



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

Effect of total solids concentration of whole milk and type of starter culture on the rheological characteristics of the type plain yogurt smoothie

Diana Enriquez Castillo, Jesús Sánchez-González, Publio Castro Santander

Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú.

Recibido 12 de setiembre 2012; Aprobado 13 de Noviembre 2012.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de cultivos iniciadores de yogurt a diferentes concentraciones de sólidos totales sobre la viscosidad del yogurt natural tipo batido. Se utilizaron dos tipos de cultivos Sacco y Vivolac a concentraciones de sólidos totales de 12 y 15 %. Se utilizó un análisis de varianza y posteriormente la prueba de intervalos múltiples de Duncan para determinar si existía diferencia significativa entre los tratamientos. Para evaluar la viscosidad se utilizó el viscosímetro rotacional Selecta ST-DIGIT-R con husillo lcp para bajas viscosidades a una temperatura de 4°C. Se determinó que todas las muestras se comportaban como un fluido plástico general por lo que siguieron el modelo matemático de Hershel-Bulkley y así se halló el índice de consistencia (K) y el índice reológico de comportamiento de flujo (n), se consideraron solo datos con escala de fondo mayor a 20%. El tratamiento que obtuvo un índice de consistencia (K) mayor fue el tratamiento 2 con Sacco a 15 % de sólidos totales (10.78 Pa.s), seguido del tratamiento 1 con Vivolac a 15% de sólidos totales (9.45 Pa.s), luego el tratamiento 3 con Sacco a 12% de sólidos totales (3.38 Pa.s) y finalmente el tratamiento 4 con Vivolac a 12 % de sólidos totales (1.55 Pa.s). El índice reológico de comportamiento de flujo (n) fue mayor en el tratamiento 4 con Vivolac a 12 % de sólidos totales (0.845), seguido del tratamiento 3 con Sacco a 12% de sólidos totales (0.777), luego el tratamiento 2 con Sacco a 15 % de sólidos totales (0.693) y finalmente el tratamiento 1 con Vivolac a 15% de sólidos totales (0.676). El análisis de varianza mostró que había diferencia significativa tanto para el esfuerzo cortante inicial (σ_0), índice de consistencia (K) y el índice reológico de comportamiento de flujo (n), así mismo la prueba de intervalos múltiples de Duncan dio como resultado que a altas concentraciones de sólidos totales no hay diferencia significativa entre el uso del cultivo Vivolac o Sacco sobre el índice de consistencia (K) tampoco sobre el índice reológico de comportamiento de flujo (n).

Palabras clave: yogurt natural, características reológicas, cultivo iniciador, sólidos totales.

ABSTRACT

The objective of this research was to assess the impact of starter of yogurt at different concentrations of total solids on the viscosity of natural yogurt beaten type. Two types of starter Sacco and Vivolac at concentrations of solid totals of 12 and 15 were used for this. Analysis of variance and subsequently the test of multiple intervals of Duncan to determine if there was difference significant between treatments was used. To evaluate the viscosity viscometer was used Selecta ST-DIGIT-R spindle for low viscosities lcp at a temperature of 4 ° C, all samples was determined behaved like a liquid plastic which generally followed the mathematical model of Hershel-Bulkley and thus found the consistency index (K) ratio and rheological flow behavior (n), we considered only full scale data with more than 20%. The treatment was a consistency index (K) than was treatment 2 with Sacco to 15% total solids (10.78 Pa.s), followed by treatment with Vivolac 1 to 15% total solids (9.45 Pa.s) 3 after treatment with Sacco to 12% total solids (3.38 Pa.s) and finally with Vivolac treatment 4 to 12% total solids (1.55 Pa.s). In the case of index rheological flow behavior (n) the higher he got Vivolac treatment 4 with 12% total solids (0845), followed by treatment with Sacco 3 to 12% total solids (0777), then Sacco treatment 2 with a 15% total solids (0693) and finally Vivolac treatment 1 to 15% total solids (0676). Analysis of variance showed that there was significant difference for both the consistency index (K) ratio and rheological flow behavior (n) Also, the multiple range test of Duncan resulted in a high solids concentrations no significant difference between the use of culture or Sacco Vivolac on the consistency index (K), and on the index rheological flow behavior (n).

Keywords: yogurt smoothie, rheological characteristics, total solids.

