

TRATAMIENTO DEL LACTOSUERO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ELECTRODIÁLISIS

Rita M Avila, Antonio Cárdenas y Ana L Medina

RESUMEN

El lactosuero es un subproducto de la elaboración de quesos y mantequillas. Este subproducto contiene una cantidad importante de proteínas y calcio, entre otros componentes, que hacen atractivo su tratamiento con el objeto de adecuarlo para su comercialización directa o para elaborar bebidas lácteas. Los sueros ácidos y/o salados no son aptos para el consumo humano, por lo que deben ser tratados, y la electrodiálisis es una técnica adecuada para hacerlo. El lactosuero es actualmente utilizado como alimento para animales y/o desechado al ambiente como un efluente contaminante, debido a su alta demanda química y bioquímica de oxígeno.

En este trabajo se estudia la desmineralización y desacidificación de un suero de mantequilla y de un suero de queso tipo

"bonsalut". El tratamiento del lactosuero se realizó con un electrodiálizador de tipo Kel'f de cinco celdas. Los sueros fueron analizados antes y después del tratamiento para determinar el contenido de calcio, conductividad, proteínas, grasa, pH, acidimetría y cenizas. Los resultados indican que la electrodiálisis es una técnica efectiva para desacidificar y desalar el lactosuero. Sin embargo, en algunos casos esta técnica es poco eficiente, como lo demuestran los rendimientos farádicos obtenidos que se asocian a una baja concentración inicial de sales. Finalmente, aunque existe una desacidificación importante, no se observan cambios de pH, debido al efecto tampón del lactosuero.

Introducción

El lactosuero es un subproducto de la elaboración del queso y de la mantequilla. Es de difícil colocación en el mercado debido a que sus características no lo hacen apto para su comercialización directa, ni para ser utilizado como materia prima en la elaboración de otros productos

lácteos. Por ello, el suero generalmente se usa como complemento en la dieta de animales o se desecha al ambiente. El lactosuero como efluente es muy contaminante por su alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y su alta demanda química de oxígeno (DQO).

En algunos países industrializados, este suero es recupe-

rado por diversas técnicas, ya que contiene una cantidad no despreciable de proteínas, lactosa y calcio (Tabla I) que lo hacen atractivo para la elaboración de productos lácteos. Su parecido con la leche materna hace que sea muy utilizado en la elaboración de bebidas lácteas para bebés (Strahmann, 1995). Para mejorar al lactosuero se debe dis-

minuir o eliminar el contenido de sal (NaCl) y en algunos casos disminuir su acidez.

Entre las técnicas utilizadas para desmineralizar (o desalar) el lactosuero, están la electrodiálisis y el intercambio iónico (Díaz y Fernández, 1991). De ellas, la electrodiálisis ha mostrado ser comercialmente aplicable (Strahmann, 1992). La electrodiáli-

PALABRAS CLAVES / Electrodiálisis / Membranas / Lactosuero / Desmineralización / Desacidificación /

Rita María Avila Ingeniero Químico, Universidad de los Andes, Laboratorio Metalurgia Extractiva. Escuela de Ingeniería Química (ULA).

Antonio Cárdenas R. Ingeniero Químico, Universidad de los An-

des. MSc en Ingeniería Química, (ULA). Doctorado Universidad de Montpellier II, Francia. Coordina el Grupo Membranas de la Escuela de Ingeniería Química (ULA). Dirección: Laboratorio Metalurgia Extractiva y/o Labo-

ratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes, Mérida 5101, Venezuela. E-mail: antonioc@ing.ula.ve
Ana L Medina, Doctora en Ciencias de los Alimentos, Universi-

dad de Bourgogne, Francia. Profesora de la Facultad de Farmacia e Investigadora del Laboratorio FIRP, Escuela de Ingeniería Química (ULA).

SUMMARY

Whey is a by-product of cheese and butter production. This by-product contains important quantities of proteins and calcium, as well as other components, which makes its treatment attractive in order to prepare beverages or to sell it directly. Acid and/or salty wheys are not good for direct human consumption, and they should be treated before use. The electro dialysis technique is very suitable for that purpose. Nowadays, whey is used as foodstuff for animals and/or it is rejected into the environment as a highly contaminant effluent, due to its high chemical and biochemical oxygen demand. In this work demineralization and deacidification of a butter whey and a "bonsalut"

cheese whey is studied in order to enhance its properties. The treatment of the wheys was done with a five cell Kel'f type electro dialyzer. The whey was analyzed before and after treatment to determine the contents of calcium, proteins, fat, acid, ashes, its conductivity and pH. The results show that the electro dialysis is a very effective technique for desalting and deacidifying the whey. In some cases, low faradic efficiencies were obtained, and are associated with low initial concentrations of ions (salts and acids). Finally, there was an important deacidification but no pH changes, and this is attributed to the buffer effect of the whey.

