

# DETERMINACIONES DE FLUJO DEL SUERO COSTEÑO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SOLIDOS TOTALES

## SUERO COSTEÑO FLOW DETERMINATIONS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF TOTAL SOLIDS

## DETERMINAÇÃO DE FLUJO DO SORO COSTENHO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO SOLIDOS TOTAIS

DIOFANOR ACEVEDO<sup>1</sup>, AIDA RODRIGUEZ<sup>2</sup>, ALEJANDRO FERNANDEZ<sup>2</sup>

### RESUMEN

*El objetivo de este estudio fue determinar los efectos del incremento de los sólidos totales con lactosuero parcialmente desmineralizado en las determinaciones de flujo del Suero costeño. Los resultados muestran que el flujo fue de naturaleza no-newtoniana, las curvas se ajustaron mejor al modelo de Herschel-Bulkley, previamente evaluado por la ecuación de Casson. El aumento de los sólidos totales disminuye el índice de flujo ( $n$ ), aumenta el umbral de fluencia ( $\sigma_0$ ) y el coeficiente de consistencia ( $K$ ), presentando un adelgazamiento por corte o cizalladura.*

---

**Recibido para evaluación:** 22/02/2011. **Aprobado para publicación:** 25/10/2011

1 Doctor en Ingeniería de Alimentos, Docente Universidad de Cartagena, Programa de Ingeniería de Alimentos

2 Doctores en Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Escuela Ingeniería de Alimentos

**Correspondencia:** diofanor3000@gmail.com

## ABSTRACT

*The main objective in this study was to determine the effects of increment in total solids concentration with partially dematerialized whey for the flow determinations in Suero Costeño. The results shown that the increase in total solids concentration affects the rheological properties, like consistency coefficient ( $K$ ) and an increment of the values of yield stress ( $\sigma_0$ ), while the flow index ( $n$ ) values slightly decreased, showing a leverage in shear-thinning behavior.*

## RESUMO

*O objetivo deste estudo foi determinar os efeitos do aumento de sólidos totais com soro parcialmente desmineralizado na determinação do fluxo de soro costenho. Os resultados mostram que o fluxo era de curvas não-newtoniano montado um modelo de Herschel-Bulkley, previamente avaliada pela equação de Casson. O aumento do teor de sólidos diminui a taxa de fluxo ( $n$ ) aumenta a tensão de escoamento ( $\sigma_0$ ) e o coeficiente de consistência ( $K$ ), indicando uma tesoura de desgaste ou de corte.*

## INTRODUCCION

Los mayores defectos que presentan los productos lácteos gelificados son la baja firmeza y los altos niveles de sinéresis o separación del lactosuero en la superficie. El enriquecimiento de la leche líquida con ingredientes lácteos en polvo, tiene como función reducir la sinéresis y aumentar los sólidos totales y la firmeza en el yogurt [1].

En general los ingredientes lácteos en polvo se pueden dividir en dos grupos: los basados en caseínas (caseinato de sodio o calcio) y los de proteínas de lactosuero (aislados o concentrados). Su adición no solo incrementa los sólidos totales, sino que cambia la relación caseína:proteínas del lactosuero, lo que tiene un significativo efecto sobre las propiedades fisicoquímicas [2]. La reducción en la relación caseína:proteínas del lactosuero reduce la sinéresis, aumenta la fuerza del gel y la densidad de la matriz de proteína así mismo se comprobó se estableció que las proteínas del lactosuero asociadas con las micelas de caseínas actúan como material de unión por interacción con otras proteínas del lactosuero desnaturalizadas asociadas con caseínas [3].

En el caso de los yogurts a los cuales se adicionan concentrados de proteínas de lactosuero presentan mejores propiedades de flujo (fluido más homogéneo sin terrones), menor sinéresis, menor viscosidad y una textura de gel blanda que los preparados con leche en polvo descremada [4].

## PALABRAS CLAVES:

Gelificación, Reología, Ecuación de Herschel Bulkley

## KEYWORDS:

Gelation, rheology, Herschel Bulkley equation.

