

DOI:10.18684/BSAA(14)95-102

DISEÑO DE UN PROTOTIPO FERMENTADOR DE LECHE SEMIAUTOMÁTICO PARA LA ELABORACIÓN DE SUERO COSTEÑO

PROTOTYPE FERMENTER DESIGN SEMI AUTOMATIC MILK FOR THE PREPARATION OF SUERO COSTEÑO

PROJETANDO UM LEITE SEMI-AUTOMÁTICA PROTÓTIPO BIORREATOR PARA SUERO COSTEÑO

BASHIR YACUB B.¹, JUAN CAJAL B.², DIOFANOR ACEVEDO C.³, LUIS MURILLO F.⁴,
RONNY LEAL B.⁵, DIEGO FELIPE TIRADO A.⁶

RESUMEN

El Suero Costeño es un producto lácteo fermentado, artesanalmente en la costa atlántica colombiana. Para cumplir con las normas sanitarias el fermentador está constituido por un tanque diseñado y fabricado en acero inoxidable 304, con un volumen neto de 30 L. Se garantizó una temperatura de 35°C en la fermentación de la leche, con un sistema de enfriamiento mediante una chaqueta. La temperatura se medió con un sensor de temperatura, tipo PT-100, con el sistema micro-controlado se programó su set-point, para separar el espiche del suero se utilizó una válvula; la finalización de la fermentación se determinó con la medición del

Recibido para evaluación: 24 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 3 de Agosto de 2015

- 1 Universidad Antonio Nariño sede Cartagena, Docente Programa Ingeniería electrónica. Especialista en administración. Cartagena, Colombia.
- 2 Universidad Antonio Nariño sede Cartagena, Docente Programa Ingeniería electrónica. Especialista en educación. Cartagena, Colombia.
- 3 Universidad de Cartagena, Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Ingeniero de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 4 Universidad Antonio Nariño, Sede Cartagena. Docente Programa de Ingeniería electrónica. M.Sc. Cartagena, Colombia.
- 5 Universidad Antonio Nariño, Sede Cartagena. Ingeniero Electrónico. Cartagena, Colombia
- 6 Universidad de Cartagena. Ph.D. (c) Ingeniería Química, M.Sc. Ingeniería Ambiental, Ingeniero de Alimentos. Cartagena, Colombia.

CORRESPONDENCIA: jucajal@uan.edu.co

pH con un pH-metro. La cantidad de materia prima y producto se mide con un sensor de nivel y se muestra de manera continua en la pantalla LCD del panel de control.

ABSTRACT

Suero Costeño is handmade in fermented dairy product Colombian Atlantic Coast. To meet the health standards, the fermenter was constructed by a tank designed and manufactured in 304 stainless steel, with a net volume of 30 L. Should ensure a temperature below 35°C in the fermentation of milk, implementing a cooling system using a shirt or jacket. The temperature is measured with a temperature sensor, type PT-100, with the microcontroller system is programmed its set point, valve also has to separate the serum spigot, and measuring the pH of the serum variable is performed with a pH meter, which measures consistently. The amount of raw material is measured by a level sensor and displayed continuously on the LCD control panel.

RESUMO

Serum Costeño é feito à mão em produto lácteo fermentado costa atlântica colombiana. Para atender a padrões de saúde fermentador foi construído em aço inoxidável 304 com 30 L de capacidade. O grupo tem uma unidade de controle de fermentador (sistema microcontrolador) em que o nível do ponto de ajuste do pH Costeño processamento de soro de leite, de acordo com os requisitos da fermentação, o programa de computador garante uma temperatura de 35°C, com um sistema de refrigeração por meio de um revestimento, a temperatura é medida com um sensor de temperatura do tipo PT-100. A quantidade de matéria-prima e do produto é medida por um sensor de nível e ao final da fermentação é determinada medindo o pH. A concepção e construção do protótipo permite um Serum Costeño com características semelhantes às embarcações serum costeño, aumentar o desempenho e diminuir o tempo de processamento.

