

**Artículo Original**

**ANÁLISIS DE PROCESOS EN LA CUBA QUESERA EMPLEANDO  
EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS PARCIALES**

**CHEESE BOWL PROCESS ANALYSIS USING PARTIAL MINIMUM  
SQUARES METHOD**

Yenisey Barrera Aldama<sup>1, 2\*</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-0863-867X>

Eduardo García Noa<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6634-9219>

Kamila Solis Aliaskina<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-9959-9161>

<sup>1</sup> Grupo de Molinería, División Alimentaria. Grupo Empresarial para la Industria Alimentaria. Calle Hacendados Ave La Pesquera. Habana Vieja, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Alimentos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de la Habana, CUJAE. Calle 114 # 11901 / Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

Recibido: Octubre 22, 2018; Revisado: Marzo 27, 2019; Aceptado: Septiembre 30, 2019

**RESUMEN**

**Introducción:**

Un parámetro importante en la producción quesera es el rendimiento del proceso, que depende de las condiciones de operación, por lo que pueden establecerse alternativas de mejoras si se conoce la interacción entre las variables que intervienen en el mismo.

**Objetivo:**

El objetivo principal fue establecer la relación funcional entre el rendimiento en la cuba quesera y los parámetros de operación mediante el método de los Mínimos Cuadrados Parciales.

**Materiales y Métodos:**

Se aplicó el Análisis de Clúster para determinar la interrelación entre el rendimiento en la cuba quesera y 16 variables del proceso, así como el método de Componentes Principales y de los Mínimos Cuadrados Parciales para establecer relaciones cuantitativas entre las mismas variables mediante el programa estadístico *Statgraphics Centurion XV*.

**Resultados y Discusión:**

En el análisis multivariado se obtuvo un modelo matemático de alta significación estadística para los rendimientos respecto a la masa de leche, evaluando mediante la simulación alternativas en las condiciones de operación. Como resultado de simular el proceso con la función que emplea las variables no estandarizadas se obtuvo que se



Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Yenisey Barrera, Email: [yenibarre2014@gmail.com](mailto:yenibarre2014@gmail.com)



podía alcanzar un rendimiento de 12,02%.

**Conclusiones:**

El modelo de regresión por Mínimos Cuadrados Parciales posee un Error Cuadrático de Predicción igual a  $5,00 \times 10^{-4}$ , lo que indica la posibilidad de su empleo para simular esta etapa. Al trabajar bajo las condiciones de operación más favorables se puede lograr un efecto económico de 1600,00 CUP adicionales en una producción.

**Palabras clave:** análisis de procesos; componentes principales; métodos multivariados; mínimos cuadrados parciales; queso.

**ABSTRACT**

**Introduction:**

Process yield is an important parameter in cheese production, it depends of operating conditions, for that reason improvement alternatives can be established if the interaction among the involved variables are known.

**Objective:**

To establish the functional relation among cheese yield and operation parameters using Partial Minimum Squares method.

**Materials and Methods:**

Cluster Analysis was used to determine the interrelations among cheese yield and sixteen process variables, thus Principal Component and Partial Minimum Squares methods were applied to establish quantitative relationships between the same parameters using Statgraphics Centurion XV statistical program.

**Results and Discussion:**

In e multivariate analysis, a mathematical model with a high statistical signification was obtained for yields respect milk mass, and alternatives in operating conditions were evaluated using simulation methods. As result of process simulation with non-standardized variables function a yield of 12.02% could be reach in this process.

**Conclusions:**

A regression model by Partial Minimum Square has a Predictive Quadratic Error of  $5.00 \times 10^{-4}$ , indicating its possibility of use in this step simulation. It can be achieve an additional economic effect of 1600.00 CUP for each production, working under the best operation conditions.

