

NOTA TÉCNICA

COMPARACIÓN DE LA TITULACIÓN DE LA ACIDEZ DE LECHE CAPRINA Y BOVINA CON HIDRÓXIDO DE SODIO Y CAL COMÚN SATURADA¹

Alejandro Chacón Villalobos²

RESUMEN

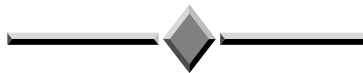
Comparación de la titulación de la acidez de leche caprina y bovina con hidróxido de sodio y cal común saturada. El presente estudio fue efectuado en el módulo de procesamiento de derivados lácteos de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica, durante los meses de mayo y junio del 2005. Una muestra compuesta de leche de cabra (*Capra hircus*) de un hato Lamancha y una muestra compuesta de leche de vaca de un hato Jersey (*Bos taurus*), formadas ambas por la mezcla de tres ordeños aleatorios diferentes, fueron pasteurizadas (65 °C/ 30 min.) y almacenadas durante seis días a 6 °C. Dos operarios especializados del módulo, analizaron por sextuplicado cada 48 horas (iniciando a las 0 horas) las muestras de ambos tipos de leche por medio de una valoración convencional de la acidez con una disolución patrón de NaOH 0,1N, y de una valoración con tres disoluciones saturadas de cal preparadas cada una con marcas comerciales diferentes. Los datos se evaluaron por medio de un diseño factorial para dos niveles del factor “analista” (analista A y B), cuatro niveles del factor “tipo de valoración” y cuatro niveles del factor “tiempo de almacenamiento”. La variable respuesta evaluada fue el porcentaje de acidez expresada como ácido láctico. Para los dos tipos de leche, los métodos de valoración que emplearon disoluciones saturadas de cal mostraron ser significativamente diferentes al método basado en NaOH ($p \leq 0,05$). En ambos casos, para cada nivel del “tipo de valoración” determinado, el efecto de la determinación del porcentaje de acidez expresado como ácido láctico no se ve afectado por el analista.

Palabras claves: Acidez, leche de cabra, leche de vaca, valoración, calidad.

ABSTRACT

Comparison of sodium hydroxide and saturated lime solutions as titration agents of cow and goat milk. The evaluation was conducted at the Dairy Processing Facility of the Alfredo Volio Mata Experimental Station of the University of Costa Rica, during the months of May and June of 2005. Two compose milk samples of both La Mancha goats (*Capra hircus*) and Jersey cows (*Bos taurus*) obtained from mixing three different milking batches randomly selected, were pasteurized (65 °C/ 30 min.) and stored at 6 °C during six days. Two different analysts evaluated both types of milk for their acidity every 48 hours using the conventional titration method with NaOH 0,1N and a method based on saturated lime solutions. Three different solutions prepared with three different brands of lime were used. A statistical factorial design (two levels for factor “analyst”, four for “sort of titration” and four for “time”) was used for analyzing the data. The percentage of lactic acid was the response factor. For both types of milk, the method based on saturated lime solutions was significantly different when compared with the NaOH based method ($p \leq 0,05$). In both cases, for every level of “sort of titration” there is no effect on the determination of acidity because of the “analyst”.

Key words: Acidity, goat milk, cow milk, titration, quality.



¹ Recibido: 30 de agosto, 2005. Aceptado: 3 de febrero, 2006. Inscrito en Vicerretoría de Investigación N° 737-A4-040 & N°737-98-005

² Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La acidez de la leche inmediatamente después del ordeño es generada principalmente por los fosfatos, las caseínas y el dióxido de carbono que constituyen parte de sus componentes principales (Kirk *et al.* 1999). Este parámetro se modifica especialmente a través de un proceso de fermentación atribuible principalmente a los microorganismos del grupo de los *Streptococcus* lácticos (Nasanovsky *et al.* 2003), quienes forman ácido láctico a partir de la lactosa. Esta acidez se expresa como el porcentaje de ácido láctico presente en la muestra, y ronda valores de 0,15% a 0,16% en la leche fresca, siendo tolerable para efectos de industrialización un máximo de 0,18 % (Herrera 1995).