INTRODUCCIÓN

El Suero Costeño es un producto lácteo fermentado elaborado tradicionalmente en la Costa Caribe Colombiana, especialmente en la mayoría de los municipios de los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba y Cesar [1, 2, 3, 4]. El producto final es similar a la crema agria, un poco ácida y generalmente es usado como aderezo, acompañando casi todas las comidas [1, 2, 4].

La elaboración de Suero Costeño es un proceso artesanal que se realiza con leche entera cruda en recipientes que carecen de la adecuada higienización, sin control de la fermentación, contenido de sal, calidad y sin el almacenamiento adecuado. Adicionalmente, el personal que realiza estos procesos está en contacto directo con el producto, lo cual aumenta los riesgos de contaminación, estos factores favorecen la transmisión de enfermedades [4, 5].

PALABRAS CLAVE:

pH, Sensor de nivel, Sensor de temperatura, Microcontrolador.

KEYWORDS:

pH, Level sensor, Temperature sensor, Microcontroller.

PALAVRAS-CHAVE:

pH, Sensor de nível, Sensor de temperatura, Microcontrolador

Por otro lado, los procesos realizados de forma manual demandan esfuerzo físico de los ejecutantes y disminución progresiva de sus actividades a lo largo del tiempo, además incumplen las normas higiénico-sanitarias vigentes en el territorio nacional [5, 6].

Pese a estos inconvenientes la demanda del Suero Costeño es constante y creciente; la industria láctea ha intentado imitarlo sin éxito, ya que no han indagado a fondo el proceso de elaboración y los equipos que tienen no son adecuados para el proceso. No existen empresas locales que diseñen éste tipo de equipos [1].

Teniendo en cuenta el creciente avance tecnológico y científico, es importante mantener el Suero Costeño con la mayoría de sus características naturales, aumentar su vida útil y el rendimiento. Para lograr esto se requiere realizar un proceso de fermentación de la leche pasteurizada y la homogenización del producto final, que incluya un sistema de control automático para la variable temperatura, porque influye en el crecimiento de los *Lactobacilos*, y por lo tanto en la fermentación de la leche. También se requiere la medición en tiempo real del pH dado que éste determina la gelificación o coagulación de la leche [1, 2]. Así mismo, medir el volumen para determinar el rendimiento del proceso. En este caso, se van a fermentar 30 L de leche, se implementará el control del tiempo de agitación para asegurar la suspensión homogénea de los microorganismos y la eliminación de grumos en la materia prima [6, 7, 8].

La ventaja de automatizar el proceso es la posibilidad de procesar los datos obtenidos a través de sensores y así tomar las acciones adecuadas para controlar la fermentación.

MÉTODO

Investigación

Se indagó cuáles eran los materiales adecuados para el tanque de fermentación. De igual manera, se identificaron los equipos de instrumentación con las características adecuadas para trabajar con productos alimenticios [9, 10, 11].

Diseño. Se diseñaron los circuitos de potencia, acondicionadores de señal para los sensores de temperatura, pH y volumen. Se seleccionaron los dispositivos de medición y control de las variables, los instrumentos de visualización y sistemas de alarma.

Montaje. Se realizó el ensamblaje de los dispositivos de medición y control, motor con el ancla para la homogenización, la interfaz para visualización y las alertas visuales.

Pruebas. Se efectuaron las pruebas de estabilidad del equipo durante el desarrollo del proceso para comprobar la reproductividad del productor elaborado.

RESULTADOS

Ensayo de agitación fermentación

Se tomó un litro de leche pasteurizada y homogenizada, en el cual se aplicó un ensayo de agitación de la siguiente manera, se vertió en una licuadora y se procedió a encender para simular el proceso de agitación a baja velocidad durante 2 minutos, observándose un aumento del volumen de la leche. Luego de la prueba se obtuvieron los siguientes resultados: Volumen inicial: 1 L; volumen por agitación: 1,5 L; incremento de volumen: 50%.

