



## Agroindustrial Science

Agroind Sci 3 (2013)

Escuela de Ingeniería  
Agroindustrial

Universidad Nacional de Trujillo

### Optimización mediante diseño de mezclas de sinéresis y textura sensorial de yogurt natural batido utilizando tres tipos de hidrocoloides

*Optimization by mixtures design of syneresis and sensory texture of natural smoothie yogurt using three types of hydrocolloids*

Arnold Cárdenas Casanova<sup>1</sup>, Husin Alvites Gutierrez<sup>1</sup>, Glyn Valladares Castillo<sup>1</sup>, Jesús Obregón Domínguez<sup>2</sup>, Víctor Vásquez-Villalobos<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada Antenor Orrego - Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Av. América Sur 3145 Monserrate. Trujillo.

<sup>2</sup> Consultor Gestión de calidad - Engineering Consulting & Services

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n. Ciudad Universitaria. Trujillo.

Recibido 27 agosto 2013; aceptado 06 septiembre 2013.

#### Resumen

Fue investigado el efecto de la combinación de tres proporciones de hidrocoloides (carboximetilcelulosa, gelatina y pectina), sobre la sinéresis y textura sensorial del yogurt natural batido, utilizando un Diseño de Mezclas Simplex con Centroide Ampliado. Se determinó las combinaciones óptimas para obtener valor bajo de sinéresis (24.29%) y mayor calificación en textura sensorial de 3.7 (aproximado a 4 de calificación = "me gusta moderadamente"), se obtuvieron valores de mezcla óptima de carboximetilcelulosa, gelatina y pectina de 0.24%, 0.005% y 0.004%, respectivamente. El modelo más adecuado para representar el comportamiento de cada variable respuesta fue el modelo cuadrático con valores de  $R^2$  de 0.951 y 0.932 para sinéresis y textura sensorial respectivamente. Para validar los resultados de la investigación, los valores obtenidos mediante la optimización fueron comparados con valores reales, para lo cual se elaboró una muestra de yogurt natural con las proporciones óptimas de hidrocoloides, efectuándose nuevamente un análisis de sinéresis y textura sensorial, lo que proporcionó valores de 24.3% y 4.2 (calificación de "me gusta moderadamente") respectivamente.

**Palabras clave:** optimización, diseño de mezclas, sinéresis, textura sensorial, yogurt natural batido, hidrocoloides.

#### Abstract

The effect of the combination of three proportions of hydrocolloids (carboxymethyl cellulose, gelatin and pectin), about the syneresis and sensory texture of natural smoothie yogurt, using a Design of Mixtures Simplex with Amplified Centroid, was investigated. Optimal combinations was determined for low value syneresis (24.29%) and highest score in sensory texture of 3.7 (approximate to 4 rating = "like moderately"), were obtained values of optimal mix of carboxymethyl cellulose, gelatin and pectin of 0.24%, 0.005% and 0.004%, respectively. The most appropriate model to represent the behavior of each response variable was the quadratic model with values of  $R^2$  of 0.951 and 0.932 syneresis and sensory texture respectively. To validate the results of the investigation, the values obtained by optimizing were compared with real values, for which it was prepared a sample of natural yogurt with optimal proportions of hydrocolloids, being carried out again an analysis of syneresis and sensory texture, which provided values of 24.3% and 4.2 (qualification of "I like moderately") respectively.

**Keywords:** optimization, design of mixtures, syneresis, sensory texture, natural smoothie yogurt, hydrocolloids.

\*Autor para correspondencia.

Email: vvasquez@unitru.edu.pe (V. Vásquez)

## 1. Introducción

El consumo de yogurt a nivel mundial aumenta cada día, debido a sus propiedades nutricionales como proteínas, calcio y bacterias benéficas. De acuerdo al *Codex Alimentarius*, el yogurt es leche (usualmente de vaca) que ha sido fermentada con *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* bajo condiciones de tiempo y temperatura adecuadas. Cada especie de bacterias estimula el crecimiento de la otra, y los productos de su metabolismo combinado dan como resultado la textura cremosa característica, así como el ligero sabor ácido (Enríquez *et al.*, 2012).

La textura es un atributo organoléptico de gran importancia en el yogurt, determinante en la aceptación por parte del consumidor, que suele percibirse en términos de la viscosidad, y cuya medición es muy importante sobre todo en productos que se supone deben tener una cierta consistencia en relación con su aspecto o palatabilidad, como lo es el yogurt, asimismo se suman además otros factores como el sabor, la apariencia, el pH, y el valor nutricional (Vera, 2011).