Leches que no presentan una adecuada calidad higiénico-sanitaria pueden presentar valores elevados de acidez debida a un aumento de la concentración de ácido láctico, a causa de la contaminación, fundamentalmente por bacterias mesófilas aerobias fermentadoras de lactosa.

Durante los procesos fermentativos, el pH de la leche baja de un valor inicial aproximado a los 6,6 hasta casi 4,3, mientras que el porcentaje de ácido láctico supera fácilmente los valores de 0,18% (Alais 1988; Kirk *et al.* 1999).

Es importante que la leche no se encuentre fermentada antes de su ingreso a las plantas de producción, dado que su carácter ácido provoca una serie de reacciones colaterales indeseables para la calidad. El valor de acidez es por lo tanto un indicador de la contaminación microbiana, y a la vez un criterio muy importante de calidad (Chacón 2004).

La determinación de la acidez titulable de la leche es quizás el análisis más rutinario que se efectúa en las industrias lecheras de todo el planeta, siendo el mismo vital en el aseguramiento de la efectividad de los procesos a los que se somete la leche con el objetivo de transformarla en los diferentes derivados lácteos (Goded y Mur 1964; Chacón 2003). Dado que la información generada por este análisis suele ser determinante en el momento que se decide el destino de lotes considerables de leche, es necesario que cuando la acidez se determine, los datos sean fidedignos (Casado 1965; Alais 1988).

En Costa Rica la determinación de la acidez de la leche, ya sea por titulación u otros métodos instrumentales, es una práctica común en las empresas industriales medianas y grandes, aspecto que es contrastante con una gran cantidad de productores artesanales que omiten generalmente esta evaluación de la calidad (Chacón

2003; Díaz 2004). En muchos de los casos estas omisiones se dan debido al: desconocimiento, desinterés asociado a la falta de divulgación e incluso a razones económicas. No obstante, las notorias mejorías en calidad en términos de inocuidad, rendimientos y capacidad de producción que suelen experimentar los pequeños productores una vez implementados estos análisis, hacen pensar que su adopción será bien recibida por los mismos una vez que sean capacitados, y especialmente si los costos asociados se mantienen bajos (Jiménez 2004).

La acidez de la leche generalmente se determina por medio de un análisis volumétrico de titulación que emplea disoluciones patrón normalizadas de una base a modo de valorante (como el hidróxido de sodio de concentración 0,1 N) y fenoftaleína como indicador para poner en evidencia el punto final de la valoración (Kirk *et al.* 1999).

Si bien es cierto, el porcentaje de ácido láctico de la leche puede determinarse también por técnicas enzimáticas, potenciométricas, espectrofotométricas y hasta por cromatografía de gases (Kirk *et al.* 1999), muchos de estos procedimientos no están al alcance de los pequeños y medianos productores que conforman una gran parte de la agroindustria de los países latinoamericanos (Díaz 2004), ya sea por limitaciones económicas o técnicas.

La relación matemática para el porcentaje de ácido láctico en función del volumen de titulante empleado y los gramos de leche valorados se muestra en la Ecuación 1 (Wagner 1989; Herrera 1995):

$$\% \text{ Ácido láctico} = \frac{ml_{NaOH\ 0,1\ N} * (0,0090 \pm 0,0005) * 100}{g \text{ muestra}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

A pesar de que la valoración con NaOH 0,1 N es de los ensayos más simples, difundidos y rápidos de efectuar, muchas fábricas artesanales tienen problemas con el manejo de químicos estandarizados, lo que puede dar al traste con un adecuado análisis al perder estos reactivos el grado estándar (Casado 1965; Chacón 2003). El mantener la disolución de NaOH 0,1 N de modo que conserve su concentración declarada requiere cuidado, especialmente debido a los fenómenos de carbonatación de estas disoluciones que ocurren sin previo aviso. Las disoluciones estandarizadas de hidróxido de sodio además presentan el problema de tener precios considerados prohibitivos para el pequeño productor. La posibilidad de emplear, en lugar del NaOH, disoluciones saturadas de cal que no necesariamente sean de alta pureza tendría no solo un impacto económico dado su menor precio, si no que eliminaría el problema de la

conservación tan celosa que necesita el patrón estandarizado.