## PALABRAS-CHAVE:

gelificação, Reologia, Ecuación do soro Herschel Bulkley

Las proteínas de lactosuero en polvo se deben calentar junto con la leche. Esto causa que se desnaturalice la caseína y se expongan los grupos tioles (-SH) que estaban ocultos, estos junto a los grupos tioles de las proteínas del lactosuero forman enlaces disulfuro fuertes que le confieren propiedades de textura agradables al consumidor, posibilitando la liberación de péptidos bioactivos, aumentando así la capacidad de retención de agua [5]. Precisamente es por ello que se realizó un estudio de reología, ya que esta técnica tiene muchas aplicaciones en el ámbito de procesamiento, manipulación y la aceptabilidad de los alimentos.

En las industrias de alimentos se trabaja frecuentemente con productos que se encuentran en fase líquida, semiviscosa, viscosa, por lo tanto es importante conocer en todo momento las características reológicas de los productos que intervienen en los procesos industriales, con el fin de mejorar la aceptación y optimizar estos procesos evitando así gastos innecesarios, debido principalmente al sobredimensionamiento de los equipos (bombas, conducciones, evaporadores). Es por ello imprescindible definir el o los modelos reológicos que recojan lo más fielmente posible las características de flujo de los alimentos que se procesan en la industria. Estos modelos reológicos se basan en el cálculo experimental de una serie de constantes que caracterizan el flujo para cada alimento.

En la Costa Atlántica Colombiana (y en gran mayoría de los municipios de los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba y Cesar) se produce y consume tradicionalmente un producto lácteo fermentado llamado Suero costeño, elaborado mediante la acidificación natural de la leche cruda con suero ácido (lactosuero) debido a la acción de los microorganismos autóctonos. Se diferencia de la leche fermentada porque hay ruptura del gel que se forma, desuerado y además se debe adicionar cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones del 1 al 3% en peso. De acuerdo a esto el proceso de elaboración es parecido al usado en la producción de queso artesanal. [6]. El suero costeño presenta consistencia viscosa, debido a la concentración de sólidos totales (principalmente proteínas y grasa). Como consecuencia de la coagulación, es usado como aderezo. Su fermentación produce dos fases una líquida y otra sólida; la parte líquida es llamada "lactosuero" y la sólida es conocida como "Suero". Tiene contenidos promedio de sólidos totales de 32.01 % y un contenido

de materia grasa promedio de 9.3% con una variación muy grande, encontrándose datos reportados entre 2.7 - 28% de materia grasa.

Los modelos más empleados para el estudio del comportamiento de flujo de productos lácteos fermentados son el modelo de Casson y el modelo de Herschel-Bulkley.

El modelo de Casson se presenta en la ecuación 1 [5]

$$\sigma^{0.5} = \sigma_{0+}^{0.5} K_C \gamma^{0.5} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde el umbral de fluencia corresponde a  $\sigma_{0+}$  y  $K_C$  es el coeficiente de consistencia. Este modelo presenta la se utiliza extensamente para calcular los valores del umbral de fluencia a suspensiones de alimentos, además de ser utilizado para describir las propiedades del chocolate fundido, siendo adoptado como el método oficial para la determinación de umbral de fluencia por el Instituto Internacional del Chocolate [5]

El modelo de Herschel-Bulkley es presentado en la ecuación 2 [5]

$$\sigma = \sigma_{0+} K_H \gamma^n \quad (\text{Ec. 2})$$

Este modelo puede considerarse como una generalización de la ley de las potencias, en la que se incluye un nuevo parámetro que es el umbral de fluencia  $\sigma_{0+}$ ,  $K_H$  es el coeficiente de consistencia y  $n$  es el índice de comportamiento de flujo. Este modelo fue utilizado para el estudio reológico del yogurt, aquí se evidenció que con el aumento del contenido de sólidos totales, el índice de consistencia y la viscosidad aparente aumentaban, y el índice de comportamiento de flujo disminuía [7]. El modelo también ha sido utilizado para describir los datos de flujo de natillas y soluciones de gomas [2,3]. Preliminarmente, las curvas de flujo se ajustaron a este modelo, con coeficientes de correlación en todos los casos mayores que 0.995, siendo entonces adecuado para describir el comportamiento de flujo de preparados lácteos. Este modelo también se ha aplicado satisfactoriamente a puré de banana, obteniendo similares tendencias de los parámetros de flujo [13]. También las mermeladas y confituras, además de otros purés y concentrados de zumos de frutas con alto contenido en sólidos solubles totales

han sido adecuadamente descritos por el modelo de Herschel-Bulkley [5].