**Keywords:** processes analysis; principal components; multivariate methods; partial minimum square; cheese.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Un parámetro importante a tener en cuenta en la producción de quesos es el rendimiento, el cual se ve afectado fundamentalmente por la composición de la leche; en particular el contenido de caseína y materia grasa y por las operaciones empleadas en el proceso tecnológico, entre ellas: la formación, el corte y la elaboración de la cuajada (Martínez y González, 2014), Costa (2015). Después que se determina la composición de la leche, es importante el control en estas etapas para minimizar las pérdidas de

componentes de la leche en el suero y obtener una cuajada de cuerpo, textura, acidez y humedad deseados.

Durante los últimos años en la industria alimentaria se ha extendido de manera considerable el uso de sistemas dirigidos al mejoramiento de los rendimientos productivos, los cuales no solo tienen como objetivo aplicar herramientas de mejora continua, sino crear y hacer más eficaz el funcionamiento de la industria (Hernández y García, 2012). Estas herramientas se basan en el análisis de un sistema, proceso o parte de éste, mediante el empleo de la modelación matemática en conjunto con la simulación de procesos como medio de aplicación y validación de los modelos matemáticos (González y col., 2006), (García y col., 2015), (Sariego y col., 2017).

La utilización de modelos multivariados que relacionen los parámetros de operación fundamentales de la producción de quesos, específicamente en la etapa de obtención de la cuajada con el rendimiento resulta de gran importancia para la industria quesera. La aplicación de modelos estadísticos en dicha etapa permitirá establecer, cuáles de las variables del proceso inciden más en los resultados de la misma y además, contar con un modelo matemático para simular y evaluar las condiciones de operación que permitan lograr mayores rendimientos en el proceso de producción, minimizando las pérdidas de materias primas y el consumo energético Aliaskina (2015), (Balzarini y col., 2015).

El queso Gratina producido es una fuente de ganancias significativas para la fábrica en estudio, debido a la escala de producción el mismo. Sin embargo, su rendimiento en los últimos años ha sido alrededor de 8,2% Aliaskina (2015), siendo un valor bajo, lo que trae consigo una menor cantidad de quesos producidos y menos ingresos. Con vistas a mejorar el rendimiento se hace necesario realizar un análisis de las condiciones de operación en la cuba quesera, dado que es una de las etapas más críticas del proceso.

De acuerdo con la problemática planteada se propusieron como objetivo principal establecer la relación funcional entre el rendimiento en la cuba quesera y los parámetros de operación mediante el método de los Mínimos Cuadrados.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El análisis de la obtención de la cuajada en la producción de queso Gratina se desarrolló con una selección de 16 variables, cuyos valores se recopilaron en seis producciones. Las variables medidas fueron: el volumen de leche que se procesa en la cuba quesera (V), la temperatura inicial (T<sub>le</sub>) y final de la leche que llega a la cuba (T<sub>lf</sub>), la temperatura ambiente (T<sub>a</sub>), la temperatura de adición del cultivo (T<sub>cul</sub>) y del cuajo (T<sub>cua</sub>), el tiempo de agitación intermedio entre la adición del cultivo y del cuajo (t<sub>ai</sub>), tiempo de agitación final después de añadido el cuajo (t<sub>af</sub>), tiempo de coagulación (t<sub>coag</sub>), tiempo de agitación para el corte de la cuajada (t<sub>ac</sub>), tiempo de reposo antes del desuere (t<sub>r</sub>), temperatura de cocción (T<sub>c</sub>), tiempo de cocción (t<sub>c</sub>), volumen de agua adicionada (V<sub>ag</sub>), temperatura del agua adicionada (T<sub>ag</sub>) y tiempo de prensado (t<sub>p</sub>).

Para la tabulación y organización de estos datos se utilizó el programa *Microsoft Excel* y para su posterior procesamiento se empleó el programa *Statgraphics Centurion XV*.

