

DETERMINACIONES OSCILATORIAS DE BAJA AMPLITUD DEL SUERO COSTEÑO

LOW AMPLITUDE OSCILLATORY DETERMINATIONS FOR SUERO COSTEÑO

Diofanor Acevedo ¹, Aida Rodríguez ², Alejandro Fernández³

¹Docente Universidad de Cartagena, Programa Ingeniería de Alimentos, Ingeniero de Alimentos, Doctor en Ingeniería de Alimentos, Cartagena Colombia. e-mail: diofanor3000@gmail.com ²Docente Universidad del Valle, Ingeniera Química, Doctor en Ingeniería de Alimentos e-mail: aidarodriguezs@gmail.com ³Docente Universidad del Valle, Ingeniero Agrícola, Doctor en Ciencia de los Alimentos e-mail: alejandro.fernandez@correounivalle.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 219 - 225, 2012

RESUMEN

El Suero Costeño es un producto lácteo tradicional fermentado, de la Costa Atlántica colombiana. Se estudiaron los efectos simultáneos del nivel de sólidos totales, la concentración del inóculo y la temperatura de fermentación sobre el módulo de almacenamiento (G') y la tangente de pérdida mínima, por medio de la metodología de superficie respuesta, con tres variables y cinco niveles. El tratamiento estadístico dio lugar a la generación de modelos matemáticos, con los cuales, se determinó que la sinéresis del Suero Costeño está relacionada con un valor bajo del módulo de almacenamiento G' y altos valores de la tangente de pérdida; de acuerdo a esto es posible disminuir la sinéresis aumentando el nivel de sólidos totales y controlando la temperatura de fermentación. Esta información es útil para mejorar el proceso de fabricación industrial del Suero Costeño.

Palabras clave: Suero Costeño, oscilación dinámica, módulo de pérdida, módulo de almacenamiento, tangente de pérdida mínima.

SUMMARY

The Suero Costeño is a traditional fermented milk product of the Colombian Atlantic Coast. The simultaneous effect of fermentation temperature, milk total solid level and total inoculum concentration on the value of storage module (G'), and tangent loss were studied by means of the response surface methodology with three variables and five levels. Statistical treatments resulted in developments of mathematical models. The models explain that the total

solids diminish significantly the minimum tangent loss and syneresis of the Suero Costeño. These models can be used to improve the quality of Suero Costeño.

Key words: Suero Costeño, dynamic oscillation, loss modulus, storage modulus, loss of minimum tangent.

INTRODUCCIÓN

El Suero Costeño es un producto típico de la Costa Norte colombiana, obtenido por la fermentación natural de la leche cruda, que conserva sus ingredientes nutritivos, haciéndolos disponibles a las personas, incluyendo a las intolerantes a la lactosa. Su fermentación produce un sistema de dos fases: una líquida y la otra sólida. La fase líquida es llamada lactosuero y la sólida, como Suero, con propiedades organolépticas deseables, similar a la crema agria, un poco ácida (Cueto & Garcés, 2007; Remeuf, 2003; Samona & Robinson, 1991; Acevedo *et al.* 2010).

El Suero Costeño que se produce industrialmente presenta menor consumo que el artesanal, debido a la diferencia detectada por los consumidores en el sabor y también a la presencia de sinéresis. Estos problemas de calidad se han tratado de resolver, mediante el aumento del tiempo de fermentación y la adición de espesantes, lo cual, aumenta los costos y hace más preceder el producto. Adicional a esto, la pasteurización hace posible una producción de calidad uniforme; no obstante, ocasiona modificaciones en el sabor, porque se eliminan las bacterias autóctonas responsables de las características organolépticas del producto; sin embargo, cuando se emplean inóculos aislados de productos artesa-

nales para fermentar leche pasteurizada, el sabor y la textura no son significativamente diferentes al obtenido con el proceso artesanal (Granados *et al.* 2010; Acevedo *et al.* 2010).

La sinéresis es el mayor defecto que afecta la calidad de los productos lácteos fermentados, ya que se observa líquido sobrenadante en la superficie, causando el rechazo por el consumidor. La susceptibilidad a la sinéresis está asociada al re-arreglo de la red del gel, después de la formación. La sinéresis de los geles es causada por: rápida acidificación, alta temperatura de incubación, excesivo tratamiento térmico, bajo contenido de sólidos y muy baja producción de ácidos (Lucey *et al.* 1998).