1. Introducción

El consumo de yogurt a nivel mundial aumenta cada día más, 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. 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 (Molina, 2009).

Las propiedades reológicas de yogurt son muy importantes en el diseño de procesos de flujo, control de calidad, procesamiento y almacenamiento, y la predicción de la textura del yogurt. De allí que las propiedades reológicas del yogurt durante la gelación han recibido mucha atención (Wu et al., 2009).

El yogurt presenta un comportamiento de flujo complejo, dependiendo del esfuerzo cortante y del tiempo, por lo que es de importancia estudiar la reología de este producto lácteo con respecto al proceso, manejo, desarrollo de productos y aspectos de control de calidad (Hernández, 2003).

En los últimos años se ha visto un crecimiento en la producción lechera así como en la producción de derivados tal como el yogurt, que del 2009 al 2010 mostró crecimiento del 13.4% (INEI, n.d.), este crecimiento refleja la necesidad de mejorar las tecnologías existentes en producción de yogurt y así poder optimizar los costos de producción y mejorar la calidad del producto final, para esto es de suma importancia conocer las características finales del producto tal como lo es la reología y sobre todo la influencia de los cultivos iniciadores comerciales utilizados en su producción. Los parámetros reológicos son necesarios para establecer la consistencia o textura del yogurt de

manera objetiva. Textura es un parámetro organoléptico, determinante en la aceptación por parte del consumidor, mientras que las propiedades de flujo son importantes para realizar la evaluación de diseño de equipo y de proceso, tal como sería el caso de la caída de presión y los requerimientos de bombeo tanto para agitación como para el transporte del fluido (Hernández, 2003).

Así el presente trabajo de investigación tiene su origen en la necesidad de conocer el efecto de los cultivos iniciadores comerciales que manejan los consumidores y productores de yogurt así como el porcentaje de sólidos totales presentes en la leche sobre las propiedades reológicas del yogurt natural tipo batido, por lo cual se planteó el siguiente problema ¿Cuál será el efecto de la concentración de sólidos totales de la leche entera en las características reológicas del yogurt natural tipo batido elaborado a partir de dos diferentes cultivos comerciales?

Los objetivos del presente trabajo de investigación son:

- Determinar el comportamiento reológico del yogurt natural tipo batido en función de las velocidades de corte.
- Caracterizar el comportamiento reológico del yogurt natural tipo batido para cada cultivo iniciador comercial.
- Comparar el comportamiento reológico de las muestras de yogurt natural tipo batido entre los dos cultivos iniciadores a dos diferentes concentraciones de sólidos totales.

2. Materiales y Métodos

Elaboración del yogurt natural tipo batido

Recepción: Se realizaron análisis físicoquímicos tales como determinación de acidez titulable, sólidos totales, pH y densidad, encontrándose los valores dentro de los rangos permitidos por la

NTP 202.001.2003 (Indecopi, 2003) para poder elaborar el yogurt.

Estandarización: Para incrementar los sólidos totales en la leche se estandarizó la cantidad de grasa y agregó leche descremada en polvo hasta alcanzar la concentración mínima 12% y máxima 15% de sólidos totales. La determinación de sólidos totales se realizó por el método directo de desecación en estufa.

Pasteurización: Se calentó la leche hasta llegar a 85°C por 15 minutos, para eliminar la mayor parte de la flora contenida en la leche.

Enfriamiento: Después de la pasteurización, la leche fue enfriada hasta una temperatura de 45 °C, para el crecimiento óptimo de microorganismos.

Inoculación: Se adicionó el cultivo iniciador comercial en una proporción del 2 % v/v de la cantidad de leche inicial que se utilizó

Fermentación: Se realizó por un promedio de 5 horas, a una temperatura de 43°C ± 2 °C en una incubadora hasta que se alcanzó una concentración de ácido láctico de 70 °Dornic.

Enfriamiento: Alcanzada la acidez deseada, se detuvo el proceso de fermentación disminuyendo rápidamente la temperatura hasta 15 ± 2 °C; 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 5 minutos para todos los tratamientos.

Envasado: Se realizó en depósitos de plástico de 250 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°C en condiciones adecuadas de higiene con el fin de aumentar su vida útil.

