

Análisis multivariado con la conductividad eléctrica durante la coagulación en la producción de queso fresco.

Multivariate analysis with electrical conductivity during coagulation in fresh cheese production.

Eileen Rodríguez González ^{1*}; Eduardo García Noa ².

1 Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL) / La Habana / Cuba

2 Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae) / La Habana / Cuba

** Correspondence: egarcianoa@quimica.cujae.edu.cu; Tel.: (+53 5622 5798)*

Available from. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.1>

Resumen

Para establecer las condiciones de operación en la producción de queso fresco, que permitan incrementar el rendimiento, se evaluó el proceso de formación de la cuajada durante los 40 min posteriores a la adición del cuajo, registrando la conductividad eléctrica. Estas mediciones permitieron identificar tres fases en el comportamiento de la conductividad y delimitar el tiempo de corte. Se ajustó un modelo de regresión múltiple, que explica el 93,25 % de la variabilidad del tiempo de corte respecto a la densidad, grasa y sólidos no grasos de la leche, temperatura de pasteurización, tiempo de retención y temperatura de coagulación. Se validó la exactitud de la estimación por el modelo de los indicadores de eficiencia con tres corridas experimentales. Con el análisis del rendimiento por mínimos cuadrados parciales se estableció un modelo con 10 variables de operación, con un error cuadrático de predicción igual a 4,75. Basado en el efecto de las variables en este modelo y bajo las condiciones de operación más favorables en la etapa de obtención de la cuajada, se pueden obtener rendimientos de hasta un 17,79 %. Bajo estas condiciones se logran 21,63 kg de cuajada adicionales por cada 1000 L de leche, con un efecto económico significativo de 50.00 USD.

Palabras claves

Conductividad eléctrica; coagulación enzimática; matemática multivariada; queso fresco; rendimiento; tiempo de corte.

Abstract

To establish operating conditions for the production of fresh cheese to improve the yield, the curd formation process was evaluated over 40 min after the addition of the rennet recording the electrical conductivity. The recorded values allowed the identification of three phases for the conductivity

behavior and demarcate the cutting time. It fitted a multiple regression model that explained 93.25% of the variability of the cutting time concerning the density, fat and non-fat solid content of the milk, pasteurization temperature, retention time, and coagulation temperature. This demonstrated the accuracy of estimating technological efficiency indicators using the adjusted model with three validation runs. The analysis of the yield by Partial Least Squares established a mathematical model with 10 operating variables with a prediction squared error of 4.75. Based on the effects of the variables in these models and under the most favorable operating conditions for curd formation, the yields can reach to 17.79%. Working under those conditions, an additional 21.63 kg of curd can be achieved for 1000 L of milk, resulting in a significant economic effect of 50.00 USD.

Keywords

Cutting time; electric conductivity; enzymatic coagulation; fresh cheese; multivariate methods; yield.

Introducción

La leche es un alimento básico en la alimentación humana, en todas las etapas de la vida y una materia prima para la industria transformadora¹, con una composición química muy compleja y completa. Su aptitud quesera está determinada esencialmente, por las propiedades de coagulación con cuajo, que a su vez determinan el rendimiento quesero. Cualquier variación en el contenido y composición de proteínas, afecta las propiedades de coagulación y la formación del coágulo²⁻³. Se ha comprobado que es afectada, además, por indicadores de calidad como el recuento de células somáticas³⁻⁴. Un alto contenido de células somáticas en leche es indicativo de la existencia de mastitis bovina. Durante esta enfermedad de la ubre, los cambios en la concentración de minerales en la leche, provocan un aumento de la conductividad eléctrica⁵, aunque otros factores como la temperatura, el pH y la concentración de grasa, también tienen un efecto en esta medición⁶.