En disoluciones saturadas de cal se establece teóricamente un equilibrio dependiente de la temperatura, de modo tal que a una temperatura determinada, una disolución de cal debe presentar una concentración definida.

Dado lo anterior, y según lo propuesto por Goded y Mur (1964), es posible expresar el porcentaje de acidez teórico de la leche en función de la temperatura según la fórmula expresada en la Ecuación 2:

$$\% \text{ acidez} = ml_{cal} * (0,0493 - 0,0004T_{cal}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde

ml_{cal} : mililitros de disolución saturada de cal empleados al titular.

T_{cal} : temperatura medida de la disolución de cal al momento de titular ($^{\circ}\text{C}$).

Mostrar la factibilidad de un método artesanal basado en el modelo anterior, y que emplee cal viva comercial estándar (entre 83% - 87% óxido de calcio) de venta común, podría implicar un significativo ahorro para el lechero deseoso de encontrar alternativas económicas para mantener estándares de calidad adecuados. Así mismo el corroborar si este método es robusto al cambio de analista es importante, dada la multifuncionalidad que en empresas pequeñas y medianas suelen presentar los operarios. Está de más hacer énfasis en la importancia de que dicho método sea aplicable a diferentes tipos de leche, y sea robusto a diversos tiempos de almacenamiento e incluso a los mismos problemas asociados a su pureza.

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar por medio de un ensayo práctico efectuado en un módulo de procesamiento de derivados lácteos si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos al efectuar una titulación de la acidez de la leche con hidróxido de sodio 0,1N y aquellos obtenidos al efectuar la misma titulación con disoluciones saturadas de cal comercialmente disponible, lo anterior para diferentes niveles de concentración de ácido láctico generadas durante el proceso de almacenamiento de la leche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se llevó a cabo entre mayo y junio del año 2005, en las instalaciones del Módulo de Procesamiento de Productos Lácteos Caprinos de la Estación

Experimental Alfredo Volio Mata de la Universidad de Costa Rica (EEAVM), ubicado en el Alto de Ochomogo en la provincia de Cartago, Costa Rica.

Procedimientos

Se prepararon tres disoluciones saturadas madre (cinco litros), cada una a partir de muestras diferentes de cal común adquiridas para tal efecto en ferreterías ubicadas fuera de la capital de Costa Rica. Cada disolución se preparó al disolver directamente la cal en agua desionizada por agitación constante a temperatura ambiente (25°C), de modo tal que se obtuviese un precipitado visible en el fondo del recipiente de preparación. Paralelamente se prepararon con base en cálculos estequiométricos teóricos cinco litros de una disolución de NaOH, partiendo de agua desionizada y NaOH sólido. Se tituló la misma con una disolución patrón certificada de HCl $0,0115 \pm 0,0002$ mol/l. A partir de la titulación se determinó estequiométricamente una concentración del patrón de NaOH igual a $0,0112 \pm 0,0002$ mol/l.

Tres muestras de leche de cabra de ocho litros cada una y provenientes de ordeños diferentes seleccionados aleatoriamente en el mismo día se pasteurizaron a una temperatura de 65°C durante 30 minutos. Después de ese período se enfriaron empleando un baño de hielo hasta llevarlas a 6°C . Tres muestra homólogas de leche de vaca se recolectaron, pasteurizaron y preservaron de idéntica manera. A partir de las tres muestras de cada tipo de leche se formó una muestra compuesta, una de leche de cabra y otra de vaca. Los envases de recolección y mezclado se lavaron y desinfectaron previamente de modo que se garantizará la ausencia de microorganismos fermentativos indeseables.

Dos analistas provenientes del módulo de elaboración de productos lácteos de la EEAVM y con formación previa en titulación de la leche, valoraron por sextuplicado a lo largo del tiempo las muestras compuestas tanto para leche de cabra como de vaca, empleando las cuatro disoluciones patrón que se prepararon: tres patrones de cal y uno de hidróxido de sodio. Las valoraciones iniciaron en el tiempo 0 horas (inmediatamente después del enfriamiento posterior a la pasteurización), y se efectuaron cada 48 horas durante cuatro sesiones de valoración. Durante el periodo de las valoraciones ambas muestras compuestas de leche se almacenaron en una cámara de refrigeración a una temperatura de 6°C efectuando en todo momento una manipulación aséptica.