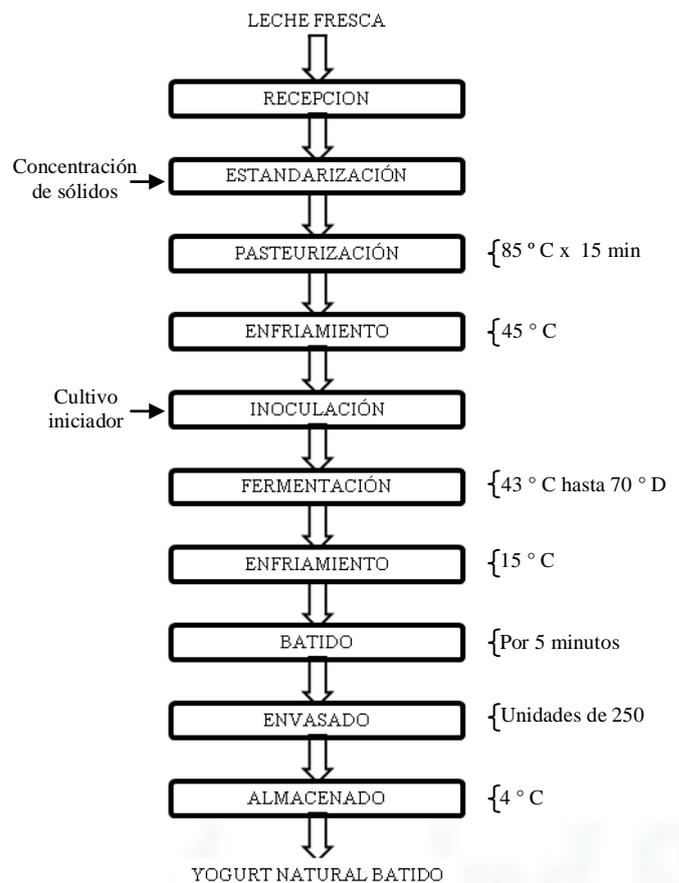


Figura 1. Diagrama del proceso de elaboración del yogurt natural tipo batido (Hernández, 2003).

Análisis Reológico

Se realizó empleando un viscosímetro rotacional SELECTA ST-DIGIT-R. Los datos tomados se realizaron a una temperatura ambiente, manteniéndose constante con la ayuda de un termostato (Rodríguez, 2010).

1. Determinación de la Viscosidad

Aparente: La determinación de la viscosidad aparente se realizó en forma directa, tomando las lecturas de viscosidad expresadas en mPa.s, a las velocidades de 5, 10, 20, 30, 50, 60, 100 y 200 rpm. Considerando solo los valores mayores al 30% de fondo de escala.

Determinación del comportamiento reológico: Para calcular la viscosidad se debe conocer la relación entre el par de torsión, Ω , y el esfuerzo cortante, τ , así como las revoluciones por segundo, N, y

la velocidad de cizallamiento, γ (Rodríguez, 2010).

El esfuerzo cortante se remplaza en la ecuación de Newton de la viscosidad.

$$\tau = \frac{F}{A} = -\mu \left(\frac{du}{dy} \right) \quad (1)$$

De esta ecuación se halla la velocidad de cizalla. Luego se calcula la tensión de fluencia τ_0 .

$$\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n \quad (2)$$

Obtenido según la tendencia de la curva observada en las gráficas. Con la ecuación de Casson se halla τ_0 .

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + K\sqrt{\gamma} \quad (3)$$

De donde se obtiene τ_0 al elevar al cuadrado el intercepto de la recta ajustada por regresión lineal.

Los valores del índice de consistencia “K” e índice reológico, se determina aplicando la ecuación linealizada de:

$$\tau - \tau_0 = K(\gamma)^n \quad (4)$$

Luego se logaritma la ecuación 4, se grafica y se halla “K” y “n”.

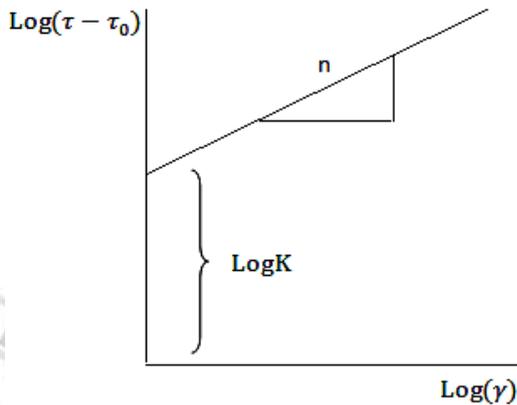


Figura 1. Determinación del índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento.

