

DESACIDIFICACION DE LA LECHE POR TRATAMIENTO ELECTRICO CONTINUO

José F. Faría R.

Luis A. Boscán F.

Luis E. Elejalde V.

Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia,
Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela

Palabras claves: Leche, acidez, electricidad

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el efecto de la corriente eléctrica continua sobre la acidez de la leche cruda, a fin de establecer la posibilidad de aplicar este método para la recuperación del producto acidificado. Con ese objetivo se desarrollaron experimentos de los efectos producidos por corrientes continuas de diferente intensidad, en función del tiempo y bajo condiciones controladas, en una cámara de tratamiento eléctrico, diseñada dentro de las limitaciones existentes, obteniéndose resultados relativos a la acidez y el pH, así como sobre las principales propiedades físico-químicas, de mayor interés tecnológico. Estos análisis se realizaron empleando mayoritariamente los métodos recomendados por COVENIN. Los resultados fueron sometidos al análisis de la varianza, regresión lineal y las pruebas de Duncan y "t" de Student, que permitieron obtener resultados concluyentes. Se demuestra ($P < 0,001$) que el tratamiento eléctrico reduce la acidez titulable y aumenta el pH de leches crudas fuertemente acidificadas en menos de una hora, llevándolas a los valores normales, sin alterar los sólidos totales, proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas, densidad, punto de congelación y cloruros. Las cenizas se afectan ligeramente sólo por efecto de un amperaje excesivo y, como consecuencia directa de ello, el punto de congelación, lo cual se evita aplicando corriente no mayor de 2 amperios. Se presenta un modelo de regresión para la acidez titulable y el pH: Acidez titulable = $22,47 + 0,31 T$; pH = $6,34 - 4,1 \times 10^{-3} T$. Finalmente, se hacen recomendaciones sobre investigaciones complementarias y las aplicaciones del proceso estudiado.

ABSTRACT

Results of the effect of continuous electric current on raw milk's acidity, is reported and is intended to be used as a method for the recovery of an acidified product. The effects produced by continuous electric currents of different intensities on the main physical chemical properties and chemical components of milk were studied in a special electric chamber, designed with our existing limitations. These analysis were carried out using the method recommended by the Venezuelan Commission of Industrial Standards of the Development Ministry. Results were treated statistically with Analysis of Variance, Duncan, "t" Student's test and lineal regresion tests. It was demonstrated ($P < 0,001$) that electric treatment, under the optimized conditions of this work, decreases strongly acidified milks, in less than 1 hour, and are converted to original normal acidity values, according to Covenin Standards, without sensibly altering neither total solids, proteins, fat, carbohydrates and ash (minerals salts), and consequently, freezing point values are affected due to excessive amperage, which can be avoided by applying a current no higher than 2 amperes. A mathematical model of correlation is presented to predict the time (T) required for milk desacidification from its tritable acidity or pH through the following acuations: Tritable Acidity = $22,47 + 0,13 Y$; pH = $6,34 - 4,1 \times 10^{-3} T$. Recommendations are suggested to make complementary research and for the practical applications of the process in the Dairy Industry.

INTRODUCCION

La estabilidad físico-química de la leche es de gran importancia a todos los niveles de su cadena de producción, industrialización y distribución. Esta condición es particularmente crítica en la leche cruda, que debe soportar el procesamiento térmico, sin mostrar ninguna precipitación o coagulación. Los factores que afectan esa estabilidad están estrechamente ligados a las propiedades y composición de la leche (calidad química), especialmente al balance salino y las proteínas [5], así como al grado de contaminación del producto, es decir, su calidad microbiológica.

El balance salino normal de la leche es afectado directamente por la acidez y el equilibrio de cationes y aniones. La primera tiende a aumentar inmediatamente después del ordeño, producto de la fermentación de la lactosa por acción microbiana. El exceso de hidrogeniones (H^+) produce la descalcificación de las moléculas del complejo caseinato-fosfato-cálcico, integrante de las mezclas coloidales de la leche, formando caseinato ácido, caseína libre y neutralizando las cargas negativas de esas mezclas, todo lo cual disminuye la estabilidad coloidal, haciéndola particularmente sensible a la precipitación por el calor. Esa inestabilidad se manifiesta a valores de acidez superior a 0,18% expresada como ácido láctico o 20 ml de $NaOH$ 0,1 N/100 [2]. De allí que en las receptorías de leche la prueba más común sea la determinación de la acidez, la cual debe enmarcarse dentro de las normas que prudentemente establece la industria. La Comisión Venezolana de Normas Industriales ha fijado como límites para la acidez valores entre 16 y 19 ml $NaOH$ 0,1 N/100 ml [3].