Para las valoraciones con la disolución patrón de NaOH $0,0112 \pm 0,0002$ mol/l, se siguió el procedimiento volumétrico descrito por Herrera (1995) y Kirk *et al*

(1999). Este consistió en ajustar la temperatura de la muestra a unos 20 °C. Posteriormente se tomaron tres porciones de 9 g de la muestra de leche y se depositaron en erlenmeyers limpios y secos. Se agregaron dos gotas de indicador de fenofaleína a cada erlenmeyer con las muestras de leche, adicionando 15 ml de agua destilada para facilitar la valoración. En forma lenta y con agitación manual continua se valoró cada muestra hasta obtener el viraje del indicador (punto final). Se midió el volumen en mililitros de NaOH requerido por cada muestra y se realizó el cálculo del porcentaje de acidez expresado como ácido láctico empleando la ecuación correspondiente sobre la base de la normalidad reportada y los mililitros de disolución consumidos.

Para las valoraciones con las disoluciones saturadas de cal se siguió un procedimiento volumétrico análogo al descrito. Se midió el volumen vertido y la temperatura en grados centígrados de la disolución patrón, antes de cada valoración empleando un termómetro calibrado. Por medio de la Ecuación 2, y sobre la base de los datos recopilados, se calculó el porcentaje de acidez expresada como ácido láctico.

Diseño experimental

Se evaluaron los datos tanto para la leche de cabra como para la de vaca por separado, por medio de un diseño factorial para dos niveles del factor “analista” (analista A y B), cuatro niveles del factor “tipo de valoración” (NaOH 0,0112 ± 0,0002 mol/l, cal saturada 1, 2 y 3) y cuatro niveles del factor “tiempo de almacenamiento”; la variable respuesta evaluada fue el porcentaje de acidez expresada como ácido láctico. (Cochran y Cox 1973; Box *et al.* 1978; Ríos 1983; Montgomery 1992; Dean y Voss 1999). El modelo estadístico adoptado puede definirse matemáticamente como:

$$X_{ijkl} = \mu + T_i + A_j + P_k + TA_{ij} + TP_{ik} + E_{ijkl}$$

Donde:

X_{ijkl} : Observación l-ésima en el k-ésimo período del j-ésimo analista y el i-ésimo tratamiento.

T_i : Efecto principal del i-ésimo tratamiento.

A_j : Efecto principal del j-ésimo analista.

P_k : Efecto principal del k-ésimo período.

TA_{ij} : Interacción del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo analista.

TP_{ik} : Interacción del i-ésimo tratamiento en el k-ésimo período.

E_{ijkl} : Error

μ : Media

Todas las evaluaciones estadísticas se realizaron por medio del programa JMP-SAS versión 4.04. Las

fuentes que resultaron estadísticamente diferentes, se sometieron a la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS

El análisis estadístico del modelo factorial planteado para las valoraciones de la leche de vaca arrojó un coeficiente de determinación R ajustado igual a 0,9941. Para el modelo evaluado en leche de cabra se obtuvo un coeficiente de determinación R ajustado igual a 0,9943. El coeficiente de determinación mayor a 0,7 en ambos casos afirma que el ajuste del modelo es tal que permite describir y predecir la relación entre los datos que se están evaluando (Morales 2004)³.

El análisis de varianza efectuado tanto para la leche de cabra como para la de vaca muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0,0001$ en ambos casos).

Tanto en la leche de vaca como en la de cabra, para el nivel tiempo de almacenamiento los efectos fueron significativos ($p \leq 0,0001$ en ambos casos), lo cual es atribuible al lógico proceso fermentativo que la leche sufre a medida que progresa el almacenamiento. Conforme avanza el tiempo de almacenamiento, la cantidad de ácido láctico se incrementa en la leche. Por esta razón lógica la prueba de Tukey señala para ambos tipos de leche como la acidez media en todos los tiempos es significativamente diferente ($p \leq 0,05$).

Para ambos tipos de leche los efectos son significativos para el factor “tipo de valoración” ($p \leq 0,0001$ en ambos casos).