RESUMO

O Lactosoro é um subproduto da elaboração de queijos e manteiga. Este subproduto contém uma grande quantidade de proteínas e cálcio, entre outros componentes, que fazem atrativo seu tratamento com o objetivo adequado para sua comercialização direta ou para elaborar bebidas lácteas. Os soros ácidos e/ou salgados não são aptos para o consumo humano, pelo que devem ser tratados, e a electrodiálise é uma técnica adequada para fazê-lo. O lactosoro é atualmente utilizado como alimento para animais e/ou descartável ao ambiente como um afluente contaminante, devido a sua alta demanda química e bioquímica de oxigênio.

Neste trabalho é estudada a desmineralização e desacidificação de um soro de manteiga e de um soro de queijo tipo

"bonsalut". O tratamento do lactosoro se realizou com um electro dializador de tipo Kel'f de cinco cavidades. Os soros foram analisados antes e depois do tratamento para determinar o conteúdo de cálcio, condução, proteínas, gordura, pH, acidimetria e cinzas. Os resultados indicam que a electrodiálise é uma técnica efetiva para tirar o ácido e sal do lactosoro. Sem embargo, em alguns casos esta técnica é pouco eficiente, como o demonstram os rendimentos farádicos obtidos que se associam a uma baixa concentração inicial de sais. Finalmente, ainda que existe uma grande desacidificação, não se observam mudanças de pH, devido ao efeito tampão do lactosoro.

sis también permite disminuir la acidez del lactosuero, lo que es deseable en sueros ácidos. Sin embargo, la segunda aplicación ha sido mucho menos estudiada que la primera (Yen y Cheryan, 1993; Novalic *et al*, 1995).

La electrodiálisis consiste en separar iones de un fluido mediante la utilización de membranas selectivas a cationes (membranas catiónicas) y membranas selectivas a los aniones (membranas aniónicas). Estas membranas se colocan de forma alterna, formando celdas (Figura 1). Al final del apilamiento de membranas se colocan los electrodos (cátodo y ánodo).

Al establecer una diferencia de potencial eléctrico, los cationes se mueven hacia el cátodo pero son detenidos por las membranas aniónicas y los aniones migran hacia el ánodo pero son retenidos por las membranas catiónicas. De esta forma, algunas celdas se empobrecen de iones y otras se enriquecen; las primeras se conocen como celdas de dilución mientras que las segun-

das son las celdas de concentración. En los electro dializadores industriales el número de celdas es elevado, entre 100 y 500 pares de celdas (Strahmann, 1992). Actualmente hay una gran cantidad de equipos de electrodiálisis que se utilizan en el desalado del lactosuero que representan un área de membranas de 250.000 m² (NOVELECT, 1993).

En este trabajo se presentan resultados sobre el tratamiento de sueros ácidos de mantequilla y de queso (pH entre 3,5 y 4,0) respectivamente. Este tratamiento mejora sus propiedades. Además, se estudia la influencia de la concentración inicial de sal en el proceso de electrodiálisis.

Material y Métodos

Para realizar las experiencias se utilizó un electro dializador tipo Kel'f, el cual consiste en cinco celdas y dos electrodos. El espacio entre membranas es de 1,5 cm con un área efectiva de las membranas de 37,5 cm². El montaje es similar al de un filtro prensa. En el

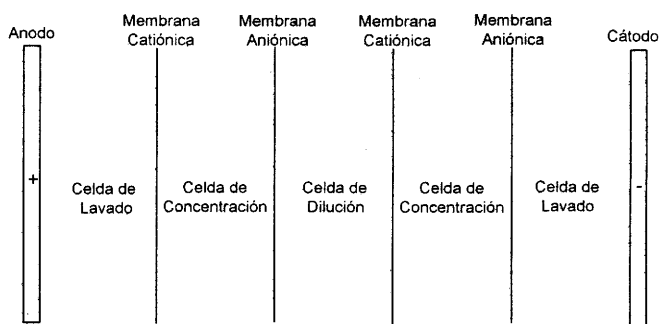


Figura 1. Esquema de un Electro dializador.

montaje se coloca un electrodo, un sello, un separador de membrana, un sello, la membrana y un sello para formar una celda. Este esquema se repite, colocando un total de cinco celdas y se cierra con el segundo electrodo. El material de los separadores es plástico y el de los sellos es caucho. La diferencia de potencial fué suministrada por una fuente de poder modelo HP 6427B. Cada celda representa un circuito hidráulico, que esta alimentado por una bomba marca March, modelo MGF (Figura 2).