La fortificación con proteínas de lactosuero y la homogenización, se utilizan para reducir la sinéresis. Las proteínas del lactosuero, se asocian con las micelas de caseínas después del tratamiento térmico y actúan como material de unión (Aichinger & Servais, 2003; Castilla & Lobato, 2004; Kristo & Biladeris, 2003; Lucey, 1998; Torres, 2006; Caridi *et al.* 2003).

Como los geles son materiales visco-elásticos, las pruebas para evaluar las características de estos sistemas utilizan las propiedades reológicas dinámicas. Los fluidos visco-elásticos son aquellos que presentan, conjuntamente, propiedades de flujo viscoso y sólido elástico (Tarrega *et al.* 2004; Lucey, 2001).

En los ensayos reológicos dinámicos, se aplica, de forma oscilatoria, una pequeña deformación sobre un fluido y se mide la amplitud de la respuesta del esfuerzo cortante y del ángulo de fase entre el esfuerzo cortante y la deformación (Sodini *et al.* 2005; Lucey *et al.* 1998; Castillo *et al.* 2006).

En los geles obtenidos por coagulación enzimática, la susceptibilidad a la sinéresis está asociada con altos valores de la tangente de pérdida, lo cual, indica la tendencia de la red de proteína a re-arreglarse después de la formación del gel. Un bajo esfuerzo de fractura y alta tangente de pérdida a baja frecuencia indica una alta tendencia a presentar sinéresis (Britten & Giroux, 2001).

El objetivo fue determinar los efectos de las variables de procesos en el módulo elástico máximo y la tangente de pérdida mínima y la relación con la sinéresis en el suero costeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las condiciones de proceso estudiadas en esta investigación fueron: Nivel o concentración de sólidos totales, temperatura de fermentación del Suero Costeño y concentración del inóculo y las bacterias utilizadas fueron: *Lactococcus lactis* (ATCC29146) y *Lactobacillus paracasei* (ATCC 334).

La leche en polvo entera se disolvió en agua destilada junto con el suero parcialmente desmineralizado (SPD); se agitó para disolver bien la mezcla; luego, se calentó a 80°C por 20 minutos; después del tratamiento térmico, se inoculó la leche con los cultivos bacterianos establecidos; se incubó a la temperatura de fermentación seleccionada por 12 horas hasta alcanzar el pH de 4,6; luego de obtenido el coágulo, se realizó su ruptura y la separación del 20% del lactosuero en relación al volumen inicial de leche, haciendo pasar por un filtro; se adicionó 1,2% de sal del volumen inicial de leche y se realizó la homogenización, para conseguir una consistencia adecuada (Amatayakul & Sherkat, 2006). Cabe destacar que los frascos donde se preparó y se fermentó la leche, se esterilizaron a 121°C por 10 minutos.

Se realizaron los experimentos de acuerdo a un diseño central compuesto rotatable de segundo orden, con tres variables y cinco niveles para cada variable. Las variables independientes fueron: Nivel de sólidos totales, que depende de la adición del lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado, temperatura de fermentación y concentración del inóculo, que es función del volumen de inóculo por unidad de volumen de leche a fermentar. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR), para establecer los efectos simultáneos de las variables independientes sobre el módulo de almacenamiento máximo y la tangente de pérdida mínima y la relación con la sinéresis del Suero Costeño. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

Respecto al análisis estadístico de los datos, se realizó con el programa MINITAB 14, mediante pruebas de varianza (ANOVA), manteniendo un intervalo de confianza del 95%, para evaluar el efecto principal de cada factor, sólidos totales (ST), temperatura de fermentación (TF), concentración inóculos (CI) y el efecto de interacción entre los mismos sobre la respuesta. Todos los términos del modelo de superficie respuesta de segundo orden polinomial fueron ajustados para cada respuesta, basada en la Ecuación 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \quad \text{Ec. 1}$$

En la ecuación 1, β_0 es el intercepto; β_1, β_2 y β_3 son los efectos lineales para cada variable (ST, TF, CI); β_{11}, β_{22} y β_{33} son los efectos cuadráticos para esas mismas variables; β_{12}, β_{13} y β_{23} son las interacciones entre las tres variables; ε es el error aleatorio y, finalmente, X_1, X_2 y X_3 , se refieren a las variables independientes (ST, TF y CI), respectivamente. Para simplificar el modelo, solamente se incluyeron los coeficientes que tienen significancia estadística, es decir, $P \leq 0,05$.