El queso fresco es un derivado lácteo, obtenido por coagulación enzimática, fenómeno fisicoquímico que se conoce desde hace milenios⁷. En este proceso la formación del gel se debe a los cambios que tienen lugar en las micelas de caseína y está combinada con un proceso de agregación. En la práctica industrial actual, la decisión sobre el final de la coagulación o momento de corte de la cuajada se realiza a partir de criterios empíricos por el maestro quesero. Esto implica gran variabilidad o falta de estandarización en el control del proceso, así como bajo y muy variable aprovechamiento de los componentes de la leche. Económicamente es fundamental obtener un buen rendimiento y para ello es imprescindible controlar todo el proceso. Un corte prematuro de la cuajada, cuando aún es excesivamente frágil, da lugar a una pérdida de rendimiento por aumento de finos de caseína y grasa en el suero⁸, mientras que un corte tardío produce un aumento de humedad de la cuajada y una disminución de calidad. Estas razones sugieren la necesidad de contar con un método adecuado de

determinación del tiempo óptimo de corte en la fabricación de queso⁹⁻¹⁰. Teniendo en cuenta que durante la coagulación ocurren procesos bioquímicos que modifican la concentración electrolítica del medio y dado que los métodos instrumentales se caracterizan por poseer una alta estabilidad y precisión, se partió de la hipótesis de que era posible establecer el tiempo de corte de la cuajada a partir de las mediciones de la conductividad eléctrica y ajustar modelos probabilísticos que lo incluyan.

Por todo lo antes planteado esta investigación tuvo como objetivo general establecer las condiciones de operación en la producción de queso fresco que permitan incrementar el rendimiento basado en los modelos matemáticos que relacionan este indicador con los parámetros de mayor peso en proceso productivo, lo que imprime novedad al resultado obtenido, ya que no se han reportado en la literatura técnica modelos multivariados que describan la relación entre variables estudiadas ni se había realizado el análisis de esta tecnología con modelos de este tipo.

Materiales y métodos

El proceso experimental investigativo tuvo lugar en las instalaciones de una planta piloto de lácteos con capacidad productiva de 5000 L de leche al día. Las materias primas empleadas para el proceso de producción del queso fresco incluyeron leche entera fresca, cuajo microbiano, solución de cloruro de calcio al 50 %, sal y cultivos lácticos mesófilos y termófilos.

El proceso de formación de la cuajada fue evaluado con seis muestras durante los 40 min posteriores a la adición del cuajo y con espacio de 5 min, mediante control de la conductividad eléctrica, con el empleo de un medidor multipropósito portátil 3430 de WTW. Con los valores registrados, se realizaron gráficos de conductividad contra tiempo y se analizó su comportamiento.

Para obtener un modelo matemático que permita estimar el momento de corte, se desarrollaron 12 producciones determinando el tiempo de corte por el comportamiento de la conductividad y realizando las mediciones de la densidad, contenidos en grasa y sólidos no grasos de la leche empleando la norma cubana correspondiente¹¹, y la temperatura de pasteurización, tiempo de retención y temperatura de coagulación. La tabulación y organización de estos datos fue realizada en el programa Microsoft Excel y mediante el Statgraphics Centurion XV se logró ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre tiempo de corte (min) y las variables independientes medidas. La calidad de ajuste del modelo se evaluó considerando un valor del coeficiente de determinación superior al 90 %, teniendo en cuenta la significación de los coeficientes para cada variable, a partir de una prueba F de Fisher y por análisis de la independencia de los residuos a través del estadístico de Durbin-Watson (DW). El modelo ajustado fue empleado para predecir el tiempo de corte en tres producciones posteriores y se validaron los resultados en cuanto a

rendimientos y pérdidas del proceso. Fue calculado como indicador de eficiencia tecnológica, el aprovechamiento de componentes.

Para la modelación matemática del rendimiento se estudiaron otros ocho procesos productivos de queso fresco mediante el control de 10 variables independientes que incluyen los valores de conductividad eléctrica, grasa, sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), pH y sólidos totales de la leche¹²⁻¹³, así como las temperaturas de coagulación, cocción, pasteurización y los tiempos de retención y coagulación. El análisis multivariado se realizó con Statgraphics Centurion XV mediante las etapas siguientes:

a) Cálculo de los componentes principales: Se consideró un porcentaje superior a 85 % de la variable explicada en la selección del mínimo de componentes.

b) Procedimiento para el análisis por mínimos cuadrados parciales (MCP): Se tuvieron en cuenta tres componentes principales y 10 variables independientes para obtener los modelos de rendimiento real.