El análisis multivariado se realizó mediante las etapas siguientes:

- a) Análisis de los datos: Se describió el comportamiento de las variables, calculando para cada una de ellas: el promedio, los valores máximos y mínimos y el coeficiente de variación.
- b) Obtención de Conglomerados: Se utilizó el método del Vecino Más Cercano y la métrica de distancia Euclideana Cuadrada teniendo en cuenta experiencias anteriores en producciones lácteas obtenidas por Mora (2013), (Sariego y col., 2014) y Aliaskina (2015) y se definió la formación de dos conglomerados. Se estandarizó para que todas las variables estuviesen dentro de un mismo intervalo de valores. El análisis se realizó para las observaciones (producciones) buscando diferencias entre ellas.
- c) Cálculo de los Componentes Principales: El procedimiento de Componentes Principales está diseñado para extraer k componentes principales de un conjunto de p variables cuantitativas x (García y col., 2015). Se consideró un porcentaje superior a 85% de la variable explicada en la selección del mínimo de componentes.
- d) Procedimiento para el análisis por Mínimos Cuadrados Parciales (MCP): Se diseñó el procedimiento de MCP para construir un modelo estadístico que relaciona múltiples variables independientes x con múltiples variables dependientes y (Sariego y García, 2013). En el análisis por MCP se tuvieron en cuenta tres componentes principales y 16 variables independientes para obtener los modelos de rendimiento con respecto a la leche. Se obtuvieron los modelos, estandarizando los valores experimentales centrados por la media y sin estandarizar las variables, para poderlos utilizar en la simulación con las unidades de medidas originales de cada variable independiente. La significación de los modelos se comprobó para un 95% de confiabilidad a través del valor-p. La calidad de predicción se analizó a través del valor PRESS (Sumatoria Cuadrada del Error de Predicción).

Los modelos se validaron por el método “sacar uno a la vez” mediante el programa *Statgraphics Centurion XV*, el cual ajusta el modelo, dejando una producción sin incluir que después se utiliza para calcular el error de predicción. Este procedimiento se repite tantas veces como cantidad de producciones se hayan analizado y finalmente, reporta el promedio de los valores obtenidos en dichos cálculos.

El modelo obtenido por el método de MCP con las variables no estandarizadas se empleó para evaluar alternativas de mejora en las condiciones de operación, buscando que se incremente el rendimiento en la etapa y teniendo en cuenta que los valores de las variables de operación que más favorezcan este propósito estén dentro de los valores alcanzados en las producciones estudiadas. Para ello se tomó en cuenta el signo de los coeficientes de las variables y los valores experimentales. Los coeficientes con signo positivo indicaron los mayores valores de las variables y los de signos negativos representaron los menores valores de la sustitución de las variables estudiadas a simular para obtener el mejor rendimiento.

Para estimar el efecto económico de trabajar bajo las condiciones recomendadas, se calculó el beneficio económico teniendo en cuenta el mayor y el menor rendimiento y el precio de venta establecido para el producto.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 y 2 se muestran los estadígrafos que describen el comportamiento de cada variable en la etapa de obtención de la cuajada, antes y después de la coagulación de la leche respectivamente.

**Tabla 1.** Resumen estadístico de las variables antes de la coagulación de la leche

| <i>Parámetros</i>            | <i>V (L)</i>     | <i>Tle (°C)</i>  | <i>Tlf (°C)</i>  | <i>Ta (°C)</i>   |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Promedio                     | 5175,0           | 26,1             | 34,7             | 27,8             |
| Coeficiente de variación (%) | 7,8              | 4,8              | 3,9              | 5,6              |
| Mínimo                       | 4500,0           | 24,0             | 32,6             | 25,2             |
| Máximo                       | 5500,0           | 27,2             | 36,2             | 30,0             |
| <i>Parámetros</i>            | <i>Tcul (°C)</i> | <i>Tcua (°C)</i> | <i>Tai (min)</i> | <i>Taf (min)</i> |
| Promedio                     | 29,7             | 33,8             | 11,5             | 5,2              |
| Coeficiente de variación (%) | 9,8              | 2,5              | 56,8             | 28,5             |
| Mínimo                       | 26,7             | 32,8             | 4,0              | 4,0              |
| Máximo                       | 34,0             | 35,0             | 21,0             | 8,0              |

En los resultados de la Tabla 1 se puede apreciar que la variabilidad de las temperaturas es pequeña, lo cual conviene, pues la temperatura es un factor de elevada influencia en los procesos bioquímicos de esta etapa, mientras que los tiempos en las producciones tuvieron una elevada variabilidad, lo cual indica que no hay un buen control de estas variables en las operaciones del proceso, pudiendo influir en los rendimientos.