En la titulación para la leche de cabra, la prueba de Tukey reveló la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre la valoración con hidróxido de sodio (media = 0,26 %) y las valoraciones efectuadas con las disoluciones de cal para la variable respuesta porcentaje de acidez titulable expresada como ácido láctico. A su vez la valoración con la disolución de cal número uno (media = 0,28 %), número dos (media = 0,28 %) y número tres (media = 0,27 %) fueron significativamente diferentes entre sí ($p \leq 0,05$). En el caso de la leche de vaca, la prueba de Tukey mostró la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre la valoración con hidróxido de sodio (media = 0,28 %) y las valoraciones efectuadas con las disoluciones de cal uno

³ MORALES, I. 2004 Evaluación estadística de titulaciones de la leche. Entrevista. Departamento de Estadística del Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica.

(media= 0,30%), cal dos (media= 0,30%) y cal tres (media= 0,30%). En este caso ninguna de las tres disoluciones de cal presentaron diferencias significativas entre sí ($p \leq 0,05$) en términos del porcentaje de ácido láctico obtenido al emplearlas como valorante.

De los resultados anteriores se desprende que los métodos de valoración que emplean cal saturada arrojarán, indistintamente de la leche empleada como sustrato, valores de acidez titulable porcentual que difieren significativamente de aquellos correspondientes al método estándar con hidróxido de sodio. No es posible por ello recomendar una sustitución directa de dicho método por otro basado en disoluciones saturadas de cal empleando la metodología expuesta, si lo que se busca es una coincidencia exacta de los resultados.

El análisis estadístico señala que tanto para la leche de cabra como para la leche de vaca los efectos no son significativos para el factor “analista” ($p \leq 0,05$).

La interacción entre el factor “analista” y el factor “tipo de valoración” no es significativa ni en la titulación de la leche de cabra ni en la de vaca ($p \leq 0,05$), por lo tanto, se tiene que el efecto de la determinación del porcentaje de acidez expresado como ácido láctico no se ve afectado por el analista para los diferentes niveles del factor tipo de valoración. Los métodos no se ven perturbados entonces por el hecho de que sean efectuados por diferentes analistas.

Las medias de acidez para cada método de titulación a medida que avanza el tiempo se detallan en el Cuadro 1. La relación gráfica de dichos valores se presenta en la Figura 1 para la leche de cabra y en la Figura 2 para la leche de vaca.

La interacción entre los factores “Tipo de valorante” y “tiempo” es significativa en la titulación de la leche de cabra y en la de vaca ($p \leq 0,05$), por lo tanto, se tiene que el efecto de la determinación del porcentaje de acidez expresado como ácido láctico se ve afectado por el tiempo para los diferentes niveles del tipo de valoración. El resultado anterior se puede corroborar en la Figura 1 y en la Figura 2. Los entrecruzamientos entre las líneas manifiestan la interacción, la cual se da en ambos casos en momentos en el tiempo posteriores a los dos días de almacenamiento, o incluso en el momento final como es el caso de la leche de vaca. Del estudio de las gráficas puede denotarse como las valoraciones basadas en disoluciones saturadas de cal tienen la tendencia a sobreestimar el valor de la acidez titulable en comparación con el método basado en hidróxido de sodio, especialmente en las primeras etapas del almacenamiento. Estudios posteriores podrían evaluar la posibilidad de plantear alguna corrección metodológica que pueda equiparar de manera aceptable los resultados, aspecto que pareciera factible dada la relativa uniformidad de tendencias observadas en la Figura 1 y especialmente en la Figura 2.

Cuadro 1. Medias de los valores de acidez obtenidos por medio de los diferentes métodos de titulación a través del tiempo experimental. Cartago, Costa Rica. 2005.