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) y la validación de los modelos fue realizada por el método “sacar uno a la vez”. Se ajustaron estos modelos para las variables codificadas y también sin codificar. El modelo codificado fue utilizado para determinar las variables independientes de mayor peso en la variable dependiente y el modelo sin codificar se empleó para simular el proceso y evaluar alternativas de mejora en las condiciones de operación, buscando un incremento del rendimiento en la etapa. Para estimar el efecto económico de trabajar bajo las condiciones seleccionadas, se calculó el beneficio económico considerando el rendimiento estimado y el mayor rendimiento experimental.

Adicionalmente el modelo de MCP ajustado fue validado con tres producciones. Los lotes fueron muestreados para la determinación de humedad y grasa en el caso de los quesos empleando las normas cubanas correspondientes. Se determinó el rendimiento real obtenido y el rendimiento ajustado (fórmula de Maubois y Mocquot) que permite conocer la posible desviación del rendimiento obtenido (real), con respecto a la composición normada para el queso (50 % de humedad).

Resultados y discusión

La figura 1 presenta los valores de conductividad eléctrica medidos en el tiempo durante la formación de la cuajada en las seis producciones estudiadas. En estas curvas se aprecia un comportamiento similar al descrito por Tsouli¹⁴ en sus experimentos. La conducta mostrada puede enmarcar tres fases, definidas por una etapa inicial muy inestable caracterizada por aumentos y disminuciones hasta un punto bajo de conductividad entre los 15 - 25 min y luego un punto alto sobre los 30 min. El aumento de la conductividad durante los primeros 15 min puede considerarse que guarda relación con la restitución del calcio iónico de la leche, debido a la incorporación de cloruro de calcio en solución y

al aumento del CO₂ debido a la agitación de la leche. Al aumentar la concentración de un electrolito hay un aumento de la conductividad porque el número de portadores de carga por unidad de volumen normalmente aumenta al aumentar la concentración de electrolito. Este efecto es contrarrestado por el inicio de la coagulación, la aparición de caseinmacropéptido (CMP) y para κ -caseína con efectos marcados opuestos sobre la conductividad y además del empleo de calcio iónico para producir la agregación lo que provoca la reducción de la conductividad.

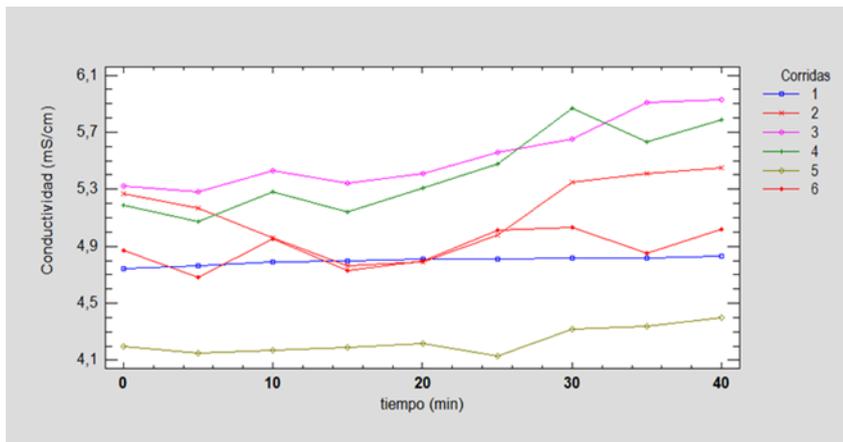


Figura 1. Conductividad vs. tiempo durante el proceso de formación de la cuajada.

Fuente: propia

La segunda fase, entre los 15 y 25 min que exhibe una disminución de la conductividad hasta alcanzar un valor mínimo. Se entiende que haya una disminución debido a que la formación del gel, luego de una coagulación enzimática, requiere de la participación del calcio iónico para la formación de puentes entre las micelas desestabilizadas de caseína. Por otro lado, el aumento de la viscosidad del coágulo durante el proceso¹³, reduce la movilidad de los iones provocando un descenso en la conductividad.