Uno de los problemas que se presenta con frecuencia en el yogurt es la formación de sinéresis, el cual se manifiesta mediante la expulsión de agua hacia el exterior del gel, siendo los materiales que expulsan: la fase acuosa de la leche fermentada, el agua atrapada dentro de las estructuras, el agua ligada a las proteínas y el agua libre; cuyas causas de este fenómeno pueden ser los escasos niveles de proteína en la leche con la que se elabora el producto y de grasa; tratamiento térmico y homogenización deficientes, temperatura de incubación muy alta, destrucción del coagulo durante la acidificación y un pH elevado (>4.8) (Vásquez, 2008). La presencia de sinéresis es uno de los problemas que puede conducir a que el producto sea rechazado por el consumidor (Vera, 2011).

Siccha y Lock de Ugaz (1992) han sostenido que desde tiempos remotos, los hidrocoloides o gomas han tenido un amplio campo de aplicación en la industria alimentaria como estabilizante, emulsionante o espesante. Aunque no contribuyen al aroma, sabor o poder nutritivo de los alimentos, pueden incidir en su aceptabilidad mejorando su textura o consistencia. Otras propiedades apreciadas en los hidrocoloides son su acción coagulante, lubricante y formadora de películas, aun encontrándose a muy bajas concentraciones.

Ciertas gomas extraídas de semillas de leguminosas, como la goma guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) y la goma de garrofín (*Ceratonia siligua*) han sido así utilizadas como aditivos alimentarios permitiendo obtener soluciones muy viscosas a bajas concentraciones, incluso cuando

el pH es bajo; son también compatibles con otros hidrocoloides, como los carragenatos, el agar y la goma xantana, y son capaces de reducir la sinéresis de algunos productos lácteos.

En este sentido los hidrocoloides son agentes de textura cada día más necesarios para la elaboración de alimentos. Utilizando la combinación adecuada, en la dosis adecuada, se puede obtener la textura que se desee en el producto final, dándole así valor agregado al satisfacer no sólo las necesidades alimenticias y nutricionales del consumidor final, sino también los gustos específicos de su paladar e incluso las extravagancias del consumidor más exigente (Alvarado y Aguilera, 2001).

Por esta razón los hidrocoloides están destinados a cumplir diversas funciones como: agentes espesantes, gelificantes, agentes de suspensión y de estabilización de las emulsiones, espumas, etc. (Säker, 2011).

Un diseño experimental de mezclas, permite aplicar el criterio que la suma de las proporciones de los componentes es el 100% y que la modificación de un porcentaje afecta los otros (Rojas *et al.*, 2012). El delineamiento y el análisis de mezclas es una metodología para el desarrollo y optimización de los productos alimenticios. Las características de calidad de un producto alimenticio normalmente dependerán de las proporciones de los ingredientes individuales que están presentes en las formulaciones (Gordillo *et al.*, 2012).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes proporciones de gelatina, carboximetilcelulosa (CMC) y pectina sobre la sinéresis (%) y textura sensorial de yogurt batido, siguiendo una metodología del Diseño de Mezclas.

## 2. Materiales y métodos

En la elaboración de yogurt batido se utilizó leche fresca de vaca, azúcar blanca, gelatina (bloom 280) carboximetilcelulosa (CMC), pectina, esencia de vainilla y cultivo láctico (Lyofast Y 450-B).

### Elaboración de yogurt tipo batido

Para la elaboración de yogurt batido se siguió la secuencia del diagrama de flujo observado en la Figura 1. Las etapas realizadas para la elaboración de yogurt batido se describen a continuación:

**Recepción:** A la leche fresca se le determinó la acidez titulable, sólidos totales, pH y densidad. Los valores encontrados estuvieron dentro de los rangos permitidos por la NTP 202.001.2010 (Indecopi, 2010) para elaboración de yogurt.

**Estandarización:** Se calentó la leche hasta 70 °C, luego se agregó la gelatina, CMC y pectina (0.25% suma total de los hidrocoloides correspondientes a las mezclas puras, binarias y terciarias), en las proporciones establecidas por

el diseño de mezclas; estos hidrocoloides se mezclaron previamente con azúcar, para dispersarlos y así evitar la formación de grumos al ser adicionados a la leche.