**Tabla 2.** Resumen estadístico de las variables después de la coagulación de la leche

| <i>Parámetros</i>            | <i>tcoag (min)</i> | <i>tac (min)</i> | <i>tr (min)</i> | <i>Tc (°C)</i>  |
|------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Promedio                     | 29,5               | 5,7              | 2,8             | 38,1            |
| Coeficiente de variación (%) | 48,9               | 34,7             | 26,6            | 5,9             |
| Mínimo                       | 13,0               | 3,0              | 2,0             | 34,2            |
| Máximo                       | 45,0               | 8,0              | 4,0             | 40,2            |
| <i>Parámetros</i>            | <i>tc (min)</i>    | <i>Vag (L)</i>   | <i>Tag (°C)</i> | <i>tp (min)</i> |
| Promedio                     | 12,2               | 812,9            | 35,1            | 28,0            |
| Coeficiente de variación (%) | 28,6               | 48,6             | 30,8            | 33,3            |
| Mínimo                       | 10,0               | 504,0            | 22,0            | 20,0            |
| Máximo                       | 18,0               | 1428,0           | 50,4            | 45,0            |

En los resultados de la Tabla 2 se observa que excepto Tc que tiene poca dispersión en las seis producciones, el resto de los parámetros medidos difieren bastante entre una producción y otra. Este es un resultado esperado ya que estos son parámetros que tradicionalmente decide el maestro quesero.

Se puede decir que el tiempo de coagulación (tcoag) determina las características de la cuajada, el que se garantiza mediante el ajuste de la cantidad de cuajo, la temperatura del proceso y la acidez, que son variables controladas y verificadas por el maestro

quesero. El lavado de la cuajada, se realiza con el fin de extraer la lactosa, impidiendo un aumento de la acidez. Este proceso lo lleva a cabo también el maestro quesero quien controla el volumen de agua adicionada, así como la temperatura de la misma.

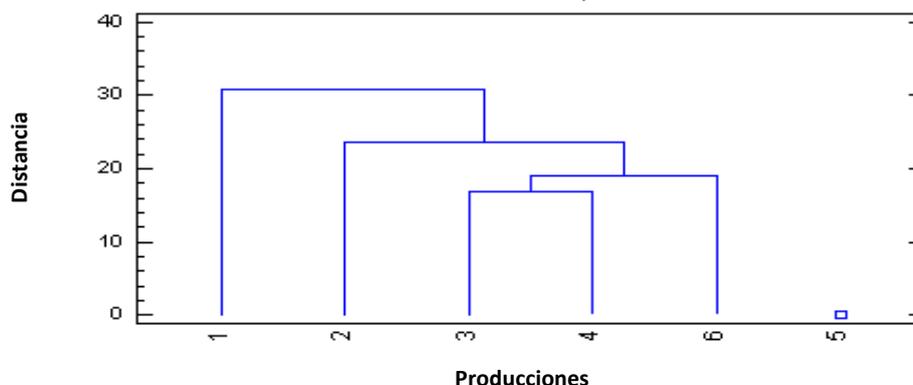
Las correlaciones significativas de las variables estudiadas con una probabilidad de más de un 95% de confianza se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros de operación correlacionados

| <i>Correlación</i> | <i>Valor-p</i> | <i>Coefficiente de correlación</i> |
|--------------------|----------------|------------------------------------|
| Ta – tc            | 0,0041         | 0,9474                             |
| Ta – V             | 0,0389         | -0,8344                            |
| tac – tcoag        | 0,0162         | 0,8941                             |
| tac – Tcua         | 0,0125         | -0,9074                            |
| Tc – Vag           | 0,0440         | 0,8234                             |
| tcoag – Tcua       | 0,0484         | -0,8145                            |
| Tcul – V           | 0,0485         | -0,8143                            |
| Tle – tr           | 0,0304         | 0,8540                             |
| Tlf – tp           | 0,0129         | 0,9058                             |