Para contribuir al conocimiento del comportamiento de flujo del suero costeño, en el presente artículo se analizarán los efectos sobre el aumento de la concentración de sólidos totales con proteínas de lactosuero parcialmente desmineralizado.

## MÉTODO

En la elaboración de Suero costeño con diferentes concentraciones de sólidos totales, se emplearon como ingredientes leche entera en polvo, lactosuero parcialmente desmineralizado y cloruro de sodio. En el caso del lactosuero, se muestra su composición en el Cuadro 1.

Estadísticamente hablando, se realizaron veinte experimentos de acuerdo a un diseño central compuesto rotatable de segundo orden con tres variables y cinco niveles para cada variable [10]. Las variables independientes fueron: concentración de sólidos totales (ST) que depende de la adición de lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado, temperatura de fermentación (TF), concentración del inoculo (CI), que es función del volumen de inoculo por unidad de volumen de leche a fermentar. En el presente artículo se hará el enfoque hacia las determinaciones reológicas sobre los sólidos totales. Durante el procedimiento se seleccionaron las combinaciones de las cepas en las proporciones: *Lactococcus lactis* (60%): *Lactobacillus paracasei* (40%), porque presentaron los mejores resultados en la cinética de la fermentación y en las pruebas realizadas al producto final. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR) para establecer los efectos simultáneos de las variables

**Cuadro 1.** Composición del Lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado

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

independientes en el proceso de acidificación, unidades formadoras de colonias, sinéresis y las propiedades reológicas del Suero Costeño. 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.

## Preparación de los sueros costeños a diferentes niveles de sólidos totales

La leche en polvo se disuelve en agua destilada hasta una concentración de sólidos totales de 12% en peso, por adición de lactosuero parcialmente desmineralizado (SPD) se preparan soluciones de concentraciones de sólidos totales 14,16, 17 y 18% en peso. Luego se calienta a 80°C por 20 minutos y se inocula con *Lactobacillus paracasei*: (ATCC 334), *Lactococcus lactis* (ATCC29146) al 2% [11]. Se incubaba a 30°C por 12 horas hasta alcanzar el pH de 4.6 y una acidez promedio de 104.8<sup>th</sup>, luego de obtenido el coágulo se realiza su ruptura y separación del 57 % del lactosuero en relación al volumen inicial de leche, haciendo pasar la mezcla por un filtro. Para conseguir una consistencia adecuada se homogeniza y se adiciona 1.2% de sal con relación al volumen inicial de leche. [12].

Después de dos días de almacenamiento refrigerado a 5°C, el suero costeño se colocó en un vaso de 1000 mL provisto de una barra magnética y se agitó durante dos minutos, a 400 rpm. Seguidamente se colectaron varias fracciones del suero en tubos de ensayo, que se centrifugaron a una velocidad de 5000g a 20°C. La sinéresis se calculó como la cantidad de líquido que se separa, debido a la centrifugación, con relación a la masa total que fue centrifugada. [13].

## Análisis fisicoquímico.

Se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, acidez (expresada como ácido láctico), grasa, proteínas, humedad y cenizas. [14].

## Determinaciones reológicas de flujo

Los geles formados en las soluciones de 12 al 18% en peso fueron analizados 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 un tramo descendente. Los datos de las curvas fueron ajustados por medio del software Bohlin Rheometer a los modelos de Herschel-Bulkley y Casson [8], obteniendo los valores de los parámetros reológicos para índice de flujo ( $n$ ), umbral de fluencia ( $\sigma_0$ ), y coeficiente de consistencia ( $K$ ) [5].