**Pasteurización:** Se elevó la temperatura de la leche hasta llegar a 85°C por 15 minutos, con la finalidad de eliminar la carga microbiana presente.

**Enfriamiento:** Después de la pasteurización, la leche fue enfriada hasta una temperatura de 40°C, para el crecimiento óptimo de microorganismos.

**Inoculación:** Se adicionó el cultivo comercial en una proporción del 2% v/v de la cantidad de leche inicial.

**Incubación:** Se realizó por un promedio de 5 horas, a una temperatura de 40±2°C en una incubadora hasta que se alcanzó un pH de 4.5.

**Enfriamiento:** Alcanzado el pH de 4.5, se detuvo el proceso de fermentación disminuyendo rápidamente la temperatura hasta 10±2 °C; en consideración a que los microorganismos involucrados no son capaces de crecer a esta temperatura.

**Batido:** Se procedió a agitar cuidadosamente para romper el coágulo o gel por un tiempo de 2 minutos en todos los tratamientos.

**Envasado:** Se realizó en depósitos de plástico PET de 1000 mL siguiendo los principios de higiene y sanidad para que el deterioro no afecte las características del yogurt.

**Almacenado:** Se almacenó en refrigeración a una temperatura de 4±1°C.

**Análisis sinéresis**

La sinéresis se determinó al tercer día de la elaboración de yogurt mediante el método mencionado por Säker (2011), utilizándose una muestra de 10 gramos en un tubo de centrifuga que se llevó a centrifugación a 5000 rpm durante 20 minutos. El peso del sobrenadante se empleó para calcular el porcentaje de sinéresis mediante la expresión siguiente:

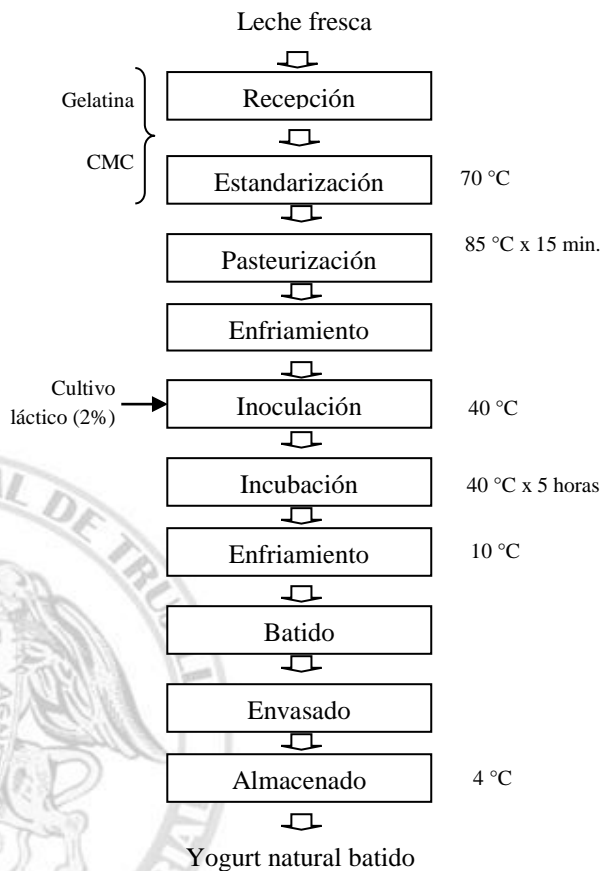
$$\text{Sinéresis} = \frac{\text{Peso del sobrenadante}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

**Análisis de textura sensorial**

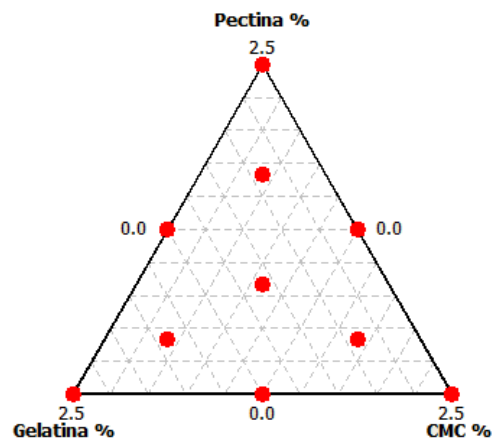
Se realizó a través de pruebas hedónicas, en la cual el juez catador expresó su reacción subjetiva ante el producto, indicando a través de una escala de calificación respecto a la textura su aceptación o rechazo (1 – 5 = me disgusta mucho, me disgusta ligeramente, no me gusta ni me disgusta, me gusta moderadamente y me gusta muchísimo) (Ureña *et al.*, 1999).