En nuestro medio, las pobres condiciones higiénicas de la mayoría de las unidades de producción y las elevadas temperaturas ambientales, unidas a la refrigeración ausente o inadecuada, ocasionan que la leche cruda tienda a acidificarse rápidamente, produciendo pérdidas considerables o su obligada utilización para elaborar productos que no requieren mayores tratamientos térmicos, generalmente de mala calidad.

La revisión de literatura acerca de métodos de recuperación de leche acidificada indica falta de información sobre el tema. Apenas [6] reportaron su observación sobre el efecto desacidificador de la corriente continua. En el presente trabajo se estudia la posibilidad de recuperar leche cruda acidificada mediante tratamiento eléctrico continuo, y los efectos de éste sobre los principales parámetros de calidad físico-química.

MATERIALES Y METODOS

Muestras de leche cruda

La leche utilizada se colectó en estado fresco de la finca El Ceibote, ubicada en el Km 54 de la carretera Maracaibo-Machiques, Distrito Perijá del Estado Zulia, de donde se trasladó refrigerada al laboratorio, para ser usada antes de las 24 horas.

La leche cruda de cada semana fue transferida a un recipiente limpio y seco tipo cántara (25 L) con tapa; se dejó a la intemperie para permitir su acidificación natural, hasta que adquirió aproximadamente una acidez de 20 ml $NaOH$ 0,1 N/100 ml. Durante este proceso se agitó con frecuencia en el propio recipiente para evitar la separación de la crema. El total de la leche acidificada se dividió en tres porciones de 4 L cada una, para ser tratadas con electricidad.

Cámara de corriente continua

Esta fue diseñada de acuerdo a las posibilidades y su esquema se representa en la Fig. 1. La conforman un recipiente hermético de aluminio, de forma cilíndrica, con capacidad para 4 L (1) con tres aberturas para un termómetro (2), un manómetro (4) y un tapón (3) que al separarse permite la adición o separación de alícuotas. En un extremo, a través de una tapa de rosca con empaque (5) se ubica un electrodo de carbón que llega hasta el centro (6) y se tiene un punto de contacto en el extremo contrario (7) para cerrar el circuito. La fuente de electricidad consiste en un tomacorriente de 110 voltios (8) controlado por un reóstato (9) *Power-Stat* (0-140 voltios), un rectificador de corriente de 0 a 5 amperios (10) y un amperímetro (11). El sistema se interconecta con alambre número 14 y adicionalmente se incorpora un voltímetro en paralelo para reconfirmar el voltaje y amperaje suministrados.

Tratamientos eléctricos

En la cámara descrita, se colocaron separadamente las porciones de 4 L de leche cruda acidificada, para aplicarles los tratamientos con corriente continua de 1, 2 y 3 amperios, respectivamente. En cada tratamiento, una vez colocada la leche en la cámara, se agitó y se tomó la primera muestra, que representó el tiempo cero. Se abrió el circuito a la corriente constante seleccionada.

realizando sucesivas tomas de muestra, cada 10 minutos, hasta alcanzar 1 hora de exposición. Los tres tratamientos se hicieron con intervalos de poco más de una hora, previo lavado de la cámara, para evitar variaciones en las muestras por efecto de la flora microbiana.

Determinaciones analíticas

Cada una de las muestras recolectadas, en un tratamiento eléctrico, se analizó, por duplicado, para los siguientes parámetros: temperatura, acidez titulable, pH, proteínas totales, caseína, grasa, lactosa, cenizas, cloruros, punto de congelación y densidad, utilizando los métodos recomendados en ^[1], en su mayoría aprobados por la COVENIN. En el análisis de cloruro se usó la técnica mercurimétrica de titulación directa ^[4].

Tratamiento estadístico

Los resultados de las determinaciones analíticas se agruparon por intensidad de corriente y por tiempos de exposición, calculándose las medidas de centrado y dispersión. Se hicieron comparaciones de los promedios, utilizando un arreglo factorial aplicado a un diseño experimental completamente aleatorizado, cuyo modelo matemático fue:

$$X_{ij} = \mu + \sigma_j + \xi_{ij}$$

donde X_{ij} es la variable respuesta, μ la media general, σ_j el efecto de los tratamientos y ξ_{ij} el error experimental.