Titulación de la leche de vaca			Titulación de la leche de cabra		
Tiempo	Tratamiento	Acidez Media (%)	Tiempo	Tratamiento	Acidez Media (%)
0	c1	0,18	0	c1	0,18
	c2	0,17		c2	0,16
	c3	0,16		c3	0,15
	n	0,15		n	0,14
2	c1	0,20	2	c1	0,19
	c2	0,19		c2	0,18
	c3	0,19		c3	0,17
	n	0,17		n	0,15
4	c1	0,29	4	c1	0,28
	c2	0,30		c2	0,32
	c3	0,30		c3	0,32
	n	0,28		n	0,30
6	c1	0,54	6	c1	0,47
	c2	0,52		c2	0,47
	c3	0,54		c3	0,44
	n	0,52		n	0,47

c1: Disolución de cal 1; c2: Disolución de cal 2; c3: Disolución de cal 3; n: Disolución de NaOH 0,0112 ± 0,0002 mol/l.

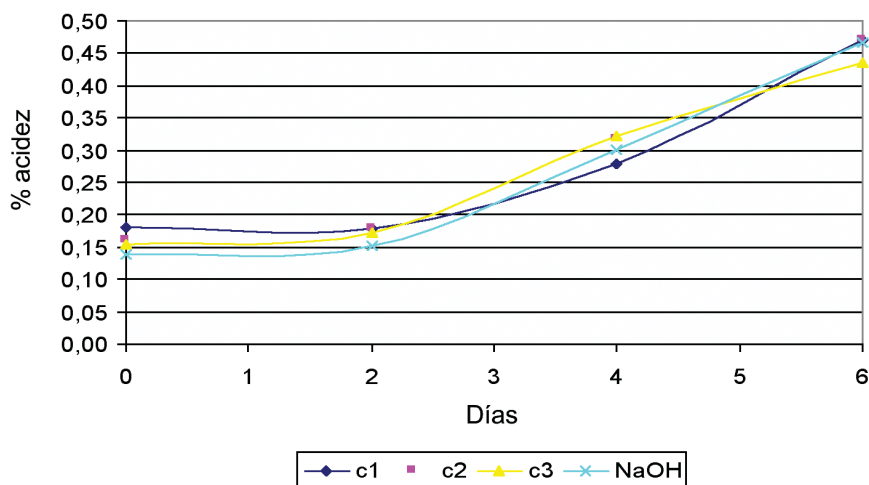


Figura 1. Comportamiento a través del tiempo experimental de las medias de los valores de acidez obtenidos para la leche de cabra por medio de los diferentes métodos de titulación. Cartago, Costa Rica. 2005.

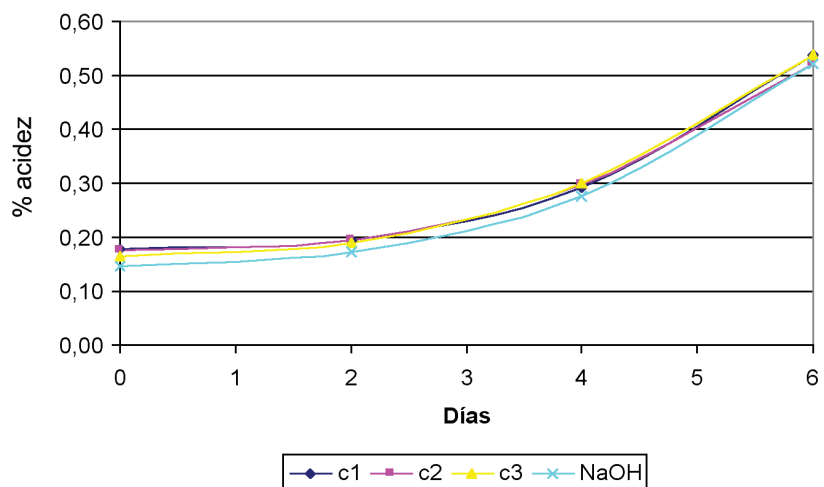


Figura 2. Comportamiento a través del tiempo experimental de las medias de los valores de acidez obtenidos para la leche de vaca por medio de los diferentes métodos de titulación. Cartago, Costa Rica. 2005.

Del estudio de las gráficas puede observarse también que a pesar de que las disoluciones de cal fueron preparadas a partir de cal viva que no tenían una alta pureza, las mismas no solo guardan similitudes entre sí, sino que muestran una tendencia relativamente uniforme dentro del rango de valores de interés en un análisis empírico, y a pesar de la diversidad de sus orígenes. No es posible afirmar la existencia de un efecto de

distorsión importante debido a un efecto de la composición de la matriz de la cal viva.