**Diseño y análisis estadístico**

Se utilizó el Diseño Simplex con Centroide Ampliado que corresponde a un diseño de mezclas de la metodología de superficie respuesta. El diseño corresponde a un triángulo que representa todo el universo de posibilidades de mezcla en proporción de hidrocoloides (Figura 2), para el caso del yogurt tipo batido (Rossi *et al.*, 2012).



**Figura 1.** Diagrama del proceso de elaboración del yogurt natural tipo batido (Säker, 2011).



**Figura 2.** Triángulo de las proporciones de mezclas.

El análisis estadístico realizado para evaluar sinéresis y textura sensorial, consistió en determinar los coeficientes de correlación para los modelos lineal, cuadrático y cubico respectivamente, y el análisis de varianza para cada uno de los modelos que sirvió para elegir el

modelo más significativo y con mejor ajuste en el cual se construyeron las superficies de respuesta correspondientes. Se utilizó el software estadístico Statistica versión 7.0 y para la optimización el software estadístico Minitab versión 16.0.

### 3. Resultados y discusión

#### Sinéresis y textura sensorial

Luego de haber realizado los 10 tratamientos se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1, donde se observa los valores para sinéresis y puntaje promedio de los jueces para el análisis de textura sensorial.

La Tabla 1, indica que el menor valor de sinéresis se obtuvo con el tratamiento T<sub>2</sub> (mezcla pura de CMC 0.25%), mientras que el mayor valor de sinéresis se obtuvo con el tratamiento T<sub>3</sub> (mezcla pura de pectina 0.25%).

En la Figura 3, se observa que aquellos yogures que contienen mezcla pura de CMC presentan menor formación de sinéresis, y esta aumenta considerablemente en las mezclas binarias, terciarias y puras para gelatina y pectina, siendo más notoria en esta última.

De acuerdo a la Tabla 1, el ensayo con mayor puntaje en cuanto a la textura fue el tratamiento T<sub>2</sub> con un promedio de 3.98, la misma que contenía la mezcla pura de CMC (0.25%). Mendoza *et al.* (2007), mencionan que el uso de CMC en productos lácteos, brinda buenos resultados contra la sinéresis y mejoran la textura, sin embargo, el uso de gelatina y pectina presentan deficiencias. Para el caso de la gelatina, solidifica a 25 °C, por lo que puede causar problemas durante la fase de refrigeración, además, confiere al coágulo una textura rugosa. Otro caso son las pectinas, cuya

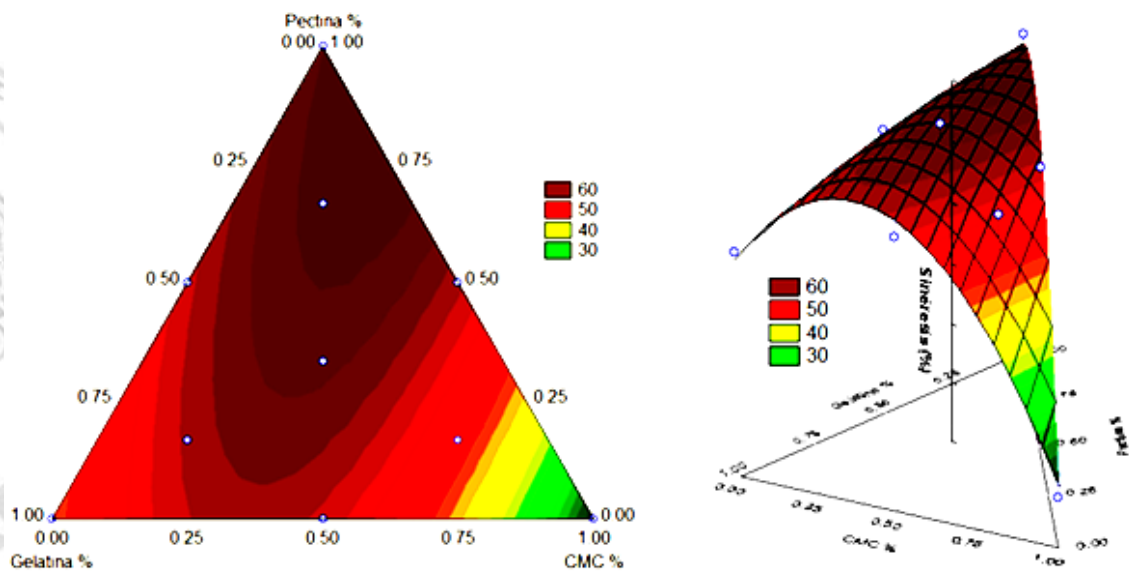
capacidad de gelificar está determinada por factores intrínsecos, como su peso molecular y su grado de esterificación, que a su vez depende de la materia prima y de las condiciones de su fabricación.