Con respecto a los ensayos oscilatorios de baja amplitud, todas las determinaciones de flujo se realizaron en un reó-

metro CVO Bohlin de esfuerzo o deformación controlada, empleando geometría de cono 4/40 de 4°, 40mm de diámetro y una brecha o distancia entre la muestra y la punta medidora (Gap) de 150µm. Con estos parámetros, se tiene la ventaja que la deformación de la muestra sea constante, monitoreado por el software Bohlin Rheometer. Durante las determinaciones de flujo, se mantuvo una temperatura de 25°C. Las muestras, se colocaron en el plato inferior, llamado plato Peltier, posicionando el cono al Gap de 150µm; las mediciones se realizaron por duplicado para cada una de las condiciones de proceso de elaboración del Suero Costeño (Castillo *et al.* 2006).

Medida de la sinéresis: Después de dos días de almacenamiento refrigerado a 4°C, se agitó el suero costeño por 2 minutos, a 400 rpm, con un agitador magnético y, posteriormente, se centrifugaron a 5000g, a 20°C. La sinéresis, se calculó como la cantidad de líquido que se separa del gel, debido a la centrifugación con relación a la masa total del gel que fue centrifugada (Aichinger & Servais, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el diseño de experimentos y, en la tabla 2, se muestran los valores de los niveles más optimizados para los diferentes ensayos a realizar con las tres variables, de acuerdo a Acevedo *et al.* 2010 y al MINITAB 14. Con estos parámetros seleccionados, se ejecutaron combinaciones de las cepas de bacterias *Lactococcus lactis* subs. *lactis* (ATCC29146) y *Lactobacillus paracasei* subs. *paracasei* (ATCC 334), en las proporciones de 3:2 volumen/volumen (v/v), para cada una de las concentraciones estudiadas (Acevedo *et al.* 2010; Walstra, 1996).

La tabla 3 muestra la composición aproximada del lactosuero empleado en este estudio, que es proporcionado por los fabricantes del suero, parcialmente desmineralizado; de acuerdo a estos datos, el bajo contenido de minerales permite el crecimiento de las bacterias lácticas (Aichinger & Servais, 2003).

Tabla 1. Diseño experimental propuesto (metodología de superficie de respuesta).

Ensayos	Temperatura	Sólidos Totales (ST)	Concentración Inóculos (CI)
1	33,50	14,00	3,50
2	37,00	12,00	5,00
3	30,00	16,00	5,00
4	39,38	14,00	3,50
5	33,50	14,00	3,50
6	33,50	10,63	3,50
7	30,00	16,00	2,00
8	37,00	16,00	5,00
9	33,50	14,00	3,50
10	37,00	16,00	2,00
11	37,00	12,00	2,00
12	33,50	14,00	6,02
13	27,60	14,00	3,50
14	30,00	12,00	2,00
15	33,50	14,00	0,97
16	30,00	12,00	5,00

Tabla 2. Factores y niveles.

Factores	Niveles					
Sólidos totales (ST) (X_1)	ST	10,6	12,0	14,0	16,0	17,3
Temperatura de fermentación (TF) ($^{\circ}C$) (X_2)	TF	27,6	30,0	33,5	37,0	39,4
Concentración de inóculo (CI) (% v/v) (X_3)	CI	0,97	2,0	3,5	5,0	6,0

Tabla 3. Composición del Lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado (SPD)-

Componentes	Porcentaje (%p/p)
Ceniza	6,11
Grasa	0,10
Lactosa	86,78
Humedad	4,20
Proteína	2,86
Sal	1,56
Acidez titulable	0,08

Con respecto a las mediciones reológicas, el límite crítico de la zona lineal visco-elástica, para la amplitud del esfuerzo y la deformación fueron, respectivamente, 32 Pa y 0,051 a una frecuencia de 1Hz. Al utilizar un barrido de frecuencia entre 0,5 y 5 Hz y un esfuerzo de 20 Pa, se aseguró que todas las pruebas se realizaran en la región lineal visco-elástica.