Se realizaron los correspondientes análisis de varianza para cada caso y donde se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Duncan. Además, se hicieron modelos matemáticos de estimación en pruebas de relación y asociación, calculándose los parámetros "a", "b" y r^2 , usando el método de los mínimos cuadrados. Se compararon los coeficientes de regresión "b" y r^2 mediante la prueba "t" de Student, con el fin de establecer posible paralelismo entre las rectas y a objeto de determinar un modelo matemático que permita obtener los tiempos de exposición a partir de la acidez inicial de la leche a tratar.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la corriente continua sobre la acidez y el pH

La *Tabla 1* presenta los resultados del efecto de tres niveles de intensidad de corriente continua (1, 2 y 3 amperios) sobre la acidez titulable de cinco (5) lotes de leche cruda, expresada en rango, media y desviación estándar de la acidez de esos lotes, en función de los tiempos de

TABLA I

EFFECTO DE LA CORRIENTE ELECTRICA SOBRE LA ACIDEZ TITULABLE DE LA LECHE, EN FUNCION DE LA INTENSIDAD Y EL TIEMPO

Tiempo	ACIDEZ TITULABLE (ml de NaOH 0,1/100 ml de Leche)											
	Intensidad 1 A				Intensidad 2 A				Intensidad 3 A			
	Rango	\bar{X}	$\pm S$		Rango	\bar{X}	$\pm S$		Rango	\bar{X}	$\pm S$	
0	18,10	25,02	21,82	2,53	18,60	25,02	22,20	2,31	20,10	25,27	23,04	1,89
10	17,60	25,02	20,82	2,31	18,10	23,78	21,96	4,28	18,60	23,29	21,16	1,91
20	17,10	23,00	19,51	2,21	17,10	22,79	19,57	2,07	17,80	22,30	20,31	1,60
30	16,60	21,30	18,68	1,73	15,90	21,80	18,54	2,13	17,10	21,81	18,90	1,00
40	15,60	17,84	17,64	1,85	14,60	20,60	17,30	2,24	14,42	18,82	17,25	1,74
50	14,60	19,60	16,64	1,96	11,90	19,60	15,81	2,88	14,40	18,33	16,21	1,41
60	13,60	18,70	15,70	1,63	10,60	17,34	14,11	2,42	9,90	15,36	13,52	2,12

exposición en minutos. Se observa que las leches con valores de la acidez titulable altos, incluso por encima de la cifra máxima permitida por las normas de COVENIN, disminuyen claramente su acidez titulable. Así, a los 60 minutos se obtuvieron valores promedios de 15,70; 14,11 y 13,52 ml para 1, 2 y 3 amperios, respectivamente. Paralelo a la disminución de la acidez, se observó un incremento proporcional en el pH, apreciándose el paso de valores promedios de 6,33; 6,34 y 6,36 a 6,54; 6,59 y 6,64, respectivamente, para las intensidades de corriente aplicadas. La *Tabla II* corresponde al análisis de la varianza de los resultados de la acidez y demuestra diferencias altamente significativas ($P < 0,001$). Las pruebas de Duncan demostraron que para las tres intensidades de corriente aplicadas, realmente existen diferencias en la acidez titulable, únicamente cuando los tiempos de exposición son superiores a los 20 minutos.

Los resultados anteriores evidentemente demuestran que leches de elevada acidez pueden convertirse en leches con acidez similar a las recién ordeñadas.

Como explicación del proceso de desacidificación, los autores no comparten la hipótesis de Pien y Baisse^[6], según la cual se produciría la neutralización del ácido láctico por el ion sodio generado en la electrólisis del NaCl de la leche. Los experimentos realizados en la cámara de corriente continua demostraron, en todos los tratamientos, la generación de un gas durante el

proceso, apreciado claramente por un incremento en la presión interna, detectado en el manómetro. Lamentablemente, por carecer de un cromatógrafo de gases, no se estableció la identidad del gas (es) producido, lo cual será objeto de estudio posterior. No obstante, los autores se inclinan a que la reducción de la acidez se debe a la disociación del ácido láctico, con liberación de hidrogeniones (H_3O^+) que, por efecto del flujo de electrones producto de la corriente aplicada, pasan al estado molecular (H_2) y se desprenden bajo la forma de gas.

De cualquier manera, aun cuando no es posible explicar, por el momento, el mecanismo del proceso, resulta evidente el efecto logrado, esto es, la desacidificación de la leche, hecho de suma importancia por sus aplicaciones prácticas.