Los circuitos son cuatro, uno de lavado de los electrodos (circuito 1 en la Figura 2), con dos celdas conectadas hidráulicamente en serie y alimentado por una sola bomba con una solución 1 N de sulfato de sodio (Riedel de Haën, pro analysi). Hay dos circuitos independientes de concentración (circuitos 2 y 3), alimentados por dos bombas con solución de cloruro de sodio 0,5 N (Riedel de Haën, U.S.P) y una celda central de dilución (circuito 4) en la cual se alimenta el lactosuero.

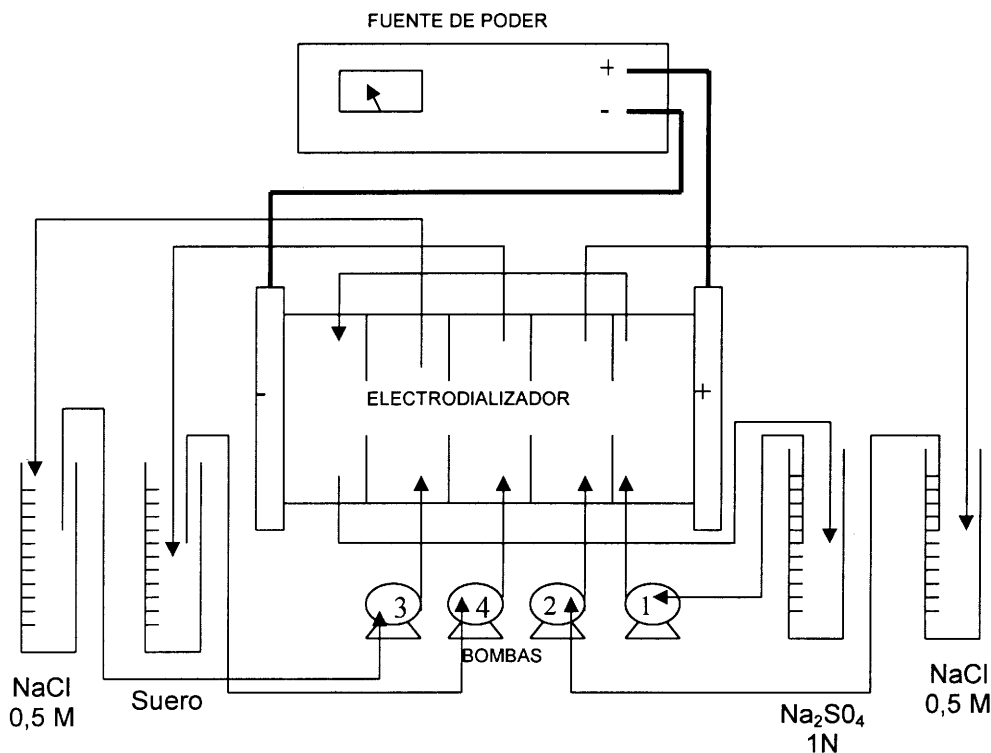


Figura 2. Diagrama del montaje experimental del electrodiálizador tipo Kel'f utilizado. Los circuitos se enumeran en las bombas: 1: circuito 1; 2: circuito 2; 3: circuito 3 y 4: circuito 4.

Las membranas usadas fueron todas suministradas por Tokuyama Soda Inc. y tienen las características siguientes: una membrana catiónica fuerte

tipo CM1, una membrana aniónica tipo AFN, una membrana catiónica fuerte tipo CR2 y una membrana aniónica fuerte del tipo AMX. Las

dos membranas que están en contacto directo con el lactosuero (AFN y CR2) se escogieron por ser resistentes al taponamiento orgánico.

El seguimiento de la operación se hizo por conductimetría (conductímetro Metrohm 644) y por pH (pH-metro Metrohm 620). Se tomaron muestras cada 15 minutos. Con esta operación se midió el empobrecimiento en iones del lactosuero en el tiempo.