En la tabla 4, se consignan los resultados obtenidos para cada uno de los factores estudiados en el Suero Costeño, con respecto a las variables G'_{max} y $Tan\delta_{min}$.

Las ecuaciones que describen los efectos simultáneos de ST y TF sobre G'_{max} y $Tan\delta_{min}$ en suero costeño, se presentan a continuación:

Tabla 4. Coeficientes de regresión del modelo polinomial de segundo orden para las variables de respuestas.

Factores	G'_{max} (Pa)	$Tan \delta_{min}$
C	-39665,6	2,03794
TF	754,3	0,08533
ST	3119,7***	-0,43136**
CI	421,0	0,04938
(TF) ²	-11,3	0,00014
(ST) ²	-67,0	0,01811*
(CI) ²	-61,6	-0,00003
T x ST	-0,5	-0,00497**
T x CI	1,8	-0,00528
ST x CI	-3,2	0,00850
R ²	0,920	0,89600

C=Constante, TF= Temp. de fermentación, ST=Sólidos totales; CI= Conc. de Inóculo; R²= Coeficiente de correlación * P ≤ 0,001 ; **P ≤ 0,010; ***P ≤ 0,050, G'_{max} = módulo de almacenamiento, $Tan \delta_{min}$ = tangente de pérdida mínima.

$$G'_{max} = 3119,7X_1 \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Tan}\delta_{min} = -0,43136X_1 + 0,01811 X_1^2 - 0,00497X_1X_2 \quad \text{Ec. 3}$$

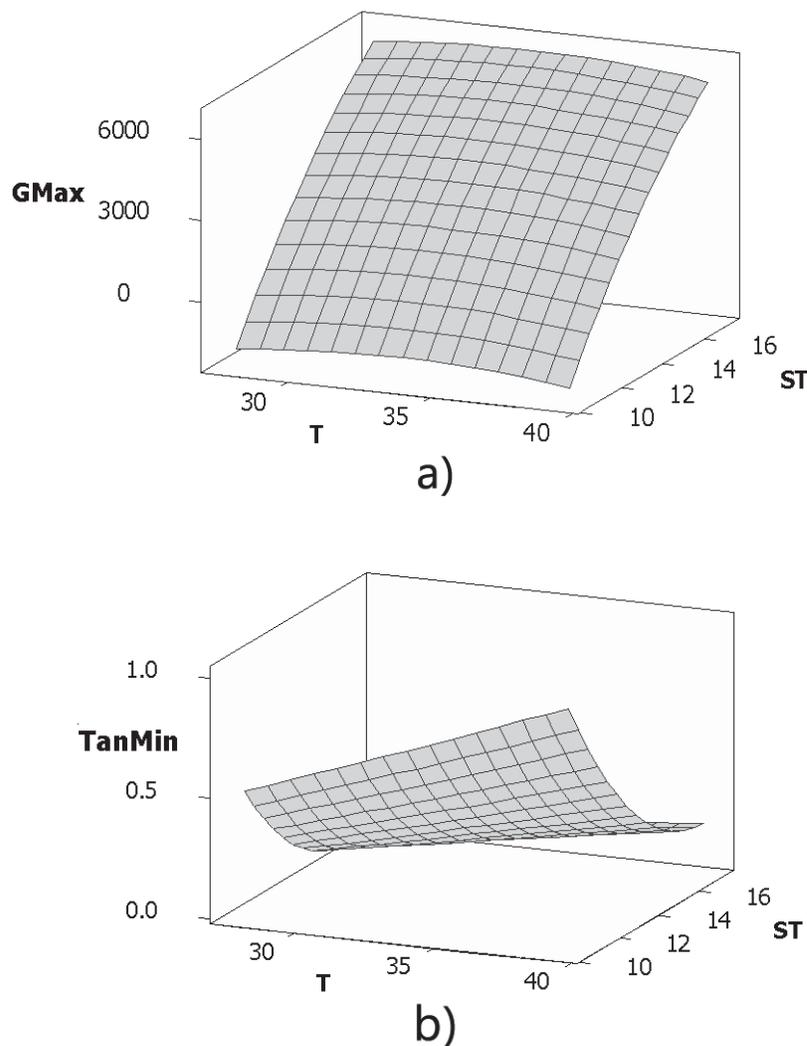
En el caso de las ecuaciones 4 y 5 son obtenidas según el modelo ajustado de la ecuación 2 y con ellas, se construyeron las gráficas de G'_{max} y $\text{Tan}\delta_{min}$ (Gráficas 1 y 2).