En esta tabla se observa que todas las correlaciones son altas, es decir, se manifiesta un vínculo estrecho entre los valores de las mismas, pues todos los coeficientes son superiores a 0,8000. Algunas de estas correlaciones son directas (signo positivo) y otras son inversas (signo negativo).

En la Figura 1 se presenta el dendograma obtenido al procesar los datos por el método de conglomerados.



**Figura 1.** Dendrograma de las observaciones. Método del Vecino Más Cercano con métrica de distancia Euclídeana Cuadrada

En esta figura se observa que las producciones que más se parecen fueron la tres y la cuatro, es decir, fueron las que más semejanzas tuvieron entre los parámetros de operación medidos. La producción seis fue la que más se asemejó a las dos anteriores, pues fue con la que se formó el grupo siguiente y la distancia resultó ser inferior a 20. La producción cinco fue la menos parecida al resto, lo cual se debió a que a diferencia de las otras, no hubo cocción ni lavado del grano y esto repercutió en las características de la cuajada obtenida al ser la misma menos compacta. No obstante a este resultado, no se excluyó de la base de datos a procesar para obtener resultados con un mayor espectro

de validez al considerar una producción no tan homogénea como el resto y además, su rendimiento fue semejante al de las otras producciones.

En la Tabla 4 se presentan los resultados del Análisis de Componentes Principales obtenidos con el programa *Statgraphics Centurion XV*.

**Tabla 4.** Resultados del Análisis de Componentes Principales

| <i>Componente número</i> | <i>Porcentaje de varianza</i> | <i>Porcentaje acumulado</i> |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1                        | 39,030                        | 39,030                      |
| 2                        | 32,033                        | 71,063                      |
| 3                        | 18,468                        | 89,531                      |
| 4                        | 6,055                         | 95,586                      |
| 5                        | 4,414                         | 100,000                     |
| 6                        | 0,000                         | 100,000                     |

En la tabla se aprecia que con tres componentes se explica el 89,5% de la varianza total de los puntos experimentales y con cuatro componentes se explica el 95% de la varianza total. Ambos valores son aceptables, considerando que se trata de producciones industriales. Por otra parte, un quinto componente incrementaría muy poco (en solo un 6%) el acumulado de la varianza explicada, por lo que se justifica el uso de tres o cuatro componentes en el ajuste por Mínimos Cuadrados Parciales. Con vistas a obtener un modelo matemático que establezca la relación funcional entre las variables del proceso y los rendimientos en la cuba quesera se aplicó el método de MCP.

Las Tablas 5 y 6 presentan el análisis de varianza y de calidad de ajuste de los modelos. En dichas tablas se observa que el modelo de rendimiento con respecto a la leche presentó buena calidad de ajuste para un 95% de confiabilidad, pues el valor-p del análisis de varianza igual a 0,0057 fue inferior a 0,05 que es el límite superior para esta prueba. Además, el PRESS fue un valor del orden de  $5,00 \times 10^{-4}$  para tres componentes y presentó un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 99,61%, valor que manifiesta muy buena calidad en la predicción. Si se considera que el mejor modelo siempre es el más sencillo y que posea un buen ajuste, se aplicó este modelo para tres componentes.