Para determinar el incremento de volumen por fermentación se procedió a dejar la leche en un recipiente plástico transparente en reposo durante 24 horas para fermentarla y verificar los cambios del volumen.

Del ensayo de fermentación se obtuvieron los siguientes resultados: Altura de la leche inicial 80 mm, altura de la leche fermentada 90 mm, altura adicional por fermentación: 10 mm, altura del espiche: 60 mm, altura del suero: 30 mm.

Obteniendo un incremento por fermentación del 12,5%. De modo que por proceso el mayor incremento en volumen es el generado por agitación igual al 50% del volumen, mientras que por fermentación el aumento en volumen es del 12,5%. Por lo tanto para el diseño del tanque se tomó el de mayor incidencia que es el aumento de volumen por agitación del 50%.

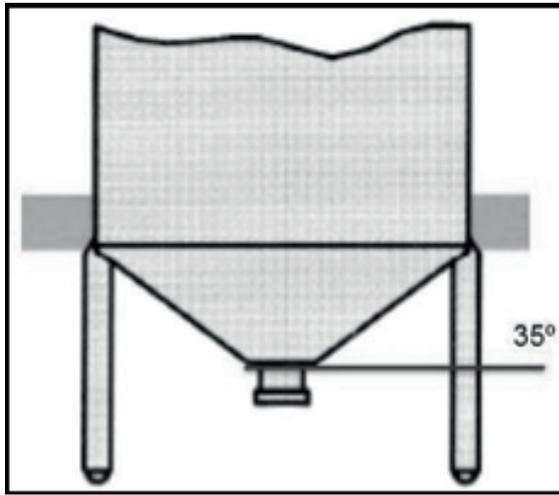
Tanque fermentador

Para determinar el volumen total del tanque se tuvo en cuenta la siguiente información:

- Volumen de leche a procesar: 30 L
- Volumen requerido por agitación: 50% (15 L)
- Volumen de seguridad: 15% (4,5 L)
- Volumen por diseño: 49,5 L (0,0495 m³)

De acuerdo con las características y propiedades de la leche, así como del Suero Costeño, el cual no fluye con mucha facilidad debido a su densidad, se construyó un tanque con fondo cónico a 35°, como el que se muestra en la Figura 1. Este tanque con este tipo de cono y ángulo de inclinación garantiza la descarga efectiva y total del espiche y del Suero Costeño.

Figura 1. Tipo de tanque seleccionado.



Con esta información se calcularon las dimensiones del tanque las cuales fueron: Diámetro del tanque $D=0,382$ m (382 mm), altura del tanque $H = 0,39$ m (390 mm). Quedando como resultado un volumen total del tanque de: $0,05005$ m³ (50,05 L)

Sistema de agitación

Dado que el Suero Costeño presenta una alta viscosidad, se empleó un agitador tipo turbina, el cual permite una mezcla más homogénea por la forma de circulación del líquido [9].

Figura 4. Estructura pasarela, caja con circuitos de control y visualización.



El cálculo de la potencia consumida se realizó a través de números adimensionales, relacionando en un gráfico el número de Reynolds y el Número de Potencia, como se muestra en la Figura 2. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras [9, 11].

El Número de Reynolds se muestra en la ecuación 1, el cual representa esfuerzo de inercia/esfuerzo cortante.

$$Re = \frac{D_a}{\mu} \quad (1)$$

El Número de Potencia se muestra en la ecuación 2, el cual representa esfuerzo de frotamiento/esfuerzo de inercia.

$$N_{po} = \frac{P}{N^3 D_a^5 \rho} \quad (2)$$

Seleccionando de la gráfica un agitador tipo turbina de hoja plana y un motor de 600 rpm (10 rev/s), se tiene que la potencia total requerida es de 153,45W, seleccionando por consiguiente un motor comercial de 220 W.