La tercera fase se caracteriza por el aumento de la conductividad, influenciado por la presencia en el medio del suero lácteo que se separa del coágulo, su concentración en minerales alrededor de 0,6 % y su menor viscosidad, permite mayor movilidad de los iones y un aumento de la conductividad. Además, la presencia de CMP en el suero de leche en concentraciones relativamente elevadas (1,2 a 1,5 g/L), que es un péptido de carácter ácido, fuertemente polar provoca que uno de los extremos de la molécula esté cargado positivamente, mientras el otro mantiene carga negativa, lo que favorece el aumento de la conductividad. El momento de corte debe coincidir con el punto más alto de la curva cuando ocurre el salto brusco de conductividad, que se puede asociar a la liberación del suero de la cuajada. Para la mayoría de las corridas el punto bajo coincide entre los 20 y 25 min y el punto alto entre los 25 y 30 min, que indica que el tiempo en que se debe realizar el corte de la cuajada está entre estos dos últimos valores.

Las tablas 1 y 2 muestran los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el tiempo de corte (t_{corte}) y cinco variables independientes. El mayor valor P reportado en la tabla 1 corresponde a la temperatura de pasteurización y es igual a 0,024, debido a que es menor que 0,05, este término es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0 %, lo que indica que el modelo no podría simplificarse pues todas las variables independientes estudiadas son significativas. Puesto que el valor-P en la tabla 2 es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0 %.

El estadístico R^2 obtenido indica que el modelo explica el 93,25 % de la variabilidad en el tiempo de corte. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,41. El estadístico de Durbin-Watson (1,22872) muestra un valor-P (0,1812) mayor que 0,05 por lo que no hay autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0 %, basada en el orden en que se presentan en el archivo de datos. Los resultados de estas pruebas confirman la validez estadística del modleo ajustado.

Tabla 1. Ajuste del modelo de regresión lineal múltiple para la relación entre los parámetros evaluados.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor-P
CONSTANTE	2515,80	848,59	2,965	0,023
ρ_{leche} (kg/L)	-2627,49	829,55	-3,167	0,019
SNG (%)	9,26	2,49	3,719	0,010
$T_{\text{coag.}}$ (°C)	1,14	0,27	4,207	0,006
$t_{\text{ret.}}$ (min)	0,77	0,15	5,078	0,002
$T_{\text{past.}}$ (°C)	1,26	0,42	2,999	0,024

Nomenclatura: tiempo de corte (t_{corte}) y la densidad de la leche (ρ_{leche}), los sólidos no grasos (SNG), el tiempo de coagulación ($T_{\text{coag.}}$), el tiempo de retención ($t_{\text{ret.}}$) y la temperatura de pasterización ($T_{\text{past.}}$).

Fuente: propia

Tabla 2. Análisis de varianza en el ajuste del modelo de regresión lineal múltiple para la relación entre tiempo de corte (t_{corte}) y las variables independientes.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	482,089	5	96,4177	16,57	0,0019
Residuo	34,9114	6	5,81856		
Total (Corr.)	517,0	11			

Fuente: propia.

La ecuación (1) es el modelo ajustado para el tiempo de corte:

$$t_{\text{corte}} = 2515,80 - 2627,49 \rho_{\text{leche}} + 9,26 \text{SNG} + 1,14 T_{\text{coag.}} + 0,77 t_{\text{ret.}} + 1,26 T_{\text{past.}} \quad (1)$$

Los valores predichos, usando el modelo ajustado, del tiempo de corte para las tres corridas de validación resultaron en 29,9; 28,2 y 27,5 min, el error estándar para los valores predichos no exceden el 5 % con intervalos de confianza del 95,0% para pronósticos.

La tabla 3 muestra los porcentajes de aprovechamiento de grasa y sólidos totales, en la que se puede observar que las pérdidas en suero por conceptos de grasa y sólidos totales, se presentan acorde a los valores esperados¹⁴ que son alrededor de 10 y 48 %, respectivamente. Este comportamiento demuestra la exactitud en la estimación del momento de corte por el modelo ajustado y el aseguramiento de las operaciones posteriores.

Los valores reportados para el aprovechamiento de componentes resultan similares a los descritos por Hernández-Monzón¹⁵ en producciones con firmeza óptima para realizar el corte de la cuajada, definida por un método instrumental.