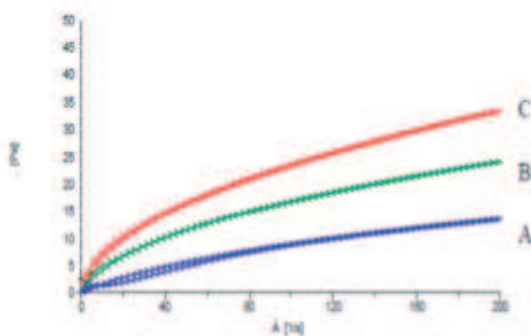
## RESULTADOS

El comportamiento reológico del Suero costeño a las diferentes niveles de sólidos totales se muestra en la figura 1, siendo de tipo no-newtoniano y de adelgazamiento de tipo plástico, ajustándose muy bien al modelo de Herschel-Bulkley (con coeficiente de correlación  $r$  igual a  $0,9988$ ); en las que las propiedades de flujo se ven afectadas significativamente por la cantidad de sólidos totales. [5].

El flujo newtoniano y el adelgazamiento tipo plástico, pueden ser explicados, dado que las moléculas poliméricas dispersadas se hallan entrelazadas unas con otras y las partículas en suspensión ocupan posiciones distribuidas al azar a causa del movimiento de agitación térmica de las mismas. Cuando tiene lugar una agitación progresiva en el seno del sistema, las cadenas poliméricas se desenredan y las partículas se alinean a lo largo de líneas de corriente. Todo ello da lugar, en definitiva, a una disminución de la fricción interna y, por tanto, de la viscosidad aparente del sistema

Las mediciones reológicas se indican para cada uno de los modelos elegidos a continuación.

**Figura 1.** Reogramas de los Sueros Costeños elaborados con 12%(A), 14%(B) y 16%(C) de contenido en sólidos totales



De los cuadros 2 y 3 se puede determinar que el aumento en el contenido de sólidos totales promueve el incremento del coeficiente de consistencia y del umbral de fluencia mientras disminuye el índice de comportamiento de flujo. También se determinó que el índice de consistencia aumentaba significativamente con el aumento de los sólidos no grasos y de sólidos totales de la leche.

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 tiolos de las proteínas del lactosuero forman enlaces disulfuro fuertes con la caseína en consecuencia los esfuerzos de cizalla aumentan considerablemente. En el Cuadro 4 se presenta la variación del rendimiento frente a algunas propiedades estudiadas en el suero costeño. [9,15].

**Cuadro 2.** Mediciones reológicas de flujo para el modelo de Casson

Sistema	%p/p	$\sigma_0 (\pm 0,01)$	$K (\pm 0,001)$	r
E	18	14,27	0,500	0,9545
D	17	13,95	0,400	0,9877
C	16	13,94	0,390	0,9872
B	14	12,10	0,380	0,9866
A	12	12,00	0,378	0,9990

Convenciones: %p/p=contenido de sólidos totales expresado en porcentaje peso a peso;  $\sigma_0$  = umbral de fluencia, K=coeficiente de consistencia; r=coeficiente de correlación.

**Cuadro 3.** Mediciones reológicas de flujo en el modelo de Herschel-Bulkley

Sistema	% p/p	$\sigma_0 (\pm 0,01)$	$K (\pm 0,001)$	n	r
E	18	14,91	9,943	0,4292	0,999
D	17	9,71	9,133	0,4541	1,0
C	16	9,79	9,045	0,4562	1,0
B	14	4,07	2,184	0,5424	0,982
A	12	3,09	1,147	0,6935	0,999

Convenciones: %p/p=contenido de sólidos totales expresado en porcentaje peso a peso;  $\sigma_0$  = umbral de fluencia, K=coeficiente de consistencia; n=índice de flujo; r=coeficiente de correlación.

Del cuadro 4 se destaca que las mayores concentraciones de sólidos totales (sistemas C, D, E) presentaron los mayores rendimientos, los menores valores de sinéresis, y la mayor humedad.

La adición de proteínas de lactosuero no solamente incrementa los sólidos totales, también cambia la relación caseína/proteínas del lactosuero, la reducción en la relación caseína/proteínas del lactosuero reduce la sinéresis, aumenta la capacidad de retención de agua y la densidad de la matriz proteica.

