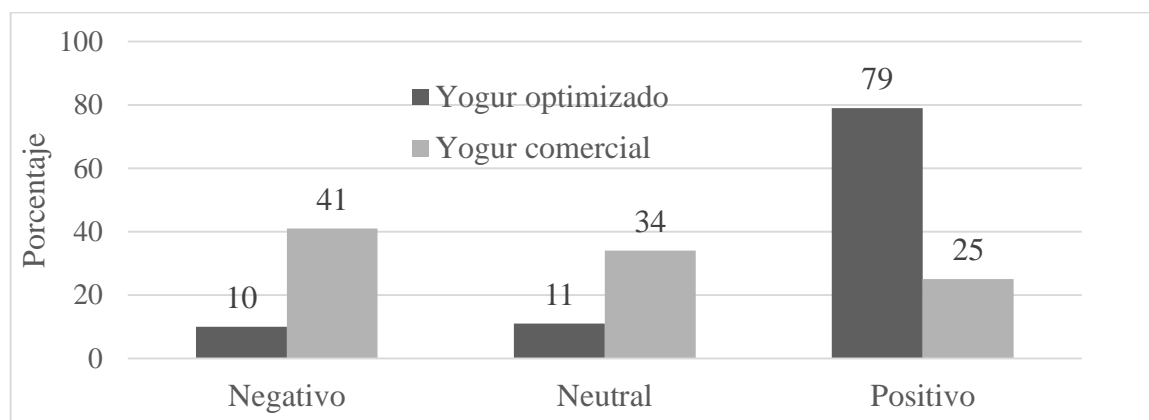


Figura 14. Resultado de análisis sensorial para aceptación general del yogur optimizado comparado con un yogur griego comercial.

Preferencia. Dando una probabilidad < 0.05 , se concluye que si hubo diferencia en ambas muestras por lo que los panelistas mostraron un 98% de preferencia hacia el yogur optimizado y únicamente un 2% de ellos prefirieron el yogur comercial. Algunos de los atributos que más influyeron en la decisión de preferencia, en base a comentarios, fueron: textura, sabor y acidez.

Cuadro 15. Análisis sensorial de preferencia.

	Yogur optimizado	Yogur comercial	P
Observado	98	2	<0.01
Esperado	50	50	

Estudios realizados han demostrado que, tanto para consumidores como para un panel entrenado, atributos como textura y sabor son determinantes en la decisión de preferencia de yogur griego (Tuorila *et al.*, 1993).

Rendimiento. El rendimiento del yogur optimizado se obtuvo un rendimiento del 81%. Esto resulta que cada variable estudiada del producto influye en el rendimiento final de yogur estilo griego ya que concentran más los sólidos.

Según estudios realizados por Aguirre *et al.* (2014), se calculó el rendimiento real del yogur estilo griego con un promedio de 51.6 %. Vosniakos (2012), propuso un rendimiento teórico del 42% para el yogur estilo griego producido de leche de vaca.

Análisis de costo. En el cuadro 14 se presentan los costos de insumos y materias primas, sin incluir costos de mano de obra, servicios públicos (agua y energía eléctrica), para elaborar el yogur estilo griego en base al yogur optimizado. Los precios empleados fueron actualizados para el análisis hasta octubre de 2015.

Cuadro 16. Análisis de costos variables para una porción de 180g/ yogur estilo griego.

Insumo	Cantidad (g)	Costo (L.)
Leche estandarizada al 2%	151.200	1.444
Azúcar calidad a y b (50 kg)	3.600	0.055
Leche descremada en polvo	21.600	1.457
Estabilizador p/yogurt (yogubilizador rth)	0.900	0.236
Cultivo láctico yoflex mild 10 x 50 u	0.011	0.001
Sorbato de potasio granular	0.013	0.002
Envase plástico de 180 cc p/ yogurt	1.000	1.474
Tapa de 106cc p/envases de 180 y 200 cc	1.000	0.575
Sello de seguridad 125 x 35 x 0.05		
Termoencogibles	1.000	0.175
Costo variable unitario	180	5.418

Tasa de cambio L. 22.2107

4. CONCLUSIONES

- Se determinó que la combinación de 1% de ATECAL, 11.6% de leche en polvo y ocho horas de desuerado optimizan las variables del yogur estilo griego.
- Se aumentó en un 30% el rendimiento del yogur.
- El costo unitario del yogur estilo griego se encuentra dentro del rango de precio para los yogures de la planta de lácteos de Zamorano.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios con leche en polvo alta en proteína, para aumentar el rendimiento y nivel proteico del yogur estilo griego.
- Evaluar las propiedades sensoriales del yogur añadiendo sabores frutales.
- Realizar análisis sensorial de preferencia comparado con otros yogures griegos comerciales.
- Hacer análisis proximal para realizar un etiquetado nutricional del yogur estilo griego.

