

EFFECTOS SIMULTANEOS DE LAS VARIABLES DE PROCESO SOBRE LAS PROPIEDADES DE FLUJO DEL SUERO COSTEÑO

SIMULTANEOUS EFFECTS OF THE PROCESS VARIABLES ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SUERO COSTEÑO

EFEITOS SIMULTÂNEOS DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO SOBRE AS PROPRIEDADES DE FLUXO DE SORO COSTENHO

DIOFANOR ACEVEDO C.¹, AIDA RODRIGUEZ S.², ALEJANDRO FERNANDEZ Q.²

RESUMEN

El Suero costeño es un producto lácteo fermentado elaborado tradicionalmente en la Costa Caribe Colombiana. La sinéresis es un proceso de separación del Lactosuero de la cuajada simultáneamente con su encogimiento, es el mayor defecto de calidad de productos lácteos. El efecto simultáneo de temperatura de fermentación (TF, 27,7-39,4 °C), nivel de sólidos totales (ST, 10,6-17,3%, w/v) y concentración del inoculó (CI, 0,97-6,00 %v/v) sobre el índice de flujo, umbral de fluencia y coeficiente de consistencia del Suero Costeño, fue estudiado por medio de la metodología de superficie de respuesta con tres variables y cinco niveles. El tratamiento estadístico dio lugar a la generación de modelos matemáticos, estos explican que el nivel de sólidos totales es la única variable que afecta significativamente el coeficiente de consistencia, índice de flujo y umbral de fluencia. El nivel de sólidos totales es la única variable que afectó significativamente las propiedades reológicas del Suero Costeño, y la adición de lactosuero parcialmente desmineralizado aumentó el esfuerzo de fluencia y el coeficiente de flujo, disminuyendo el índice de flujo. El aumento de sólidos totales por adición de proteínas del lactosuero es una manera adecuada para mejorar la consistencia, sabor y untabilidad del Suero Costeño.

Recibido para evaluación: 03-02-2012. **Aprobado para publicación:** 20-07-2013.

- 1 Doctor en Ingeniería de Alimentos. Docente Programa de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Cartagena.
- 2 Doctores en Ingeniería de Alimentos. Docentes Escuela Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle.

Correspondencia: diofanor3000@gmail.com

ABSTRACT

The suero costeño is a fermented dairy product traditionally made in the Colombian Caribbean Coast. The syneresis is a separation process whey from the curd simultaneously with shrinkage, is the biggest flaw of quality dairy products. The simultaneous effect of fermentation temperature (TF, from 27,7 to 39,4 °C), total solids level (ST, 10,6 to 17,3%, w/v) and concentration of the inoculated (CI, 0,97-6,00% v/v) on the flow rate, yield stress and consistency coefficient Coastal Serum was studied by the response surface methodology with three variables and five levels. Statistical treatment resulted in the generation of mathematical models, they explain that the total solids level is the only variable that significantly affects the consistency coefficient, flow rate and fluence threshold. Total solids level is the only variable that significantly affect the rheological properties of Suero Costeño, and the addition of partially demineralized whey increased yield stress and flow coefficient, decreasing the flow rate. Total solids increased by addition of whey proteins are an appropriate way to improve the consistency, taste and spreadability Suero Costeño .

RESUMO

O Suero costeño é um produto lácteo fermentado tradicionalmente feito na costa do Caribe colombiano. A sinérese é um processo de separação do soro de leite a partir da coalhada em simultâneo com o encolhimento, é o maior defeito de qualidade de produtos lácteos. O efeito simultâneo da temperatura de fermentação (TF, 27,7-39,4 ° C), o nível de sólidos totais (ST, 10,6-17,3%, w / v) e concentração do inoculado (CI, 0,97 -6,00% v / v) sobre a taxa de fluxo, a produção de estresse e consistência coeficiente costeira Serum foi estudada por metodologia de superfície de resposta com três variáveis e cinco níveis. O tratamento estatístico resultou na geração de modelos matemáticos, eles explicam que o nível total de sólidos é a única variável que afecta significativamente o coeficiente de consistência, caudal e limite de fluência. Nível de sólidos total é a única variável que afectam significativamente as propriedades reológicas do costeña soro de leite, e a adição de soro de leite parcialmente desmineralizado aumentou o limite de elasticidade e o coeficiente de fluxo, diminuindo a taxa de fluxo. Sólidos totais aumentaram adição de proteínas de soro de leite é uma forma adequada para melhorar a consistência, sabor e espalhabilidade Suero Costeño .