**Tabla 5.** Resultados del ajuste de Mínimos Cuadrados Parciales para el rendimiento con respecto a la leche. Análisis de varianza

| <i>Fuente</i> | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i>    | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-p</i> |
|---------------|--------------------------|-----------|--------------------------|----------------|----------------|
| Modelo        | 0,000342046              | 3         | $1,14015 \times 10^{-4}$ | 173,554        | 0,0057         |
| Residuo       | 0,000001313              | 2         | $6,56944 \times 10^{-7}$ | -              | -              |
| Total (corr.) | 0,000343360              | 5         | -                        | -              | -              |

**Tabla 6.** Calidad de predicción para el rendimiento con respecto a la leche

| <i>Componente</i> | <i>% Variación en Y</i> | <i>R<sup>2</sup></i> | <i>Cuadrado Medio PRESS</i> | <i>Predicción R<sup>2</sup></i> |
|-------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1                 | 80,3844                 | 80,3844              | 0,000924129                 | 0,0                             |
| 2                 | 11,7131                 | 92,0975              | 0,000538421                 | 0,0                             |
| 3                 | 7,5198                  | 99,6173              | 0,000500775                 | 0,0                             |

En la Tabla 7 se muestran los coeficientes con las variables estandarizadas y sin estandarizar para los modelos de rendimiento con respecto a la masa de leche inicial.

**Tabla 7.** Coeficientes con las variables estandarizadas y no estandarizadas del modelo de rendimiento con respecto a la leche

| <i>Variable</i> | <i>Rendimiento con respecto a la leche</i> |                          |
|-----------------|--|--------------------------|
|                 | <i>Estandarizados</i>                      | <i>No Estandarizados</i> |
| B <sub>0</sub>  | 0,00                                       | 1,73 x10 <sup>-01</sup>  |
| Ta              | 1,27x10 <sup>-01</sup>                     | 6,72 x10 <sup>-04</sup>  |
| Tac             | -3,74 x10 <sup>-02</sup>                   | -1,58 x10 <sup>-04</sup> |
| Taf             | 5,36 x10 <sup>-02</sup>                    | 3,02 x10 <sup>-04</sup>  |
| Tag             | 1,33 x10 <sup>-01</sup>                    | 1,02 x10 <sup>-04</sup>  |
| Tai             | -1,26 x10 <sup>-02</sup>                   | -1,60 x10 <sup>-05</sup> |
| Tc              | -7,01 x10 <sup>-02</sup>                   | -9,89 x10 <sup>-05</sup> |
| Tc              | -2,56 x10 <sup>-01</sup>                   | -9,36 x10 <sup>-04</sup> |
| Tcoag           | 8,70 x10 <sup>-02</sup>                    | 4,99 x10 <sup>-05</sup>  |
| Tcua            | 4,82 x10 <sup>-02</sup>                    | 4,81 x10 <sup>-04</sup>  |
| Tcul            | 9,54 x10 <sup>-02</sup>                    | 2,71 x10 <sup>-04</sup>  |
| Tle             | 6,26 x10 <sup>-03</sup>                    | 4,15 x10 <sup>-05</sup>  |
| Tlf             | -1,75 x10 <sup>-01</sup>                   | -1,07 x10 <sup>-03</sup> |
| Tp              | 6,42 x10 <sup>-02</sup>                    | 5,71 x10 <sup>-05</sup>  |
| Tr              | -7,06 x10 <sup>-02</sup>                   | -7,77x10 <sup>-04</sup>  |
| V               | -3,80 x10 <sup>-01</sup>                   | -7,79 x10 <sup>-06</sup> |
| Vag             | -4,85 x10 <sup>-01</sup>                   | -8,30 x10 <sup>-06</sup> |

**Leyenda**

B<sub>0</sub>: Término independiente del modelo

Como resultado de evaluar las variables del proceso sobre el rendimiento con el modelo obtenido por MCP teniendo en cuenta las condiciones más favorables según los signos de los coeficientes y los valores experimentales de las variables se obtuvo que se podía alcanzar un rendimiento de 12,02%. Para estimar el efecto económico de trabajar bajo estas condiciones propuestas, se consideró una producción de 5300 L de leche con una densidad de 1,0256 kg/L. Si el rendimiento es de 12,02% se obtendrían 54,06 kg de cuajada por encima de lo que se obtuvo en la producción de mayor rendimiento (11%), por lo que si se considera que en las etapas posteriores a la formación de la cuajada las pérdidas no son muy grandes y que el precio de venta es de 30,09 \$/kg, esto implicaría un ingreso adicional de 1 600,00 CUP (24 CUP es el equivalente a 1 USD). Estos resultados demuestran la posibilidad de evaluar condiciones de operación a través de la simulación con modelos multivariados.