Las correlaciones significativas de las variables estudiadas con una probabilidad de más de un 95 % de confianza se presentan en la tabla 4. En ella 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 0,72. Algunas de estas correlaciones son directas (signo positivo) y otras son inversas (signo negativo).

Tabla 3. Resultados en el aprovechamiento de grasa y sólidos totales en la coagulación.

Producción	Aprovechamiento grasa (%)	Aprovechamiento sólidos totales (%)
1	86,29	49,96
2	89,72	49,29
3	91,11	53,10
Promedio	89,04	50,78

Fuente: propia.

Tabla 4. Parámetros de operación correlacionados.

Correlaciones	Valor - p	Coefficiente de correlación
$Cd_{\text{leche}} - \text{°Brix}_{\text{leche}}$	0,0054	0,8662
$R_{\text{real}} - Cd_{\text{leche}}$	0,0125	0,8209
$R_{\text{real}} - \text{°Brix}_{\text{leche}}$	0,0009	0,9282
$ST_{\text{leche}} - G_{\text{leche}}$	0,0318	0,7509
$t_{\text{coag.}} - Cd_{\text{leche}}$	0,0396	-0,7304

$t_{ret.} - Cd_{leche}$	0,0341	0,7446
$pH_{leche} - T_{cocc.}$	0,0242	0,7741
$R_{real} - t_{ret.}$	0,0139	0,8143
$T_{coag.} - t_{coag.}$	0,0358	0,7399
$t_{ret.} - T_{past.}$	0,0236	-0,7759

Leyenda: conductividad leche (mS/cm): Cd_{leche} , Grasa de la leche (%): G_{leche} , °Brix de la leche: $°Brix_{leche}$, pH de la leche: pH_{leche} , Rendimiento Real (%): R_{real} , Sólidos Totales de la leche (%): ST_{leche} , Temp. Coagulación (°C): $T_{coag.}$, Temp. Cocción (°C): $T_{cocc.}$, Temp. Pasteurización (°C): $T_{past.}$, Tiempo de coagulación (min): $t_{coag.}$, Tiempo de retención (min): $t_{ret.}$

Fuente: propia.

La tabla 5 presenta los resultados del análisis de componentes principales obtenidos con el programa *Statgraphics Centurion XV*, en la que se aprecia que con tres componentes se explica el 86,4 % de la varianza total de los puntos experimentales y con cuatro componentes el 92,7 % de la varianza total. Ambos valores son aceptables, considerando que se trata de producciones experimentales a escala de banco. Por otra parte, un quinto componente incrementaría muy poco (en solo un 3 %) el acumulado de la varianza explicada, por lo que se justifica el uso de tres o cuatro componentes en el ajuste por MCP, con vistas a obtener un modelo matemático que establezca la relación funcional entre las variables del proceso y los rendimientos.

Tabla 5. Resultados del análisis de componentes principales.

Componente	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1	47,922	47,922
2	25,529	73,451
3	12,936	86,387
4	6,319	92,706
5	3,248	95,954
6	2,451	98,405
7	1,595	100,000

Fuente: propia.

Las tablas 6 y 7 presentan el análisis de varianza y de calidad de ajuste de los modelos de MCP. El modelo de rendimiento real presentó buena calidad de ajuste para un 95 % de confiabilidad, pues el valor-p del análisis de varianza (0,0007) resultó inferior a 0,05; límite superior para esta prueba.

Tabla 6. Resultados del ajuste de mínimos cuadrados parciales para el rendimiento real.

Fuente	Suma de cuadrados	de Grados de libertad	de Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P

Modelo	32,209	3	10,736	67,230	0,00070
Residuo	0,638	4	0,159		
Total (corr.)	32,848	7			

Fuente: propia.

Además, el PRESS fue un valor de 4,746 para tres componentes y presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 98,06 %, 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, tal y como se ha empleado en estudios anteriores¹⁶.

La tabla 8 muestra los coeficientes con las variables estandarizadas y sin estandarizar para los modelos de rendimiento real.

Tabla 7. Calidad de predicción para el rendimiento real.

Componente	% Variación en Y	R^2	Cuadrado medio (PRESS)	R^2 predicción
1	82,4358	82,43	1,896	53,814
2	12,7739	95,20	2,515	38,741
3	2,84565	98,05	4,746	0,0

Fuente: propia.