Válvulas de descarga

La descarga del tanque se realiza manualmente por medio de dos válvulas. La válvula de aguja se utiliza para realizar una descarga lenta del espiche y la válvula de bola se usa para la descarga del Suero Costeño luego de que es homogeneizado.

Estructura pasarela

Para el diseño y cálculo de la estructura y pasarela para soporte, limpieza y mantenimiento del fermenta-

dor, se tuvo en cuenta el peso propio del equipo y dos personas paradas sobre la pasarela para inspección, limpieza y/o mantenimiento del equipo.

La pasarela o estructura de soporte del tanque fermentador se construyó en acero calidad A-36 con piso en lámina de alfajor, de modo que soporte el peso propio del equipo fermentador y el de dos personas de 80 Kg c/u, con un factor de seguridad de 1,5 (Figura 3).

La estructura cuenta con una escalera de acceso con huellas en lámina de alfajor; además la estructura se diseñó para que la descarga del tanque se realice de forma ergonómica.

En la Figura 4 se muestran: la estructura pasarela con sus escaleras de acceso y barandas de protección, tanque fermentador en acero inoxidable AISI 304 y una caja con los elementos de control y visualización de las variables del proceso.

Sistema de microcontrolado

Para el diseño del sistema de control e instrumentación se tuvo en cuenta las siguientes funciones a realizar: Medición de pH continuamente durante las 8 horas que dura el proceso de fermentación; alarma de aviso por bajo pH; control automático de temperatura interna del fermentador; programación de temperaturas y medición del nivel de la materia prima durante el proceso.

En la Figura 5 se muestra el diagrama de bloques del circuito de control, y en la Figura 6 muestra el diagrama esquemático del circuito implementado el cual se muestran cada uno de los componentes que hacen parte de los circuitos electrónicos, como

Figura 3. Diagrama de bloques del circuito de control.

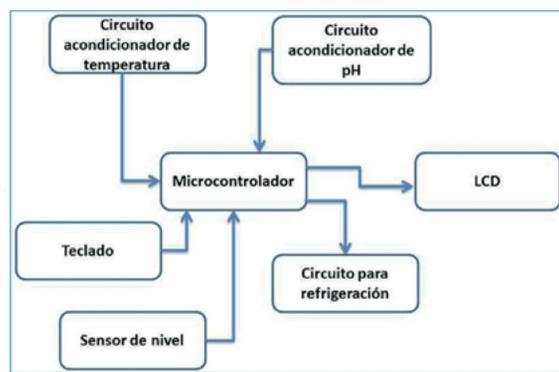
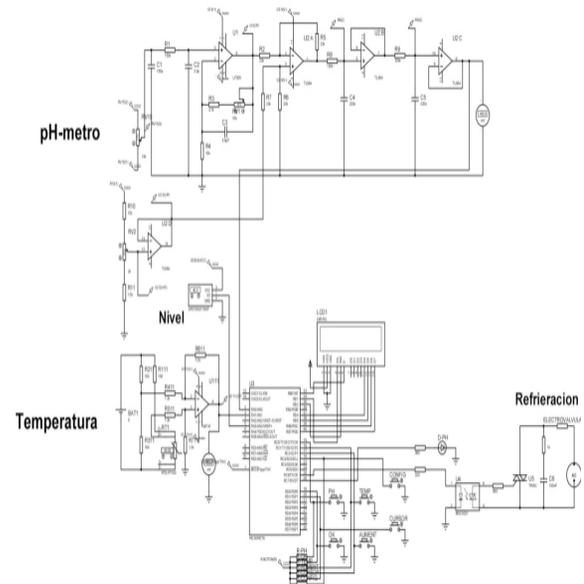


Figura 4. Circuito pin a pin del sistema.



lo son el pH-metro, termómetro, sensor de nivel, sistema de control, interfaz usuario, sistema de visualización y control de potencia para el sistema de refrigeración.