#### 4. CONCLUSIONES

1. El modelo de regresión por Mínimos Cuadrados Parciales que establece la relación funcional entre el rendimiento en la cuba quesera y las 16 variables de operación posee un Error Cuadrático de Predicción igual a  $5,00 \times 10^{-4}$ , lo que indica la

posibilidad de su empleo para simular esta etapa.

2. Bajo las condiciones de operación más favorables en la etapa de obtención de la cuajada se pueden obtener rendimientos respecto a la masa de leche inicial de hasta un 12,02%, lo que mejora el resultado en esta etapa. Al trabajar bajo estas condiciones puede lograr un efecto económico de 1600,00 CUP adicionales, que equivale a 54,06 kg de cuajada por encima.

## **REFERENCIAS**

- Aliaskina, K., Modelos multivariados en la cuba quesera de la fábrica Siboney., Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Químico, Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, Cuba, 2015.
- Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M., Teich, I., Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado., Editorial In press, 2015, pp. 7-143.
- Costa, C., Rendimiento quesero teórico y real de la leche de la cuenca de Villa María, Córdoba., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Tecnología de los Alimentos, Universidad Católica de Córdoba, España, 2015.
- García, E., Cuellar, O., Sevilla, F., Comas, I., y Sariego, Y., Evaluación de los riesgos y la criticidad de los fallos en la tecnología del yogur de soya., Ciencia y Tecnología de Alimentos, Vol. 23, No. 3, 2015, pp. 62-68.
- González, N., Emilio, C., González, E., y Morales, M., Aplicación del análisis de procesos en la asimilación de nuevas tecnologías en la industria química., Centro Azúcar, Vol. 33, No. 1, 2006, pp. 30-34.
- Hernández, Y., y García, E., Procedimientos para el mejoramiento continuo del queso crema Nela., Tecnología Química, Vol. XXXII, No. 3, 2012, pp. 313-332.
- Martínez, H., y González, F., La cadena de lácteos, 2014., [publicado 2014; consultado 28/05/2016]; Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co>.
- Mora, M., Utilización de suero lácteo en la producción de helado de leche., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster en Ingeniería Alimentaria, Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE, Cuba, 2013.
- Sariego, Y., y García, E., Evaluación del empleo de un nuevo homogeneizador en la fabricación de helado Coppelía de Chocolate., Ciencia y Tecnología de Alimentos, Vol. 21, No. 3, 2013, pp. 4-8.
- Sariego, Y., García, E., Guillén, C., Montes de Oca, D., Procedimiento general para la evaluación del proceso de remoción de calor en la elaboración de helado., Tecnología Química, Vol. XXXIV, No.3, 2014, pp. 296-306.
- Sariego, Y., García, E., Pérez, S., y Rodríguez, L., Evaluación energética de una planta de helados., Ingeniería Energética, Vol. XXXVIII, No. 1, 2017, pp. 239-248.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existe conflicto interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- M.Sc. Yenisey Barrera Aldama. Realizó las mediciones experimentales, el procesamiento de las variables, el análisis de los resultados en el *Statgraphics*, y

la escritura del artículo.

- Dr.C. Eduardo García Noa. Realizó el procesamiento de las variables, el análisis de los resultados en el *Statgraphics* y la escritura del artículo.
- Ing. Kamila Solis Aliaskina. Realizó las mediciones experimentales y el procesamiento de los datos en el *Statgraphics*.