Como resultado de evaluar las variables del proceso sobre el rendimiento real 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 17,79 %. Al seleccionar los niveles de cada variable a sustituir en el modelo, se tuvo en cuenta que no se hubiera contradicción entre los valores que se les asignaban y que en ninguna condición se presentaran posibles efectos negativos en el proceso. Para estimar el efecto económico de trabajar bajo estas condiciones propuestas, se consideró una producción de 1000 L de leche con una densidad de 1,030 kg/L. Si el rendimiento es de 17,79 % (183,237 kg) se obtendrían 21,63 kg de cuajada por encima de lo que se obtuvo en la producción de mayor rendimiento (15,69 % = 161,607 kg), por lo que si se considera que en las etapas posteriores a la formación de la cuajada las pérdidas no son muy grandes implicaría un ingreso adicional que puede ascender a 50.00 USD por cada 1000 L de leche.

Tabla 8. Coeficientes con las variables estandarizadas y no estandarizadas del modelo de rendimiento real.

Variable	Variable dependiente Rendimiento real	
	Coefficientes estandarizados	Coefficientes no estandarizados
Constante	0,00	-20,29

Cd_{leche}	0,26	1,49 mS/cm
G_{leche}	12,31	68,23 %
$^{\circ}Brix_{leche}$	0,449	0,838
pH_{leche}	0,152	3,674
ST_{leche}	0,044	0,089 %
$T_{coag.}$	0,031	0,022 °C
$T_{cocc.}$	-0,091	-0,191 °C
$T_{past.}$	-0,125	-0,071 °C
$t_{coag.}$	0,168	0,049 min
$t_{ret.}$	0,294	0,071 min

Fuente: propia.

Conclusiones

Las curvas de conductividad contra tiempo de coagulación permitieron identificar al menos tres fases para el comportamiento de la conductividad. El corte de la cuajada debe realizarse cuando ocurre un cambio brusco de la conductividad, lo que sucedió entre los 25 y 30 min. Se logró ajustar un modelo de regresión lineal múltiple que explica el 93,25 % de la variabilidad del tiempo de corte respecto a la densidad, los contenidos en grasa y sólidos no grasos de la leche, la temperatura de pasteurización, el tiempo de retención y la temperatura de coagulación. Los resultados de los indicadores de la eficiencia tecnológica para las tres corridas de validación del modelo resultaron acorde a los valores esperados, lo que demuestra la exactitud en la estimación del momento de corte por el modelo ajustado y el aseguramiento de los cuidados posteriores. El modelo por Mínimos Cuadrados Parciales que establece la relación funcional entre el rendimiento real y las 10 variables de operación, posee un error cuadrático de predicción igual a 4,746, lo que indica la posibilidad de su empleo para simular esta etapa. Bajo las condiciones de operación más favorables en la etapa de obtención de la cuajada se pueden obtener rendimientos de hasta un 17,79 %. Al trabajar bajo estas condiciones se pueden lograr 21,63 kg de cuajada adicionales por cada 1000 L de leche, por lo que se incrementarán las ganancias en las producciones.

Contribución de los autores: conceptualización, Eileen Rodríguez González, metodología, Eduardo García Noa, validación, Eduardo García Noa, análisis, Eileen Rodríguez González, Eduardo García Noa, investigación, Eileen Rodríguez González, Eduardo García Noa, redacción, Eileen Rodríguez González, revisión y edición, Eduardo García Noa