Interfaz usuario maquina

La interfaz usuario se muestra en la Figura 7, la cual consta de un teclado para la programación de las alarmas de temperatura alta y baja, alarma por pH bajo;

Figura 5. Interfaz de usuario.

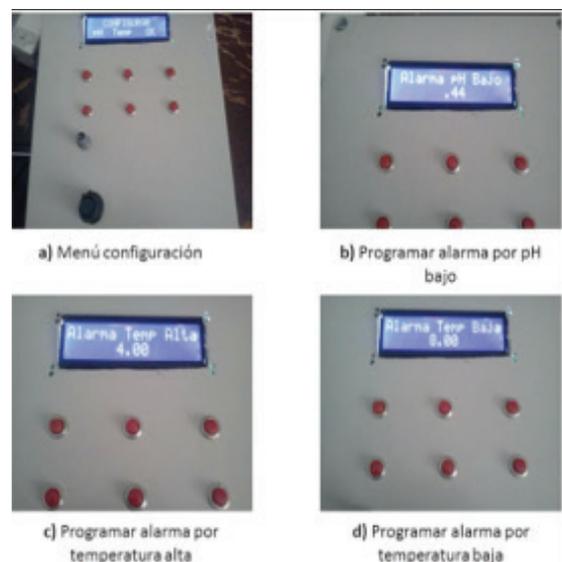


Figura 8. Sensor RTD PT 100.**Figura 9.** Sensor de nivel 2Y0A21.

las variables y menú de configuración son mostradas por un LCD.

Para realizar la programación se puede hacer al iniciar el sistema o pulsando el botón de configurar durante 5 segundos una vez el sistema esté en funcionamiento. Estando en el menú de configuración se puede pulsar de esta forma: La tecla de pH para programar la alarma por pH bajo; la tecla de Temperatura, para programar las alarmas de temperatura alta y baja; el botón de cursor para elegir un número en la pantalla de las alarmas; el botón Aumentar, para variar los números seleccionados; y el botón OK para salir de la pantalla de configuración [12, 13]. Una vez presionado OK el sistema comienza la medición entiempos real de las variables.

Medidor de temperatura

El circuito para la medición temperatura, el cual consta de: una RTD PT100 (Figura 8), para la detección de temperatura, un circuito puente de Wheatstone para el acondicionamiento de señal, un circuito diferenciador para el acondicionamiento de señal y una fuente dual de 5V_{dc} para alimentación de los circuitos. Este circuito puede ser visualizado en la Figura 6.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas realizadas al medidor de temperatura durante el proceso de fermentación (Cuadro 1), tomando como patrón un termómetro infrarrojo calibrado:

Medidor de pH para el proceso

El circuito está constituido por las siguientes partes: Electrodo de combinación PE-11 para la medición de pH; circuito acondicionador de señal del electrodo de pH; y fuente de voltaje dual de 5 Vdc.

Cuadro 1. Datos de temperatura del proceso de fermentación.

Hora	Temp. °C	Error Absoluto	Error Relativo
2:35	28,9	0,2	0,69%
02:36	29,6	0,5	1,72%
02:37	29,2	0,1	0,34%
02:38	29,1	0,0	0,00%
02:39	29,0	0,1	0,34%
02:40	28,9	0,2	0,69%
02:41	28,5	0,6	2,06%
02:42	29,0	0,1	0,34%
02:43	29,0	0,1	0,34%
02:44	29,0	0,1	0,34%
02:45	29,3	0,2	0,69%
02:46	29,0	0,1	0,34%
02:47	29,1	0,0	0,00%
02:48	29,1	0,0	0,00%
02:49	29,1	0,0	0,00%
02:50	29,1	0,0	0,00%

Temperatura real termómetro infrarrojo: 29,1°C

Incertidumbre: 0,55°C

Valor Medio: 29,06°C

Desviación Estándar: 0,225

Coefficiente de variación: 0,77%

Dispersión: 0,0475

Precisión o error de la medición: 0,0545

Exactitud: 99,85%

Error Máximo: 2,06%

Error Probable: 1,89%

Los resultados de las pruebas realizadas al medidor de pH se muestran en el Cuadro 2, en donde se tomó como elemento patrón la solución buffer de pH 4,0 [14].