Lo mencionado se refleja en la Figura 4, donde se observa que existe mayor aceptación en cuanto a la textura sensorial a mayor contenido de CMC en la mezcla.

**Tabla 1.** Sinéresis y textura sensorial para yogurt natural batido

Tratamientos	Componentes			Respuestas	
	Gelatina %	CMC %	Pectina %	Sinéresis %	Textura sensorial
T <sub>1</sub>	0.250	0.000	0.000	47.36	3.12
T <sub>2</sub>	0.000	0.250	0.000	18.27	3.98
T <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.250	65.40	2.42
T <sub>4</sub>	0.125	0.125	0.000	54.72	1.75
T <sub>5</sub>	0.125	0.000	0.125	57.94	2.38
T <sub>6</sub>	0.000	0.125	0.125	56.47	3.60
T <sub>7</sub>	0.167	0.042	0.042	56.32	2.04
T <sub>8</sub>	0.042	0.167	0.042	56.72	2.30
T <sub>9</sub>	0.042	0.042	0.167	61.65	2.69
T <sub>10</sub>	0.083	0.083	0.083	65.03	2.01

La gelificación de los hidrocoloides se explica por la formación de una red tridimensional. Las uniones entre las macromoléculas son debidas esencialmente a interacciones electrostáticas o a enlaces hidrogeno. Como estos enlaces están bastantes espaciados, los geles tienen propiedades mecánicas destacables, mejoran la textura y reducen los efectos provocados por la sinéresis (Vera, 2011).



**Figura 3.** Superficie de respuesta para la sinéresis del yogurt natural batido.



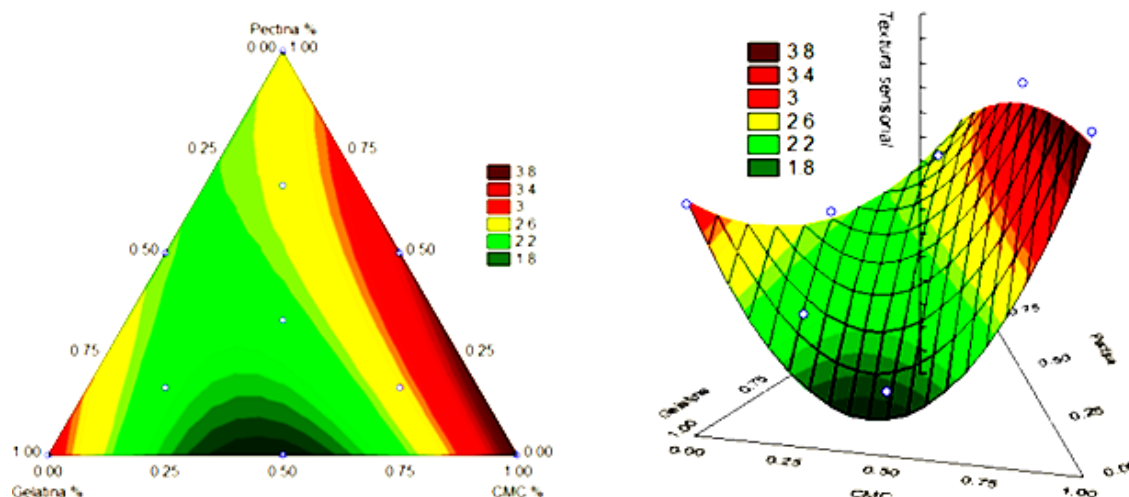


Figura 4. Superficie de respuesta para la textura sensorial del yogurt natural batido.