Financiamiento: esta investigación no recibió financiamiento externo

Declaración del buró de revisión institucional: no aplicable

Declaración del informe de consentimiento: no aplicable

Conflicto de intereses: los autores expresan que no hay conflicto de intereses

Referencias

1. Huppertz, T., Chia, L.W., Milk protein coagulation under gastric conditions: A review. *International Dairy Journal*, **2020**. 113: Article INDA 104882. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104882>.
2. Zhang, L., Zhou, R., Zhang, J., Zhou, P., Heat-induced denaturation and bioactivity changes of whey proteins. *International Dairy Journal*, **2021**. 123: Article 105175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105175>
3. Silvestre- de Oliveira, I.L., do Nascimento-Rangel, A.H., Coutinho-Madruga, R., Morais-de Lima, D., da Silva-Gomes, R.D., Cavalcanti-Sales D., Felipe-de Oliveira, J.P., da Silva-Bezerra, J., Composición fisicoquímica, rendimiento y aceptación sensorial del queso fresco Coalho obtenido a partir de leche de vaca cebú. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, **2021**. 12(2): p. 337-352. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5600>
4. Ye, A., Cui, J., Carpenter, E., Prosser, C., Singh, H., Dynamic in vitro gastric digestion of infant formulae made with goat milk and cow milk: Influence of protein composition. *International Dairy Journal*, **2019**. 97(): p. 76-85. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.002>.
5. Teter, A., Kędzierska-Matysek, M., Barłowska, J., Król, J., Brodziak, A., Florek, M., The effect of humic mineral substances from oxyhumolite on the coagulation properties and mineral content of the milk of Holstein-Friesian cows. *Animals*, **2021**. 11: Article 1970. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11071970>
6. Vásquez, J.A., Novoa, C.F., Carulla, J.E., Efecto del recuento de células somáticas sobre la aptitud quesera de la leche y la calidad fisicoquímica y sensorial del queso campesino. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, **2014**. 61(2): p. 171-185.
7. Johri, A., Arora, N., Maansi, Mrigesh, M., Singh, S. y Singh, J., Milk electrical conductivity: an early tool to detect mastitis in buffaloes. *The Pharma Innovation Journal*, **2023**. 12(4): p. 578-580.
8. Yanthi, N., Said, S., Anggraeni, A., Damayanti, R., Muladno., Correlation of electric conductivity values with the dairy milk quality. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, **2018**. 23(2 Th): p. 82-88.
9. Sørensen, J., Palmer, D.S., Qvist, K.B., Schiøtt, B., Initial stage of cheese production: a molecular modeling study of bovine and camel chymosin complexed with peptides from the chymosin-sensitive region of k-casein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011. 59(): p. 5636–5647. DOI: <https://doi.org/dx.doi.org/10.1021/jf104898w>.

10. Hammam, A., Martínez-Monteaquedo, S., Metzger, L., Alsaleem, K., Effect of ultrasound intensity on the functional characteristics of rennet-coagulated skim milk. *Journal of Food Process Engineering*, **2021**. 44(9): Article e13800. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13800>.
11. NEIAL-110-6737-201: 2023 Producto lácteo. Queso fresco de leche de vaca. Norma de control del proceso productivo, (2023)
12. Amaro-Hernández, J.C., Olivas, G.I., Acosta-Muñiz, C.H., Gutiérrez-Méndez, N., Sepulveda, D.R., Structure rearrangement during rennet coagulation of milk modifies curd density. *Journal of Dairy Science*, **2020**. 103(4): p. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2019-16998>.
13. Strani L, Grassi S, Alamprese C, Casiraghi E, Ghiglietti R, Locci F, et al. Effect of physicochemical factors and use of milk powder on milk rennet-coagulation: Process understanding by near infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Control*. **2021**; 119:107494. Tsouli, J., Ville, A., Valla, H., Gilet, M., Contrôle de la fabrication du fromage Emmenthal par la méthode conductrimétrique. *Le Lait*, **1976**. 56(559_560): p. 600-607. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00928743> (INRA Editions).
14. Hernández-Monzón, A., Vega-Robaina, Y., Díaz-Abreu, J.A., Eficiencia tecnológica del queso tipo Lunch en relación con el momento de corte de la cuajada. *Tecnología Química*, **2019**. 40(1): p.102-12.
15. Gutiérrez-Cordero E, García-Noa E, Sariago-Toledo Y. Análisis multivariado de índices de consumo en procesos de obtención de leche de soya. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. **2023**;24(3):e2959. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:2959.

/ **Received:** 10 May 2024 | **Accepted:** 10 June 2024 | **Published:** 15 June 2024 |

Citation: Rodríguez González E, García Noa E. *Análisis multivariado con la conductividad eléctrica durante la coagulación en la producción de queso fresco*. *Bionatura*. **2024** ;9(2): DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.1>

Peer review information: Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).