La humedad encontrada en los sueros costeños elaborados, presentó diferencias notables respecto al aumento de la cantidad de lactosuero, influenciando el rendimiento obtenido, dado que es posible apreciar el incremento de la humedad, a medida que aumenta la concentración de lactosuero

**Cuadro 4.** Porcentajes de rendimiento, proteína, humedad y sinéresis del Suero Costeño a diferentes concentraciones de sólidos totales.

Sistema	%p/p	%R	%P	%H	%S
E	18	60,0	9,0	75,0	14,0
D	17	55,0	8,9	74,0	20,0
C	16	50,0	8,2	73,0	25,0
B	14	46,0	7,8	72,5	28,0
A	12	42,0	7,3	72,0	30,0

## CONCLUSIONES

Los autores concluyen que la adición de lactosuero parcialmente desmineralizado al suero costeño ocasiona cambios estructurales que pueden ser medidos reológicamente, por las características de flujo, aumentando el esfuerzo de fluencia y el coeficiente de consistencia y disminuyendo el índice de flujo. Además, la adición del lactosuero en polvo mejoró sustancialmente el rendimiento práctico del Suero Costeño.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en especial, a la Universidad del Valle, a la Universidad de Cartagena, a Colanta,

Coolechera, a Codegán a todas las demás entidades y a quienes hicieron posible esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] AMATAYAKUL, T., 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 Hydrocol.*,20, 2006, p.314-324.
- [2] PUVANENTHIRAN, A., WILLIAMS, R. and AUGUSTIN, M. Structure and viscoelastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *Int. Dairy J.*, 12, 2001, p. 383-391.
- [3] LUCEY, J., MUNRO, P. Microstructure, permeability and appearance of acid gels made from skim milk. *Food Hydrocol.*,12, 1998, p.159-165.
- [4] CASTILLA, S.C, LOBATO, C. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *Int. Dairy J.* ,12, 2004, p.151-159.
- [5] AUTY, B., KENNEDY, P., ALLAN, D., MULVIHILL, M. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Food Hydrocol.*, 19, 2005, p. 101-109.
- [6] CUETO, C., GARCÉS, F. Preliminary studies on the microbiological characterization of lactic acid bacteria in Suero costeño, a Colombian traditional fermented milk product. *Revista latinoamericana de microbiología*, 49, 2007, p. 11-17.
- [7] TARREGA, A., DURAN, L., COSTELL, E. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts *Int. Dairy J.* 18, 2004, p. 345-353.
- [8] COLOMBIA. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS: Inventario y desarrollo de la tecnología de productos lácteos campesinos en Colombia. Bogotá (Colombia): 2000, 27-30 p.
- [9] FARELO, H. Caracterización microbiológica y de los parámetros fisicoquímicos relacionados con el proceso de fermentación del Suero Costeño como producto final elaborado en el Difícil Ariguani. [Ingeniero de alimentos]. Bogotá (Colombia): Universidad de la Sabana, Facultad de Ciencias, 2002, 190-197 p.
- [10] CASTILLO, M., LUCEY, J. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics Cottage cheese-type gels. *Int. Dairy J.*,16, 2005, p. 153-163.

- 
- [11] KRISTO, E., BILIADERIS, C. Modelling of rheological, microbiological and acidification properties of fermented milk product containing a probiotic strain of *Lactobacillus paracasei* Int. Dairy J. 13, 2003, p. 517-528.
- [12] TORRES, M. Characterization of the natural microflora of artisanal mexican fresco cheese. F. Control. J., 17, 2006, p.683-690.
- [13] AICHINGER, P, SERVAIS, C. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. Col. Surf., 31, 2003, p. 243-255.
- [14] UNITED STATES. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS: Official Method 942.05. 2000. Gaithersburg, Maryland (Estados Unidos): 2000, 57-65 p.
- [15] SAMONA, A., ROBINSON, R. Enumeration of bifidobacteria in dairy products. J. Soc. Dairy Tech., 44, 1991, p. 64-69.