En la Tabla 2 se muestra el análisis de varianza para determinar el modelo adecuado para sinéresis y textura sensorial. Como se puede observar, el modelo cuadrático para la sinéresis desde el punto de vista de significancia es válido ( $p < 0.05$ ), además el  $R^2$  y el  $R^2$ -ajustado fueron de 0.951 y 0.889 respectivamente. Asimismo para la textura sensorial ( $p < 0.1$ ) el  $R^2$  y el  $R^2$  ajustado fueron de 0.932 y 0.848 respectivamente.

En la Tablas 3 y 4, se presentan los coeficientes significativos del modelo cuadrático (para sinéresis y textura) el cual se ajustó al comportamiento de las variables respuestas.

Se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Sinéresis} = 46.245 * G + 20.046 * CMC + 63.942 * P + 96.879 * G * CMC + 9.055 * G * P + 67.133 * CMC * P$$

$$\text{Textura} = 3.152 * G + 3.894 * CMC + 2.525 * P - 8.054 * G * CMC - 2.032 * G * P + 0.890 * CMC * P$$

Donde:

G: Gelatina.

CMC: Carboximetilcelulosa.

P: Pectina.

#### Optimización

Se realizó una superposición de superficies con la finalidad de ubicar la zona óptima con menor sinéresis y mayor promedio de textura sensorial. En la Figura 5, se muestra la superposición de superficie de respuesta para la optimización del yogurt natural batido.

Las combinaciones óptimas para tener menor valor de sinéresis de 24.29% y mayor calificación en textura sensorial de 3.7 (valor aproximado a 4 = calificación de “me gusta moderadamente”), se obtuvo con la mezcla óptima de 0.24%, 0.005% y 0.004% de CMC, gelatina y pectina respectivamente.

Tabla 2. Análisis de varianza para sinéresis y textura sensorial del yogurt natural batido, y significancia de los modelos lineal cuadrático y cúbico especial

Variable respuesta	Modelo	SC	GL	CM	SC error	GL error	CM error	F	p	$R^2$	$R^2$ ajustado
Sinéresis (%)	Lineal	881.193	2	440.597	784.490	7	112.070	3.931	0.072	0.529	0.394
	Cuadrático	702.420	3	234.140	82.070	4	20.518	11.412	0.020	0.951	0.889
	Cubico especial	12.526	1	12.526	69.544	3	23.181	0.540	0.516	0.958	0.875
	Total ajustado	1665.68	9	185.076							
Textura	Lineal	0.881	2	0.441	3.848	7	0.550	0.801	0.486	0.186	0.000
	Cuadrático	3.529	3	1.176	0.320	4	0.080	14.717	0.013	0.932	0.848
	Cubico especial	0.112	1	0.112	0.208	3	0.069	1.608	0.294	0.956	0.868
	Total ajustado	4.72949	9	0.5255							

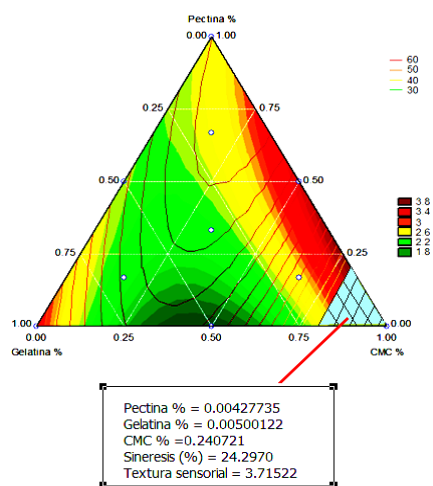
**Tabla 3.** Coeficientes de regresión para sinéresis en un modelo cuadrático ( $R^2 = 0.951$ ;  $R^2_{Ajust} = 0.889$ )

Factor	Coefficiente	Error	T	P	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Gelatina	46.246	4.369	10.586	0.000	34.117	58.375
(B)CMC	20.047	4.369	4.589	0.010	7.918	32.176
(C)Pectina	63.942	4.369	14.637	0.000	51.813	76.071
AB	96.880	20.134	4.812	0.009	40.979	152.780
AC	9.056	20.134	0.450	0.676	-46.845	64.957
BC	67.133	20.134	3.334	0.029	11.232	123.034

**Tabla 4.** Coeficientes de regresión para textura en un modelo cuadrático ( $R^2 = 0.951$ ;  $R^2_{Ajust} = 0.889$ )

Factor	Coefficiente	Error	T	P	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Gelatina	3.153	0.273	11.564	0.000	2.396	3.910
(B)CMC	3.895	0.273	14.284	0.000	3.138	4.652
(C)Pectina	2.526	0.273	9.263	0.001	1.769	3.283
AB	-8.055	1.257	-6.410	0.003	-11.544	-4.566
AC	-2.033	1.257	-1.618	0.181	-5.522	1.456
BC	0.891	1.257	0.709	0.518	-2.598	4.380