Medición de volumen

La medición de volumen en el proceso se realiza por medio de un sensor de nivel infrarrojo, con el cual al tener la lectura de nivel del tanque se convierte a volumen mediante software del sistema de control [15].

El sensor para la medición de nivel es el 2Y0A21 (Ver Figura 9); el sensor consta de dos terminales de alimentación (Vcc y GND) y un terminal de voltaje de salida (Vo) analógico que se conecta directamente al convertidor A/D del microcontrolador.

En el Cuadro 3 se muestran los datos obtenidos de volumen durante la prueba de fermentación de la leche, para un volumen de 30 L.

Cuadro 2. Datos obtenidos del medidor de pH.

Lectura	pH	Error Absoluto	Error Relativo
1	4,0	0,0	0,00%
2	4,1	-0,1	-2,50%
3	4,1	-0,1	-2,50%
4	4,0	0,0	0,00%
5	4,0	0,0	0,00%
6	3,9	0,1	2,50%
7	4,1	-0,1	-2,50%
8	4,1	-0,1	-2,50%
9	4,0	0,0	0,00%
10	4,0	0,0	0,00%
11	4,1	-0,1	-2,50%
12	4,2	-0,2	-5,00%
13	4,1	-0,1	-2,50%
14	4,0	0,0	0,00%
15	4,1	-0,1	-2,50%

pH real del buffer: 4,0 pH

Incertidumbre: 0,15 pH

Valor Medio: 4,05

Desviación Estándar: 0,074

Coefficiente de variación: 1,83%

Dispersión: 0,0052

Precisión o error de la medición: 0,0185

Exactitud: 98,68%

Error Máximo: 5,00%

Error Probable: 3,70%

Cuadro 3. Datos del volumen del proceso de fermentación.

Hora	Volumen (L)	Error Absoluto	Error Relativo
02:35	29,5	0,5	1,67%
02:36	28,0	2,0	6,67%
02:37	30,0	0,0	0,00%
02:38	28,0	2,0	6,67%
02:39	30,0	0,0	0,00%
02:40	28,0	2,0	6,67%
02:41	30,0	0,0	0,00%
02:42	28,0	2,0	6,67%
02:43	30,0	0,0	0,00%
02:44	28,0	2,0	6,67%
02:45	30,0	0,0	0,00%
02:46	28,0	2,0	6,67%
02:47	30,0	0,0	0,00%
02:48	28,0	2,0	6,67%
02:49	30,0	0,0	0,00%
02:50	28,0	2,0	6,67%

Volumen real adicionado al tanque: 30 L.

Incertidumbre: 1,00 L

Valor Medio: 28,97

Desviación Estándar: 1,008

Coefficiente de variación: 3,48%

Dispersión: 0,9521

Precisión o error de la medición: 0,2439

Exactitud: 96,56%

Error Máximo: 6,67%

Error Probable: 3,45%

Con base en los análisis fisicoquímicos del Cuadro 4, los sueros costeros elaborados en el fermentador presentan los porcentajes más elevados de humedad y los más altos rendimientos, comparado con el artesanal.

CONCLUSIONES

El sistema de control automático mantuvo estable, tanto la temperatura como al pH durante la fermentación, con lo cual la acidez del producto final se pudo mantener en un rango aceptable.

Cuadro 4. Análisis al producto final.

Tipo de prueba	Artisanal	Con Fermentador
Acidez %	0,68	0,80
Grasa %	9,30	9,17
pH	3,90	3,85
Cloruros %	2,10	2,19
Humedad %	73,80	75,59
Cenizas%	2,78	2,77
Proteínas %	7,71	7,38
Rendimiento%	60,00	70,40
Textura	Grumosa	Homogenea

Se logró reducir el tiempo de elaboración del suero, de 20 horas en el proceso artesanal, a 8 horas con el prototipo, permitiendo hasta tres (3) ciclos de producción por día.