6. LITERATURA CITADA

Abu-Jdayil, B; Mohameed, H. 2002. Experimental and modelling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. *Journal of Food Engineering*. 52(4): 359-365.

Aly, A.A., Y. H. El-Samargy, E.O. Fayed y A. E. Hagrass. 1988. Properties of labneh-like product manufactured using *Enterococcus* starter cultures as novel dairy fermentation bacteria. *Journal Food Protection*. 51:386–390.

AOAC. Horwitz, W. 2011. Official methods of Analysis of AOAC International, 18th edition, AOAC International, Maryland, Estados Unidos.

Argenbio. 2005. Alimentos fortificados y enriquecidos. Consejo Argentino para la información y el Desarrollo de la Biotecnología.

Box G. y N. Draper 1959. A Basis for the Selection of a Response Surface Design. *Journal of the American Statistical Association*. 54 (287): 622-654.

Codex Alimentarius. 2011. Leches y productos lácteos. 2da Ed. Viale delle Terme di Caracalla, Roma, Italia. p 6.

Código Regulaciones Federales (CFR). 2015. Título 151 Leche y Crema. Sección 151.203 -206 Yogur sin grasa. Departamento de Salud y servicios humanos. Washington, D.C., Estados Unidos. (En línea). Consultado el: 10 de julio 2015. Disponible en: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=151.206>

Cúe Bruguera, M. 2012. Benefits and risks of calcium supplements. *Revista Cubana de Farmacia*. 46 (4): 80-89.

Desai N.T., Shepard L, Drake MA. 2015. Sensory properties and drivers of liking for Greek yogurts. *Journal of Dairy Science*. 96 (12):7454-66.

Fisher, C., et al. *Food Flavours*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1997

Guizani, N; Kasapis, S; Al-Ruzeik, M. 2001. Microbial, chemical and rheological properties of laban (cultured milk). *International Journal of Food Science and Technology* 36 (2): 199-205.

Kneifel W. 1992. Aroma profiles and sensory properties of yogurt and yogurt-related products I. Screening of commercially available starter cultures. *Milchwissenschaft*. 47: 362–365.

Rodriguez, M. I y A. F. Lemma. 2012. Diseño experimental y optimización de procesos. Editora Carita. Campinas, Brasil.

Thompson, J. L., K. Lopetcharat, and M. A. Drake. 2007. Preferences for commercial strawberry drinkable yogurts among African American, Caucasian, and Hispanic consumers in the United States. *J. Dairy Scientific*. 90:4974-4987.

Yuguchi, H., Hirimatsu, Doi K. 1973. Studies on the flavor of yogurt fermented with Bifidobacteria-significance of volatile compounds and organic acids in the sensory acceptance of yogurt. *Japanese Journal of Zootechnology and Science*, 60: 734–741

7. ANEXOS

Anexo 1. Formulaciones para cada nivel de las variables independientes.

1 Litro de leche 6%			1 Litro de leche 12 %		
Ingredientes	Kg	g	Ingredientes	Kg	g
Leche 2%	0.9	900	Leche 2%	0.84	840
Azúcar	0.02	20	Azúcar	0.02	20
Leche en polvo	0.06	60	Leche en polvo	0.12	120
MCP 80	0.015	15	MCP 80	0.015	15
Estabilizador	0.005	5	Estabilizador	0.005	5
Total	1	1000	Total	1	1000
Cultivo láctico	0.06 g / litro		Cultivo láctico	0.06 g / litro	
Sorbato Potasio	0.07 g / litro		Sorbato Potasio	0.07 g / litro	

1 Litro de leche 8.5 %			1 Litros de leche 15.5 %		
Ingredientes	Kg	g	Ingredientes	Kg	g
Leche 2%	0.875	875	Leche 2%	0.81	810
Azúcar	0.02	20	Azúcar	0.02	20
Leche en polvo	0.085	85	Leche en polvo	0.15	150
MCP 80	0.015	15	MCP 80	0.015	15
Estabilizador	0.005	5	Estabilizador	0.005	5
Total	1	1000	Total	1	1000
Cultivo láctico	0.06 g / litro		Cultivo láctico	0.06 g / litro	
Sorbato Potasio	0.07 g / litro		Sorbato Potasio	0.07 g / litro	

1 Litro de leche 17.5 %		
Ingredientes	Kg	g
Leche 2%	0.78	780
Azúcar	0.02	20
Leche en polvo	0.18	180
MCP 80	0.015	15
Estabilizador	0.005	5
Total	1	1000
Cultivo láctico	0.06 g / litro	
Sorbato Potasio	0.07 g / litro	

Anexo 2. Análisis de ATECAL y sinéresis en el yogur estilo griego optimizado.

Día	Sinéresis (%)	Ácido Láctico
1	0	1
15	2	1.2
21	1.6	1.8

Anexo 3. Imagen de sinéresis al día 15 y 21.