Diseño Estadístico

Se empleó un diseño factorial 2x2 con 2 factores obteniéndose 4 tratamientos y 2 repeticiones para eliminar el error experimental.

- Variable Independiente: Tipo de cultivo iniciador comercial y concentración de sólidos.

- Variable Dependiente: Comportamiento reológico.

Se realizó un análisis de varianza para ver si existe diferencia entre los tratamientos. Si el análisis arroja que existe diferencia entre los tratamientos, entonces se realiza una prueba de Duncan (Montgomery, 1991).

Prueba de intervalos múltiples de Duncan: Este procedimiento compara todas las parejas de medias. Esta prueba determina el error estándar de cada promedio, a continuación, se prueban las diferencias observadas, entre las medias, comenzando por el valor más alto contra el más pequeño, comparando esta diferencia con el intervalo mínimo significativo. Después se calcula la diferencia entre el valor más alto y el segundo más pequeño y se compara con el intervalo significativo mínimo. Este procedimiento continúa hasta que todas las medias han sido comparadas con la media más grande. A continuación, la diferencia entre la segunda media más grande y la más pequeña se calcula y compara contra el intervalo mínimo significativo. Este proceso continúa hasta que han sido consideradas las diferencias entre todos los posibles pares. Sí una diferencia observada es mayor que el intervalo mínimo significativo correspondiente, se concluye que la pareja de medias en cuestión es significativamente diferente. En los resultados de la prueba de Duncan podemos confirmar si existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio. Se utilizará un nivel de confianza de 95% (Montgomery, 1991).

3. Resultados y discusión

Análisis Reológico

Skriver et al. (1993), estudiaron las características reológicas de yogurt

batido, variando los contenidos de materia y temperatura de fermentación (32 a 43°C), las curvas de flujo se analizaron a un rango de velocidad de giro de 29-920s⁻¹ y un comportamiento plástico del yogurt, el cual fue descrito usando el modelo de Herschel-Bulkley y el modelo de Casson. Así mismo en este trabajo se observa que el comportamiento de los 4 tratamientos (Figura 3) obedece al de un fluido no newtoniano tipo plástico general, el reograma representa la relación entre la fuerza tangencial que hace fluir un material y la razón de corte. En los valores de la figura son considerando solo los valores mayores a 20% de fondo de escala. Según Shaker et al. (2000), en la caracterización reológica de yogurt han demostrado que el yogurt es un fluido que exhibe un comportamiento no Newtoniano de tipo plástico general con un esfuerzo de cedencia y que los modelos que mejor describen este comportamiento son el de Casson y el de Herschel-Bulkley.

En el modelo aplicado Herschel-Bulkley el factor más importante resultó ser σ_0 (esfuerzo cortante), indicándonos que es la energía necesaria para iniciar la deformación en el sistema, en la Figura 3 se puede observar que los tratamientos con mayor contenido de sólidos totales (15%) requieren mayor esfuerzo cortante que los que tienen menor contenido de sólidos (12%). Así mismo los que fueron elaborados con el cultivo iniciador SACCO presentan mayor esfuerzo cortante que los elaborados con el cultivo iniciador VIVOLAC.

Tabla 1. Valores índice de consistencia (k), el índice de comportamiento (n) y el esfuerzo cortante inicial (σ_0) para los cuatro tratamientos.

TRATAMIENTO	K (Pa.s)	n	σ_0 (Pa)
15 % VIVOLAC	9.44789	0.6763733	53.10788
15 % SACCO	10.78131	0.6932666	56.14147
12 % SACCO	3.3799849	0.7770666	13.57162
12 % VIVOLAC	1.5567207	0.8452333	8.03374

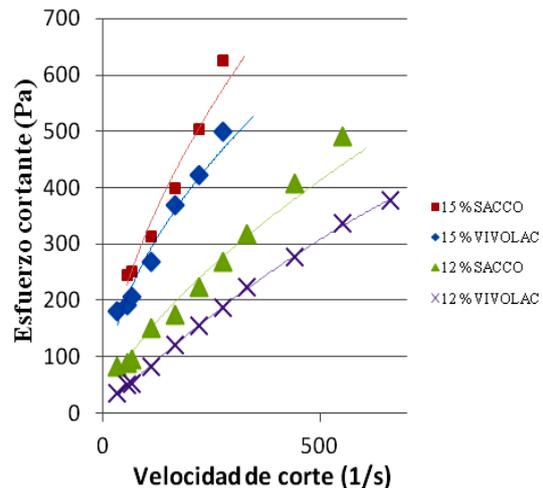


Figura 3. Reograma para los 4 tratamientos.