Los sólidos totales son el único factor que afectó los valores del G'_{max} , mientras la tangente de pérdida mínima es afectada por el término lineal y el cuadrático de los sólidos totales y la interacción de los sólidos totales con la temperatura (Tabla 4; Gráficas 1 y 2), por lo tanto, la temperatura de fermentación es una variable de proceso crítica. Para reducir la sinéresis en el suero costeño, se debe fermentar a temperaturas menores de 30°C, porque superiores incrementan drásticamente

la tangente mínima y a mayor tangente de pérdida aumenta la sinéresis; estos resultados están de acuerdo a los reportados para yogurt, por Lucey *et al.* 1998.

En la gráfica 1a, la cantidad de sólidos totales (ST) ejerce un efecto lineal positivo sobre G'_{max} , mientras que para la tangente de pérdida mínima tiene un efecto negativo, como se muestra en la gráfica 1b. Se puede evidenciar que G'_{max} aumenta y tangente de pérdida mínima disminuye por el aumento de los ST en el Suero Costeño, produciendo un coágulo más firme.

Se puede decir también que los sólidos totales (ST) tienen un fuerte efecto positivo en la firmeza del Suero Costeño; además, las bajas temperaturas de fermentación y altos sólidos



Gráfica 1. a) Superficie de respuesta de G'_{max} vs ST y vs T. b) Superficie respuesta Tangente Min vs ST y vs Temperatura.

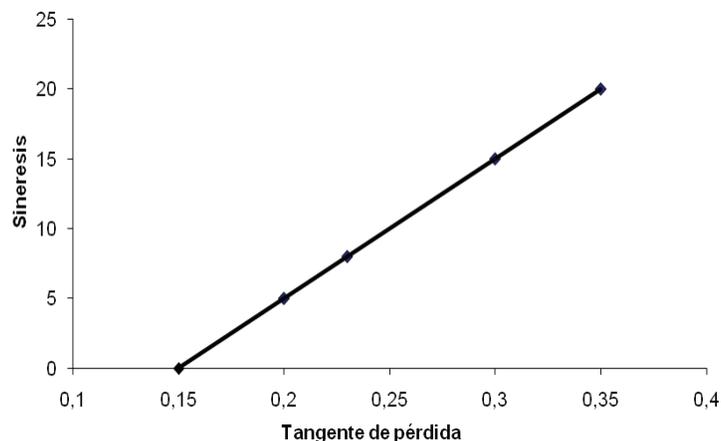
totales aumentan los valores de G' . A bajas temperaturas, el re-arreglo y fusión de las partículas es débil y se obtiene una red más continua y rígida. El aumento de los sólidos totales por la adición de lactosuero, parcialmente desmineralizado, incrementa la región visco-elástica lineal a mayor esfuerzo o deformación, esto puede ser por el entrecruzamiento o puente de las proteínas del lactosuero, lo que ocasiona el aumento del módulo de almacenamiento (Samona & Robinson, 1991).

La tendencia a presentar sinéresis está relacionada con un alto tangente de pérdida mínima, como se puede ver en la gráfica 2. Un incremento en la tangente de pérdida mínima indica que se estarían produciendo re-arreglos en la estructura (Puvanenthiran *et al.* 2001).