INTRODUCCION

El Suero costeño es un producto lácteo fermentado elaborado tradicionalmente en la Costa Caribe Colombiana, el cual es producido por la acidificación espontánea de la leche cruda, debido a la acción de los microorganismos autóctonos. Se diferencia de las leches fermentadas porque hay ruptura del gel, desuerado y adición de sal (NaCl). El producto final es similar a la crema agria, un poco ácido generalmente es usado como aderezo. La fermentación produce un sistema de dos fases una líquida y otra sólida;

PALABRAS CLAVE:

Índice de flujo, Umbral de fluencia, Coeficiente de consistencia, Superficie de respuesta, Lactosuero parcialmente desmineralizado.

KEYWORDS:

Flow rate, Threshold fluence, Consistency coefficient, Response surface, Partially demineralized whey.

PALAVRAS-CHAVE:

Taxa de fluxo, Fluência limiar, Coeficiente de consistência, Superfície de resposta, Soro de leite parcialmente desmineralizado.

donde la parte líquida es llamada Lactosuero y la otra es conocida como suero con propiedades organoléptica deseable [1,2].

La sinéresis es un proceso de separación del Lactosuero de la cuajada simultáneamente con su encogimiento, es el mayor defecto que afecta la calidad de los productos lácteos, se observa líquido en la superficie del producto causando el rechazo por el consumidor. La aceptación de los productos lácteos fermentados por los consumidores depende de la acidez, aroma y la percepción de las propiedades de textura. Diferentes factores afectan las propiedades reológicas de los productos lácteos tales como la temperatura de incubación, el tipo de cultivo iniciador, los componentes de la leche y el tratamiento térmico [3].

La demanda creciente de los consumidores hacia productos más naturales que contengan menos o ningún aditivo o estabilizantes ha motivado la investigación del uso de componentes de la misma leche o el control de las variables de proceso para mejorar los productos lácteos y evitar problemas como la sinéresis, textura excesivamente blanda y poco tiempo de conservación [4].

La leche en polvo descremada, o proteínas concentradas del Lactosuero (WPC-Whey Protein Concentrate) son ampliamente utilizadas para la estandarización del yogurt, esto mejora el cuerpo y reduce la sinéresis. El contenido de sólidos totales de la leche tiene efectos sobre la firmeza y la viscosidad [5].

En Colombia la producción industrial de Suero costeño tiene un bajo consumo, porque presenta defectos de calidad tales como: textura granulosa, sinéresis y consistencia variable.

En este trabajo se evaluaron los efectos simultáneos del nivel de sólidos totales, temperatura de fermentación y concentración del inóculo sobre índice de flujo, umbral de fluencia, coeficiente de consistencia del Suero Costeño.

MÉTODO

Se realizaron veinte 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 (ST) que depende de la adición del lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado, temperatura de fermentación (TF), y concentración del inóculo (CI) 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: índice de flujo, umbral de fluencia, coeficiente de consistencia del "Suero Costeño". Los ensayos se realizaron por triplicado. El 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 y el efecto de interacción entre los mismos sobre la respuesta. Todos los términos del modelo de superficie de respuesta de segundo orden polinomial, fueron llenados para cada respuesta basada en la Ecuación 1.

Y = $b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + e$ Ec.1.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + e$$

Aquí, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{23}$ representan los coeficientes de regresión, con β_0 como intercepto, β_1, β_2 y β_3 son los efectos lineales, β_{11}, β_{22} y β_{33} son los efectos cuadráticos, β_{12}, β_{13} y β_{23} son las interacciones y ε es el error aleatorio, X_1, X_2 y X_3 son las variables independientes (ST, TF y CI) respectivamente. Para simplificar el modelo, solamente se incluyeron los coeficientes que tienen significancia estadística, es decir $P \leq 0,05$.

El Cuadro 1 muestra los datos escogidos para el estudio.

En el Cuadro 2 se muestran los valores más optimizados para los diferentes ensayos a realizar con las tres variables

Con estos parámetros seleccionados, se realizaron combinaciones de las Cepas *Lactococcus lactis* Subs. *Lactis* (ATCC29146), *Lactobacillus Paracasei* Subs. *paracasei* (ATCC 334), en las proporciones: 3,2 (v/v) para cada nivel.