El valor de “n” denota el comportamiento newtoniano ya que si $n=1$ es un fluido newtoniano, si $n<1$ es un plástico general (González, 2009). Con respecto a las propiedades reológicas, la tabla 1 muestra que todos los tratamientos analizados presentan un índice de comportamiento, en donde $n<1$ por lo tanto son fluidos con un comportamiento no newtoniano de tipo plástico general.

Ramaswamy y Basak (1992) trabajaron en los efectos reológicos de pectina y frambuesa en la reología de yogurt batido y observaron que tanto el esfuerzo de corte como la velocidad de fluencia siguen el modelo de Herschel-Bulkley, notando que tanto el coeficiente de consistencia (K) como viscosidad aparente se incrementan cuando se incrementa la cantidad de concentrado, esto se relaciona con los resultados encontrados en la presente investigación donde se puede apreciar, que a mayor cantidad de sólidos totales mayor es el índice de consistencia (K).

En la Tabla 1 se puede apreciar que los 4 tratamientos tienen un índice de comportamiento comparable (n), es decir que todos son menores a 1 comportándose como fluidos del tipo plástico general y obedeciendo todos a la ecuación de Herschel-Bulkley, mientras que su índice de consistencia (K) es muy

diferente, esto se debe a la integridad del gel y a la composición de cada uno de los productos; los yogures que contiene más cantidad de sólidos totales y que han sido elaborados con el cultivo iniciador SACCO generan un yogurt mas viscoso y con un coeficiente de consistencia mayor.

Análisis Estadístico

En la Tabla 2 se aprecia los resultados del análisis de varianza para el esfuerzo cortante (σ_0) donde se observa que el $F > F_0$, por lo que existe diferencia entre los tratamientos, por lo tanto se realiza la prueba de Duncan para ver si existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza para el esfuerzo cortante inicial (σ_0).

<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F₀</i>
44.792	2.39738E-05	4.0662

Tabla 3. Resultados de la prueba de intervalos múltiples de Duncan para el esfuerzo cortante inicial (σ_0).

15% SACCO	56.141469	12% VIVOLAC	8.0337
15% SACCO	56.141469	12 % SACCO	13.5716
15% SACCO	56.141469	15% VIVOLAC	53.1079
15% VIVOLAC	53.107877	12% VIVOLAC	8.0337
15% VIVOLAC	53.107877	12 % SACCO	13.5716
12 % SACCO	13.571617	12% VIVOLAC	8.0337

Observamos que existe una diferencia significativa entre los tratamientos a diferentes porcentajes de sólidos totales. A la misma cantidad de sólidos totales no existe diferencia significativa entre el uso del cultivo Vivolac o Sacco sobre el esfuerzo cortante.

En la tabla 4 se aprecia los resultados del análisis de varianza para en índice de consistencia (K) donde se observa que el

$F > F_0$, por lo que existe diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se realizó una prueba de Duncan.

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para el índice de consistencia (K).

<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F₀</i>
61.3536	7.283E-06	4.0662

Al realizar la prueba de intervalos múltiples de Duncan también resulta que hay diferencia entre los promedios de los tratamientos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la prueba de intervalos múltiples de Duncan para el índice de consistencia (K).

5% SACCO	10.7813	12% VIVOLAC	1.5567
5% SACCO	10.7813	12 % SACCO	3.3799
5% SACCO	10.7813	15% VIVOLAC	9.4479
5% VIVOLAC	9.4479	12% VIVOLAC	1.5567
5% VIVOLAC	9.4479	12 % SACCO	3.3799
2 % SACCO	3.3799	12% VIVOLAC	1.5567

En la tabla 5 podemos ver que en los tratamientos 15% SACCO y 12% VIVOLAC existe diferencia significativa, al igual que 15% SACCO y 12% SACCO, 15% VIVOLAC y 12% VIVOLAC, 15% VIVOLAC y 12% SACCO y, 12% SACCO y 12% VIVOLAC. En los tratamientos 15 % SACCO Y 15 % VIVOLAC no existe una diferencia significativa teniendo iguales efectos sobre el índice de consistencia (K), por lo que se aprecia que a concentraciones altas de sólidos totales no hay diferencia significativa entre el uso del cultivo Vivolac o Sacco sobre “K” a diferencia de 12% de sólidos totales donde si se aprecia la diferencia en el uso de uno u otro cultivo iniciador.