El rendimiento con el fermentador es mayor al obtenido artesanalmente, con la ventaja que el prototipo permite obtener un producto con diferentes tipos de texturas

Debido a que el fermentador fue elaborado con materiales que cumplen con la legislación sanitaria, se recomienda su uso en los medianos y pequeños productores de suero costeño.

REFERENCIAS

- [1] ACEVEDO, D., GRANADOS, C. y TORRES, R. Caracterización Reológica del Suero Costeño de Turbaco, Arjona, El Carmen de Bolívar y uno Comercial (Colombia). *Información Tecnológica*, 25 (3), 2014, p. 3-10.
- [2] ACEVEDO, D., JAIME, J.D. y ESPITIA, C. R. Efecto de la Adición de Lactosuero al Queso Costeño Amasado. *Información tecnológica*, 26(2), 2015, p. 11-16.
- [3] NARWAL, R.K., BHUSHAN, B., PAL, A., PANWAR, A., and MALHOTRA, S. Purification, physico-chemical-kinetic characterization and thermal inactivation thermodynamics of milk clotting enzyme from *Bacillus subtilis* MTCC 10422. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 2016, p. 652-660.
- [4] GUL, O., MORTAS, M., ATALAR, I., DERVISOGLU, M., and KAHYAOGU, T. Manufacture and characterization of kefir made from cow and buffalo milk, using kefir grain and starter culture. *Journal of dairy science*, 98(3), 2015, p. 1517-1525.
- [5] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 616: Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercialice, expendi, importe o exporte en el país. Bogotá (Colombia): 2006, 32 p.
- [6] COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 3075: Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Bogotá (Colombia): 1997, 1-37p.
- [7] GUTIERREZ, C.G., DINIZ, G.N. and GUT, J.A. Dynamic simulation of a plate pasteurizer unit: Mathematical modeling and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 131, 2014, p.124-134.
- [8] TAGHIZADEH-TABARI, Z., HERIS, S. Z., MORADI, M. and KAHANI, M. The study on application of TiO₂/water nanofluid in plate heat exchanger of milk pasteurization industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 2016, p. 1318-1326.
- [9] HUANG, K., and GODDARD, J.M. Influence of fluid milk product composition on fouling and cleaning of Ni-PTFE modified stainless steel heat exchanger surfaces. *Journal of Food Engineering*, 158, 2015, p. 22-29.
- [10] MCCABE, W., SMITH, J. and HARRIOTT, P. *Operaciones Unitarias en Ingeniería química*. 7 ed. Madrid (España): Mc Graw Hill, 2007, p. 500-600.
- [11] REID, M., O'DONOVAN, M., ELLIOTT, C.T., BAILEY, J.S., WATSON, C.J., LALOR, S.T.J. and LEWIS, E. The effect of dietary crude protein and phosphorus on grass-fed dairy cow production, nutrient status, and milk heat stability. *Journal of dairy science*, 98(1), 2015, p. 517-531.
- [12] WOLLANTS, P. *Handbook of recycling. Appendix 2: Thermodynamics 101*. Philadelphia (USA): Elsevier, 2014, p. 548.
- [13] YILDIRIM, N. and GENÇ, S. Thermodynamic analysis of a milk pasteurization process assisted by geothermal energy. *Energy*, 90, 2015, p. 987-996.
- [14] YOON, Y., LEE, S. and CHOI, K.H. Microbial benefits and risks of raw milk cheese. *Food Control*, 63, 2016, 201-215.
- [15] HADDE, E.K., NICHOLSON, T.M., CICHERO, J.A.Y. and DEBLAUWE, C. Rheological characterisation of thickened milk components (protein, lactose and minerals). *Journal of Food Engineering*, 166, 2015, p. 263-267.