Preparación del suero costeño a diferentes condiciones de proceso

Las condiciones de proceso estudiadas en esta investigación fueron: Nivel de sólidos totales, temperatura de fermentación del Suero Costeño y concentración del inóculo. Los frascos donde se preparó la leche y se fermentó se esterilizaron a 121 °C por 10 minutos. La leche en polvo se disuelve en agua destilada junto con el suero parcialmente desmineralizado (SPD), hasta alcanzar los sólidos de la experimentación, se agito para

Cuadro 1. Diseño experimental propuesto

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

Cuadro 2. Factores y Niveles

Factores	Sólidos totales (X ₁)	Temperatura de fermentación en °C (X ₂)	Concentración de inóculo en % v/v (X ₃)
	ST	TF	CI
Niveles	10,6	27,6	0,97
	12,0	30,0	2,0
	14,0	33,5	3,5
	16,0	37,0	5,0
	17,3	39,4	6,0

disolver bien la mezcla, luego se calentó a 80 °C por 20 minutos, después del tratamiento térmico, se inoculó con las concentraciones establecidas, 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 adiciono 1,2 % de sal del volumen inicial de leche y se realizó la homogenización para conseguir una consistencia adecuada [5]. El lactosuero preparado anteriormente posee la composición descrita en el Cuadro 3.

Determinaciones reológicas de flujo

Los geles fueron sometidos en un reómetro marca bohlin VOR a un ciclo de deformación, con un tramo ascendente de 0,0716 a 100S⁻¹ en 60 segundos y uno descendente los datos de las curvas fueron ajustados por medio del software Bohlin Rheometer a los modelos de Herschel-Bulkley y Casson, obteniendo los valores de los parámetros reológicos: índice de flujo, umbral de fluencia, coeficiente de consistencia [6].

RESULTADOS

Para evaluar los parámetros de las variables del suero costeño, se analizaron los datos del Cuadro 4 donde se observan altos coeficientes de regresión.

A través de un diseño de segundo orden se obtuvo un modelo polinomial cuadrático que indica la relación entre las variables temperatura de fermentación, concentración de sólidos y concentración de inóculo sobre el coeficiente de consistencia, el índice de comportamiento de flujo y el umbral de fluencia. Los coeficientes de regresión del modelo se reportan en el Cuadro 4.

Al efectuar los cálculos para ajustar el modelo según los coeficientes de correlación establecidos, se obtienen los modelos ajustados reportados en el Cuadro 5. Estos modelos indican que la única variable que ejerce una influencia sobre el comportamiento reológico del Suero costeño es el contenido de sólidos totales. La presencia de las proteínas del lactosuero parcialmente desmineralizado determina una mayor interacción y la formación de una estructura tridimensional más densa y con mayor cuerpo, debido a que los grupos tioles de las proteínas del lactosuero formen enlaces disulfuro

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

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

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

Factores	Umbral de fluencia	Consistencia (K)	Índice de flujo (n)
C	78,808**	89,7976	3,5563**
TF	-0,8868	-1,8964	-0,0402
ST	-10,075*	-0,4028***	-0,2532**
CI	-0,7497	-1,0690	-0,0890
(TF) ²	0,0172	-0,0286	0,00064
(ST) ²	0,4294*	0,3967*	0,00624**
(CI) ²	0,0902	0,1557	0,00270
TxST	-0,0132	-0,0010	-0,00003
TxCI	-0,0176	-0,0014	-0,00062
STxCI	0,0477	0,0022	-0,00609
R ²	0,967	0,859	0,926

C=Constante; TF= Temperatura de fermentación; ST=Sólidos totales; CI= Concentración de Inóculo; R²= Coeficiente de correlación; *P ≤0,001; **P ≤0,010; ***P ≤0,050

Cuadro 5. Modelo ajustado para Índice de flujo, Umbral de Fluencia y Consistencia

Respuesta	Modelo ajustado
Umbral de Fluencia	78,808-10,0750X1 + 0,4294X12
Consistencia	-0,4028X1 + 0,3967X12
Índice de flujo	3,5563-0,2532X1 + 0,00624X12

fuertes con la caseína en consecuencia los esfuerzos de cizalla aumentan considerablemente [7].