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza para el índice de comportamiento (n).

F	Probabilidad	F0
31.6818	8.65791E-05	4.0662

En la tabla 6 se aprecia el resultado del análisis de varianza para en índice de comportamiento (n) donde se observa que el $F > F_0$, por lo que existe diferencia entre los tratamientos, por lo tanto se realiza la prueba de Duncan para ver si existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio.

Tabla 7. Resultados de la prueba de intervalos múltiples de Duncan para el índice de comportamiento (n).

12% VIVOLAC	0.6933	15% VIVOLAC	0.6764
12% VIVOLAC	0.6933	15 % SACCO	0.6933
12% VIVOLAC	0.6933	12 % SACCO	0.7771
12 % SACCO	0.6764	15% VIVOLAC	0.6764
12 % SACCO	0.6764	15% SACCO	0.6933
15% SACCO	0.7771	15% VIVOLAC	0.6764

En la tabla 7 podemos ver que en los tratamientos 12% VIVOLAC y 15% VIVOLAC existe diferencia significativa, al igual que 12% VIVOLAC y 15% SACCO, 12 % VIVOLAC Y 12 % SACCO, 12% SACCO y 15% VIVOLAC, 12% SACCO y 15% SACCO. En los tratamientos 15% SACCO y 15% VIVOLAC no existe una diferencia significativa teniendo iguales efectos sobre el índice de comportamiento (n). Observamos que a altas concentraciones de sólidos totales no existe diferencia significativa al usar el cultivo Vivolac o Sacco sobre “n”, lo que si se ve a bajas concentraciones de sólidos como es 12%.

4. Conclusiones

Se determinó que el yogurt natural tipo batido obtenido de los cuatro tratamientos presentó un comportamiento tipo plástico general presentando un valor de esfuerzo cortante inicial de $\sigma_0 = 56.141$ para el tratamiento 15 % de sólidos totales con el cultivo Sacco, $\sigma_0 = 53.108$ para 15 % de sólidos totales con el cultivo Vivolac, $\sigma_0 = 13.572$ para 12 % de sólidos totales con el cultivo Sacco y $\sigma_0 = 8.033744$ para 12 % de sólidos con el cultivo Vivolac.

Se caracterizó el comportamiento reológico del yogurt natural tipo batido para cada cultivo iniciador comercial, no teniendo diferencias significativas entre el uso del cultivo Vivolac o Sacco a altas concentraciones de sólidos totales (15%) en el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento (n).

Se caracterizó el comportamiento reológico del yogurt natural tipo batido para cada concentración de sólidos (12 y 15%), siendo la viscosidad del yogurt dependiente de la cantidad de sólidos presentes en la leche.

Referencias bibliográficas

- González, S. 2009. Diseño mecánico de un equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos. Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial. Cartagena. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial.
- Hernández, A. 2003. Microbiología Industrial. 1era Edición. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia EUNED. Costa Rica.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). n.d. Producción de yogurt. Disponible en: <http://www.inei.gob.pe/>. (Accesado 08/06/11).
- Molina, I. 2009. Comparación de tres estabilizantes comerciales utilizados en la elaboración de yogurt de leche descremada de vaca. Tesis para obtener el grado académico de Licenciada Zootecnista. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Escuela de Zootecnia.
- Montgomery, C. 1991. Diseño y Análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamericana. México.
- Rodríguez, M. 2010. Efecto de la proporción de sólidos lácteos en la consistencia y aceptabilidad general del yogurt. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de ciencias Agropecuarias.

Spreer, E. 2000. Lactología Industrial, leche, preparación y elaboración, máquinas, instalaciones y aparatos, productos lácteos. Editorial Acribia S.A. 3° Edición. Zaragoza.

Wu S., Li D., Li S, Bhandari B., Yang B., Chen X. y Mao Z. 2009. Effects of Incubation Temperature, Starter Culture Level and Total Solids Content on the Rheological Properties of Yogurt. International Journal of Food Engineering.