A la luz de los resultados, las valoraciones con disoluciones saturadas de cal ejecutadas bajo la metodología estudiada, si podrían poseer un valor en la práctica artesanal empírica, todo caso que estas se efectúen con la intención de tener un criterio de seguridad

aproximado, basándose en el ya mencionado hecho de la aparente sobreestimación de la acidez titulable obtenida por el método basado en hidróxido de sodio. El hecho de que por lo general las entregas de leche por parte de los productores artesanales a las unidades de procesamiento, o bien el procesamiento artesanal de la misma se registre en las primeras 48 horas después del ordeño, podría reforzar la posibilidad anterior.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el intervalo de tiempo evaluado y para la metodología aplicada tanto para la leche de vaca como para la leche de cabra, la titulación a partir de disoluciones saturadas de cal común demostró ser significativamente diferente al método común más utilizado de valoración con NaOH.

No es posible recomendar para las condiciones específicas de la evaluación efectuada en el Módulo de Procesamiento de la EEAVM, que el método tradicional de valoración con NaOH pueda ser sustituido en términos analíticos por la metodología particular analizada basada en disoluciones de cal saturada.

Se recomienda la ejecución de estudios de campo en la agroindustria rural de modo que se evalúe la aplicabilidad y conveniencia para efectos de un control práctico, empírico y preliminar de la acidez titulable, de la valoración con una disolución saturada de cal empleado operarios capacitados.

LITERATURA CITADA

- ALAIS, C. 1988. Ciencia de la leche. Ed. Continental. Distrito federal, México. 400 p.
- BELITZ, H.D.; GROSCH, W. 1988. Química de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España. 813 p.
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. 1978. Statistics for experimenters. Wiley. New York. USA. 653 p.
- CASADO, P. 1965. El caos de las pruebas de acidez de la leche. Industrias Lácteas 14(8): 18-24.
- CHACÓN, A. 2003. La elaboración del queso fresco y otros derivados lácteos: guía básica artesanal y de la pequeña industria. Ed. Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 66 p.
- CHACÓN, A. 2004. Estudio de la acidez titulable y el peso específico de la leche de cabra de un grupo de capricultores de la Meseta Central Costarricense. Agronomía Mesoamericana 15(2): 179-183.
- COCHRAN, W.; COX, G. 1973. Diseños experimentales. Trillas. Distrito federal, México. 661 p.
- DEAN, A.; VOSS, D. 1999. Design and analysis of experiments. SPRINGER. New York, USA. 740 p.
- DÍAZ, C. 2004. Caracterización de la agroindustria láctea en Turrialba, Costa Rica. Agronomía Tropical 34: 27-39.
- GODED Y MUR, A. 1964. Simplificación en el análisis de la leche. Industrias Lácteas 13(12):13.
- HABER, A.; RUNYON, R. 1973. Estadística general. Ed. Fondo Educativo Interamericano. Massachusetts, Estados Unidos de América. 371 p.
- HERRERA, C. 1995. Manual de laboratorio de química de alimentos. Ed. Escuela de Química, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 100 p.
- JIMÉNEZ, V. 2004. Mejoramiento del desempeño operativo de una fábrica artesanal de derivados lácteos, por medio de la ejecución de acciones correspondientes a una gerencia de planta. Tesis de Licenciatura en Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 143 p.
- KIRK, R.S.; SAWYER, R.; EGAN, H. 1999. Composición y análisis de los alimentos de Pearson. Ed. Continental, Distrito federal, México. 777 p.
- MONTGOMERY, D. 1992. Diseño y análisis de experimentos. Iberoamerica. Distrito federal, México. 589 p.
- NASANOVSKY, M.; GARIJO, R.; KIMMICH, R. 2003. Lechería. Ed. Fondo Educativo Interamericano. Estados Unidos de América. 49 p.
- RIOS, S. 1983. Análisis estadístico aplicado. Paraninfo. Madrid, España. 740 p.
- WAGNER, J. 1989. Principios de tecnología de lácteos. AGT Editores. México D.F. 256 p.