Efecto sobre los principales componentes de la leche

Los resultados obtenidos acerca de los efectos de los tratamientos aplicados sobre los sólidos totales, proteínas totales, grasa, lactosa, cenizas, cloruros y algunas propiedades de interés tecnológico como la densidad y el punto de congelación, fueron tratados en forma similar a los datos de la acidez y el pH. En la *Tabla III* se presentan los efectos de las dos variables controlables, tiempo e intensidad de corriente continua, sobre los promedios de sólidos totales, proteínas, grasa,

TABLA II

ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA ACIDEZ TITULABLE POR EFECTO DE TRES NIVELES DE INTENSIDAD DE CORRIENTE (AMPERIOS) MEDIDAS A DIFERENTES TIEMPOS EN MINUTOS

Fuentes de Variación	SS	DF	MS	F
Tiempo	703,913	6	117,319	23,558 ***
Amperios	0,497	2	0,248	0,50 ^{NS/}
Tiempo - Amperios	25,202	12	2,100	0,422 ^{NS/}
Error	418,315	84	4,980	
Total	1.147,926	104		

*** / Diferencias altamente significativas para $P < 0,001$

NS / Diferencia no significativa $P < 0,001$

TABLA III

**EFFECTO DOS VARIABLES CONTROLABLES TIEMPO (MIN) Y CORRIENTE ELECTRICA (AMPERIOS)
SOBRE LAS MEDIAS DE SOLIDOS TOTALES, PROTEINA, GRASA, LACTOSA Y CENIZAS**

VARIABLES (INDEPENDIENTES)		PARAMETROS EN PORCENTAJE				
Tiempo (Min)	Intensidad Amp.	Sólidos Totales (X)	Proteína (X)	Grasa (X)	Lactosa (X)	Cenizas (X)
0		12,39	3,33	4,00	4,21	0,763
10		12,42	3,34	3,99	4,30	0,745
20		12,33	3,36	3,99	4,22	0,755
30		12,30	3,24	3,96	4,37	0,751
40		12,32	3,36	3,91	4,26	0,459
50		12,19	3,32	3,89	4,26	0,777
60		12,09	3,28	3,95	4,14	0,759
	1	12,43	3,33	3,97	4,32	0,789 ^a
	2	12,25	3,32	3,95	4,16	0,753 ^{a,b}
	3	12,19	3,31	3,95	4,27	0,733 ^b

a,b: Letras iguales indican diferencia no significativa a $P < 0.001$.

TABLA IV

**EFFECTO DE DOS VARIABLES TIEMPO (MIN) Y CORRIENTE ELECTRICA (AMPERIOS)
SOBRE LAS MEDIAS DE CASEINA, CRIOSCOPIA, CLORUROS Y GRADO QUEVENNE**

VARIABLES (INDEPENDIENTES)		PARAMETROS EN PORCENTAJE			
Tiempo (Min)	Intensidad Amp.	Caseína (%)	Crioscopia ATC °C	Cloruros (%)	Grados Quevenne (°Q)
0		2,45	-0,559	0,096	30,87
10		2,46	-0,557	0,095	30,40
20		2,45	-0,551	0,092	30,93
30		2,45	-0,555	0,093	30,33
40		2,36	-0,551	0,094	30,07
50		2,39	-0,551	0,094	30,27
60		2,39	-0,551	0,095	30,73
	1	2,40	-0,550 ^a	0,097	30,57
	2	2,42	-0,552 ^{a,b}	0,092	30,54
	3	2,45	-0,559 ^b	0,093	30,43

a,b: Letras iguales indican diferencia no significativa A $P < 0,001$.

lactosa y cenizas, mientras que en la *Tabla IV* se presentan los mismos resultados correspondientes a caseína, punto de congelación, cloruros y densidad expresada en grados Quevenne. Esos datos demuestran que los tres tratamientos no afectan sensiblemente la composición bromatológica ni las propiedades físicas y químicas estudiadas de la leche. Únicamente se efectuaron ligeramente, y sólo por efecto de un amperaje excesivo, las cenizas (sales minerales) y, probablemente como consecuencia directa, los valores del punto de congelación, efectos que se evitan cuando se aplica una corriente no mayor de 2 amperios.

Optimización de las condiciones del tratamiento eléctrico

Para seleccionar las condiciones más adecuadas, es decir, lograr óptimos efectos, con la menor intensidad y tiempo de exposición, se fijó

como acidez deseable a obtener en la leche tratada, un valor de 16 ml de NaOH 0,1 N/100 ml y un pH de 6,55-6,60 a 25°C, que están en concordancia con el límite inferior de la norma COVENIN-903. La *Fig. 2* presenta las rectas correspondientes al efecto de 3 intensidades de corriente (1, 2 y 3 amperios) sobre la acidez titulable, en función del tiempo. Se aprecia una mayor velocidad de desacidificación a medida que aumenta la intensidad de la corriente. Se observa, además, que leches con acidez inicial de $22,2 \pm 1,2$ ml alcanzaron los 16 ml en tiempos de 56,5; 48,0 y 47,5 minutos, respectivamente, y que, a los 25-40 minutos, las rectas se interceptan, dados los aumentos en los coeficientes de velocidad (b) de las mismas.