Como conclusión, se puede decir que los resultados presentados muestran que el incremento de los sólidos totales con lactosuero, parcialmente desmineralizado, aumenta el

módulo de almacenamiento máximo y disminuye la tangente de pérdida mínima y el incremento de la temperatura de fermentación aumenta la tangente de pérdida mínima y la sinéresis. La susceptibilidad del Suero Costeño, a presentar sinéresis, dependen de: altos valores de la tangente de pérdida y bajos valores del módulo elástico, porque favorecen el re-arreglo de la red de caseínas. Esta información es útil para disminuir la sinéresis en el suero costeño, realizando la fermentación a temperaturas por debajo de 30°C y adicionando lactosuero en polvo hasta 2% en el producto final.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por Fondo de Comunidades Negras Icetex, la Universidad del Valle, la Universidad de Cartagena, Codegán, otras entidades y personas que hicieron todo esto posible.



$$\text{Sinéresis} = 101,579779 \text{ Tan } \delta_{\min} - 14,3886256$$

$$R^2 = 0,9494$$

Gráfica 2. Relación entre la tangente de pérdida mínima y la sinéresis del Suero Costeño.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, D.; RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ, A. 2010. Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del suero costeño colombiano. *Información Tecnológica*. (Chile). 21(2):29-36.
2. AICHINGER, P.; SERVAIS, C. 2003. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. *Colloid Surface (Estados Unidos)*. 31:243-255.
3. AMATAYAKUL, T.; SHERKAT, F. 2006. Physical characteristics of set yoghurt made with altered

- with altered casein to whey protein ratios and EPS producing starter cultures at 9 and 14% total solids. *Food Hydrocoll.* (Estados Unidos). 20:314-324.
4. BRITTEN, M.; GIROUX, H. 2001. Acid-induced gelation of whey protein polymers: Effects of pH and calcium concentration during polymerization. *Food Hydrocoll.* 15: 609-617.
 5. CASTILLA, S.; LOBATO, C. 2004. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *Int. Dairy J.* (Estados Unidos). 12:151-159.
 6. CARIDI, P.; MICARI, P.; CAPARRA, P.; CUFARI, A. 2003. Ripening and seasonal changes in groups and in physicochemical properties of the ewes cheese Pecorino del poro. *Int. Dairy J.* (Estados Unidos). 13:191-200.
 7. CASTILLO, M.; LUCEY, J. 2006. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics Cottage cheese-type gels. *Int. Dairy J.* 16:153-163.
 8. CUETO, C.; GARCÉS, F. 2007. Preliminary studies on the microbiological characterization of lactic acid bacteria in Suerocosteño, a Colombian traditional fermented milk product. *Rev. Latam. Microbiol.* (Colombia). 49:11-17.
 9. GRANADOS, C.; GONZALO, G.; ACEVEDO, D. 2010. Tecnificación, caracterización fisicoquímica y microbiológica del queso de capa de Mompox, Colombia. *Rev. Bio. Agro.* (Colombia). 8:440-450.
 10. KRISTO, E.; BILIADERIS, C. 2003. Modelling of the acidification process and rheological properties of milk fermented with a yogurt starter culture using response surface methodology. *Food Chem.*(Estados Unidos). 83:437-446.
 11. LUCEY, J. 1998. A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or gluconodelta lactone. *Food Res. Int.* (Estados Unidos). 31:147-155.
 12. LUCEY, J. 2001. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Food Hydrocoll.* 15:603-608.
 13. LUCEY, J.; MUNRO, P. 1998. Microstructure, permeability and appearance of acid gels made from skim milk. *Food Hydrocoll.* 12(2):159-165.
 14. PUVANENTHIRAN, A.; WILLIAMS, R.; AUGUSTIN, M. 2001. Structure and viscoelastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *Int. Dairy J.* 12:383-391.
 15. REMEUF, F. 2003. Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yoghurt. *Int. Dairy J.* 13:773-782.
 16. SAMONA, A.; ROBINSON, R. 1991. Enumeration of bifidobacteria in dairy products. *J. Soc. Dairy Tech.* (Estados Unidos). 44:64-69.
 17. SODINI, I.; MONTELLA, J.; TONG, P. 2005. Physical properties of yogurt with various commercial whey protein concentrates. *J. Sci. Food Agriculture* (Estados Unidos). 85: 853-859.
 18. TARREGA, A.; DURAN, L.; COSTELL, E. 2004. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. *Int. Dairy J.* 18:345-353.
 19. TORRES, M. 2006. Characterization of the natural microflora of artisanal Mexican fresco cheese. *Food Control. J.* (Estados Unidos). 17:683-690.
 20. WALSTRA, M. 1996. Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties. *J. Biotech.* (Estados Unidos). 84:197-215.

Recibido: Octubre 23 de 2011

Aceptado: Abril 9 de 2012