Las gráficas representadas por las ecuaciones correspondientes al Cuadro 5 se relacionan a continuación

De las tres gráficas de superficie de respuestas se puede determinar que el aumento en el contenido de sólidos totales incrementa el coeficiente de consistencia y el umbral de fluencia mientras disminuye el índice de comportamiento de flujo, también se puede decir que con el tiempo de almacenamiento el índice de flujo aumentó, mientras el umbral de fluencia y el coeficiente de consistencia disminuyeron, esto puede ser debido a que durante el tratamiento térmico las proteínas del suero parcialmente desmineralizado por su capacidad de retención de agua, la formación de

Figura 1. Superficie de respuesta para Índice de flujo en función de Temperatura y Sólidos totales

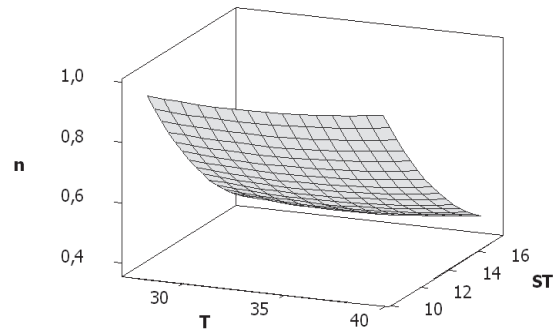


Figura 2. Superficie de respuesta para Umbral de fluencia en función de Temperatura y Sólidos totales

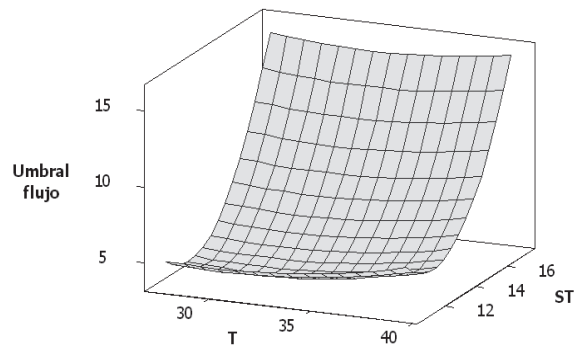
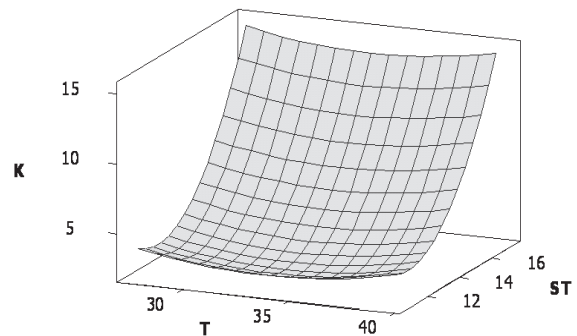


Figura 3. Superficie de respuesta para el coeficiente de consistencia en función de la temperatura y sólidos totales



enlaces disulfuro con la caseínas hacen la estructura más compacta [8].

CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación concluye que el nivel de sólidos totales es la única variable que afecta significativamente las propiedades reológicas del Suero Costeño; la adición de lactosuero parcialmente desmineralizado, aumenta el esfuerzo de fluencia y el coeficiente de flujo y disminuye el índice de flujo. El aumento de los sólidos totales por adición de proteínas del lactosuero es una manera adecuada para mejorar la consistencia, sabor y untabilidad.

REFERENCIAS

- [1] ACEVEDO, D., RODRÍGUEZ, A. and FERNÁNDEZ, A. Determinaciones oscilatorias de baja amplitud del suero costeño. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 15 (1), 2012, p. 219-225.
- [2] GRANDOS, C., ACEVEDO, D. and TORRES, R. Calidad de la leche y del suero costeño de los municipios Turbaco, Arjona y Carmen de Bolívar-Colombia. *Rev. Lasallista Investigación.*, 9 (2), 2012, p. 132-137.
- [3] SIMANCA, M.M., ANDRADE, R.D. y ARTEAGA, M.R. Efecto del Salvado de Trigo en las Propiedades Físicoquímicas y Sensoriales del Yogurt de Leche de Búfala. *Información Tecnológica*, 24 (1), 2013, p. 79-86.
- [4] LUCEY, J. and MUNRO, P. Microstructure, permeability and appearance of acid gels made from skim milk. *Food Hydrocolloids*, 12 (2), 1998, p. 159-165.
- [5] AMATAYAKUL, T. and SHERKAT, F. 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 Hydrocolloids*, 20 (2-3), 2006, p. 314-324.
- [6] COLOMBIA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS. *Inventario y desarrollo de la tecnología de productos lácteos campesinos en Colombia*. Bogotá (Colombia): 2000.
- [7] PUVANENTHIRAN, A., WILLIAMS, R. and AUGUSTIN, M. Structure and viscoelastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, 12 (4), 2001, p. 383-391.
- [8] ACEVEDO, D., RODRIGUEZ, A. and FERNÁNDEZ, A. Efecto de las Variables de Proceso sobre la Cinética de Acidificación, la Viabilidad y la Sinéresis del Suero Costeño Colombiano. *Información Tecnológica*, 21 (2), 2010, p. 29-36.