Como quiera que la corriente afectó ligeramente las cenizas (*Tabla III*) y el punto de congelación (*Tabla IV*) se estimó conveniente seleccionar la menor intensidad que logra el efecto deseado, dentro de cierto margen de

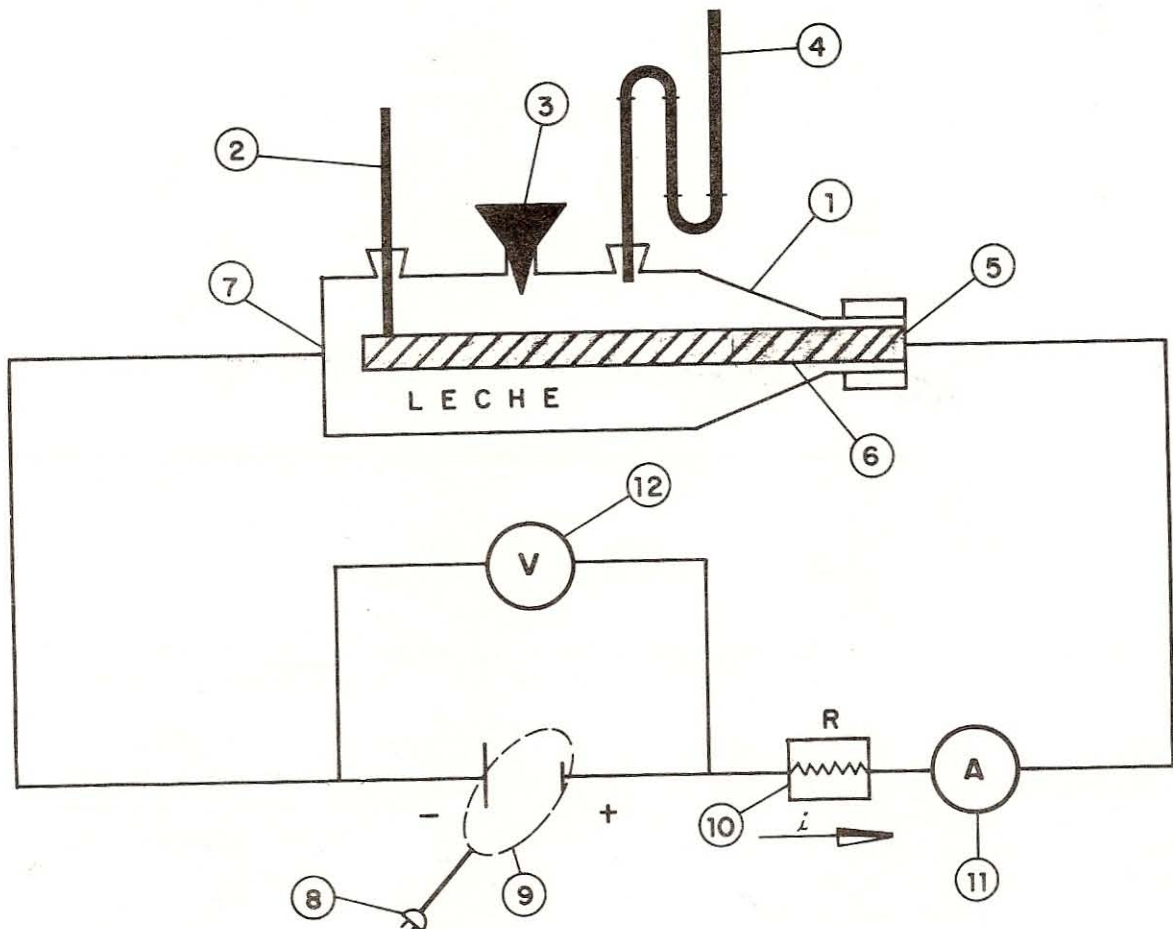


FIG. 1. Cámara de tratamiento de corriente continua.