Para validar la investigación, los valores obtenidos mediante la optimización fueron comparados con valores reales, para lo cual se elaboró una muestra de yogurt natural con las proporciones óptimas de hidrocoloides, se realizó nuevamente el análisis de sinéresis y textura sensorial. Se obtuvo un valor de sinéresis de 24.3% y calificación de textura sensorial promedio de 4.2 (calificación de “me gusta moderadamente”).

**Figura 5.** Superposición de las superficies de respuesta para la optimización del yogurt natural batido.

Säker (2011) reporta un elevado valor de sinéresis en yogurt de 51.82% empleando 0.4% de gelatina y 5% de sacarosa. Por otro lado se reporta menores valores de sinéresis que los

obtenidos en la presente investigación (24.3%). Empleando 0.6% de almidón y estabilizante comercial 0.3% se logró a los 30 días valores de sinéresis de  $15.0 \pm 10.2\%$  y  $6.5 \pm 5.1\%$  (Mendoza *et al.*, 2007).

#### 4. Conclusiones

Se evaluaron las proporciones de carboximetilcelulosa (CMC), gelatina y pectina, obteniéndose un menor valor de sinéresis y mayor calificación en textura sensorial, mediante la combinación de valores óptimos de CMC de 0.24%, gelatina 0.005% y pectina 0.004%.

El modelo más adecuado para representar el comportamiento de cada variable respuesta fue el modelo cuadrático con valores de  $R^2$  iguales a 0.951 y 0.932 para sinéresis y textura sensorial respectivamente.

#### 5. Referencias Bibliográficas

- Alvarado, J.; Aguilera, J. 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Edit. Acribia. S.A. Zaragoza. España.
- Enríquez, D., Sánchez-Gonzales, J.; Santander, P. 2012. Efecto de la concentración de sólidos totales de la leche entera y tipo de cultivo comercial en las características reológicas del yogurt natural tipo batido. *Agroindustrial Science 2*: 173-180.
- Gordillo, C.; Guerrero, N.; Izáziga, N.; Laguna, B.; Lázaro, M.; Rojas, J. 2012. Efecto de la proporción de naranja (*Citrus sinensis*), papaya (*Carica papaya*) y piña (*Ananas comosus*) en la aceptabilidad sensorial de un néctar mixto. *Agroindustrial Science 2*: 132-138.
- Indecopi. 2010. Norma Técnica Peruana. NTP. 202.001:2010. Leche y productos lácteos. Leche cruda requisitos. Lima. Perú.
- Mendoza, R.; Trujillo, Y.; Duran, D. 2007. Evaluación del almidón de ñame espino (*Dioscorea rotundata*) como estabilizante en la elaboración de yogurt entero tipo batido. *BISTUA 5 (2)*: 97-115.
- Rojas, C.; Tripaldi, P.; Pérez, A.; Quinteros, P. 2012. Diseño experimental y métodos de decisión multicriterio para optimizar la composición del helado mantecado. *Scientia Agropecuaria (1)*: 51-60.
- Rossi, D.; Fuentes, R.; Pardo, F.; Reyes, D.; Tirado, R.; Urbina, E.; Vega, J. 2012. Efecto de la temperatura y sinergismo de sacarosa, sacarina y sugar light en la deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Agroindustrial Science (1)*: 100-109.
- Säker, W. 2011. Efecto del cultivo láctico y adición de gelatina y sacarosa sobre la sinéresis, viscosidad, sabor y consistencia en leche fermentada. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo. Perú.
- Siccha, A.; Lock de Ugaz, O. 1992. Hidrocoloides. *Revista Química. 6 (2)*: 171-180.
- Ureña, M., D'Arrigo, M.; Girón, O. 1999. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Agraria. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú.
- Vásquez, M. 2008. Viabilidad y propiedades fisicoquímicas de leche fermentada probiótica: tesis de maestría. Ciencia de alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas: Puebla. México.
- Vera, R. 2011. Efecto de la adición de caseinato de sodio y gelatina, sobre la viscosidad aparente, sinéresis y tiempo de fermentación en yogurt batido. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo. Perú.