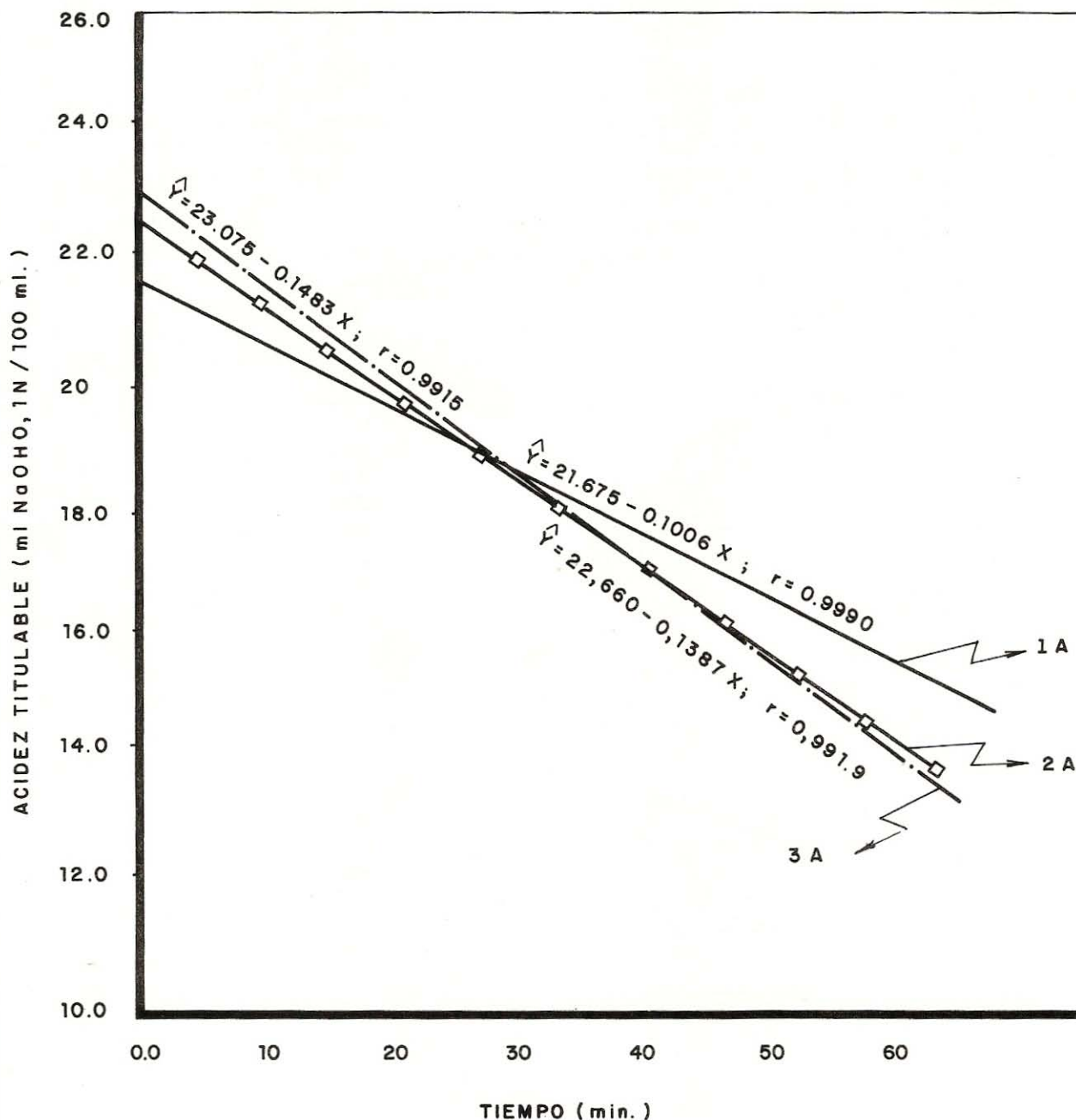


Fig. 2. Modelos de regresión de acidez titulable para tres intensidades de corrientes aplicadas.

predicción. A tal fin, y en base al análisis estadístico, se seleccionó como tratamiento máximo, 2 amperios y se propone como modelo para la predicción del tiempo de desacidificación (T) la ecuación expresada en la Fig. 3 ($\text{Acidez} = 22,47 - 0,13 T$), mientras que para la predicción del tiempo en función del pH se propone la ecuación $\text{pH} = 6,34 + 4,1 \times 10^{-3} T$, Fig. 4.

Antes de aplicar este proceso para la recuperación de leches acidificadas, se considera necesario continuar investigaciones sobre el mecanismo físico-químico involucrado; los efectos en la calidad de otros nutrientes y el valor biológico de los mismos, así como acerca de la calidad microbiológica de la leche tratada. Asimismo, deben estudiarse los efectos sobre ciertas propie-

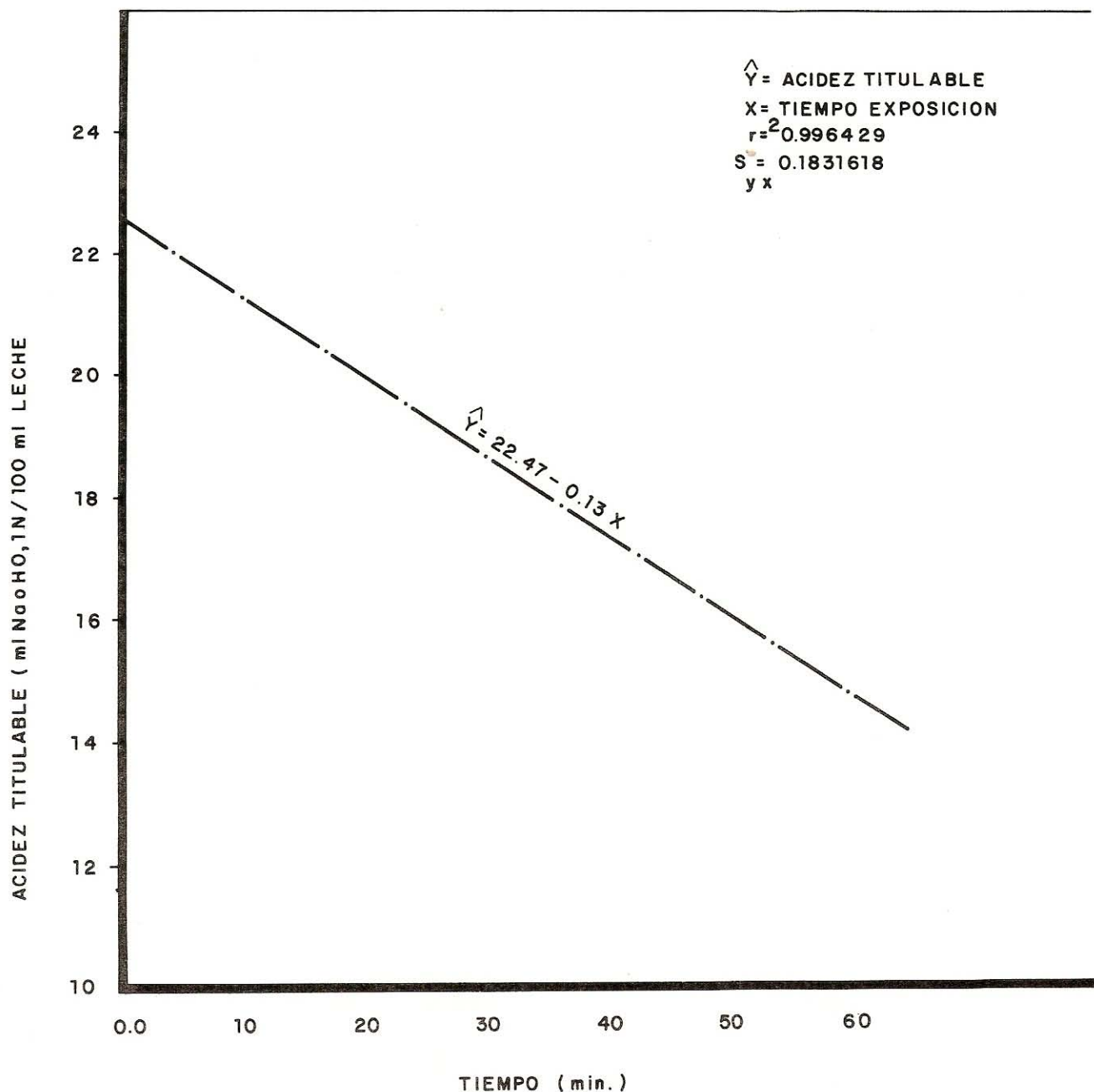


Fig. 3. Modelo de regresión de acidez titulable.

dades de interés tecnológico que podrían afectar a los productos elaborados con leche tratada. Obviamente, se requiere también el diseño y la construcción de los equipos de planta para volúmenes comerciales y, finalmente, proceder a la reglamentación respectiva para evitar la sustitución de prácticas sanitarias de producción, comercialización y procesamiento de leche.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] AOAC. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. 1984.
- [2] Boscán, L.A. *Aspectos Sanitarios de una Leche de Alta Calidad*. En Seminario sobre la Producción de Leche en Venezuela. Consejo Nacional de Investigaciones Agrícolas. Caracas. 1973.

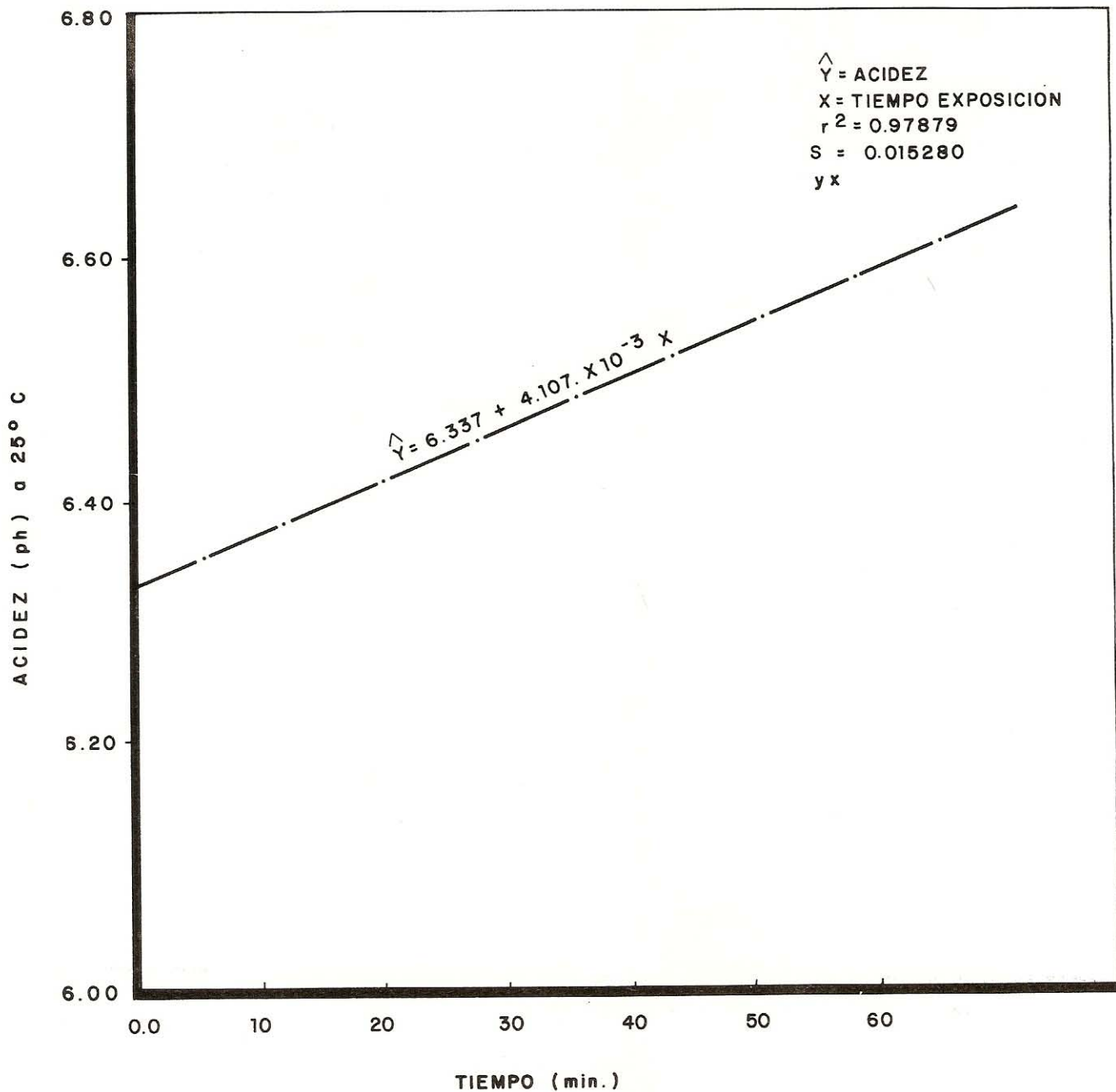


FIG. 4. Modelo de regresión del pH.

- [3] COVENIN-903. *Leche Cruda: Requisitos. Norma Venezolana*. Comisión Venezolana de Normas Industriales, Ministerio de Fomento. Caracas. 1987.
- [4] Faria, J., y Boscán, L.A. *Aplicaciones de la Mercurimetría a la Determinación de Cloruros en Productos Lácteos*. Acta Científica Venezolana, 31: 154. 1980.
- [5] Pien, J. *Requisitos de la Leche Cruda Destinada a la Esterilización*. En *La Esterilización de la Leche*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

Alimentación. Pub. FAC, N° 65. Roma. 1965.

- [6] Pien, J., y Baisse, J. *A propos du le acidification electique du lait*. Le Lait 16, 20-33, 291-941. 1936.