La efectividad de la electrodiálisis se comprueba haciendo los análisis del lactosuero antes y después de ser tratado. Los análisis realizados al suero fresco centrifugado fueron: calcio por absorción atómica y complejometría, proteínas por el método de Kjeldahl, cloruros (titulador de cloruros Corning y mercurimetría) y cenizas por gravimetría. Las grasas del lactosuero inicial se hicieron por el método de Gerber para comprobar que su contenido fuese bajo (menor o igual al 1%). Al suero tratado se le hicieron los análisis de cloruros, calcio y proteínas utili-

zando los mismos métodos que para el suero fresco. Todos los métodos de análisis utilizados son recomendados por la AOAC (AOAC, 1980).

Se utilizaron dos tipos de lactosuero, uno proveniente de la fabricación de mantequilla, suministrado por Pasteurizadora Táchira CA, y suero obtenido a partir de la elaboración de queso tipo "bonsalut" (0,69% de NaCl) suministrado por Lácteos Santa Rosa. Para estudiar el efecto del grado de salinidad del lactosuero sobre la electrodiálisis, se le agregó NaCl al suero del queso tipo "bonsalut" para obtener concentraciones de 2, 4 y 6% en peso.

Resultados y Discusión

En este trabajo se utilizaron dos tipos de lactosuero, el obtenido de la fabricación de mantequilla y el del queso tipo "bonsalut". La Tabla II presenta las características de estos lactosueros una vez centrifugados. La centrifugación previa se realizó con el objeto de reducir el contenido de grasas y proteínas (caseínas) para reducir el taponamiento de las membranas.

Como se observa en la Tabla II, los sueros tratados son ácidos y tienen un bajo contenido de sal (0,15% para el suero de mantequilla y 0,69% para el "bonsalut"). En todos los casos, al aplicar la electrodiálisis a estos sueros, se observó una disminución de la conductividad en el tiempo (Figura 3), al igual que como se observó en un estudio anterior (Medina *et al.*, 1996). El mismo comportamiento se observó para los sueros salados artificialmente a 2%, 4% y 6% con NaCl.

También se muestra el aumento de la conductividad de la celda de concentración adyacente para los casos de suero "bonsalut" salado artificialmente al 2% y al 4% (Figura 4). El comportamiento para el resto de los casos es similar, pero no se incluyen en la Figura 4, para no restarle claridad a la misma.

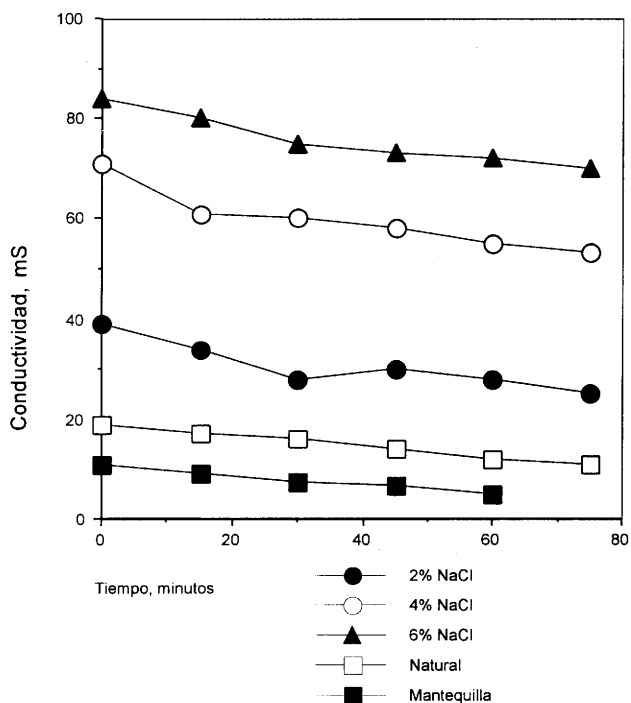


Figura 3. Variación de la conductividad del lactosuero con el tiempo.

La Figura 3 muestra que hubo efectivamente una desionización del lactosuero, debido a una disminución del contenido de sal y de la acidez. Sin embargo, al calcular el rendimiento farádico, que es una indicación de la efectividad de la corriente en la separación de iones (Andres *et al.*, 1992; Audinos, 1980), se obtuvieron valores bajos (inferiores al 50%), lo que implica que una parte de la energía utilizada se pierde en la electrólisis de compuestos en el lactosuero. Estos rendimientos bajos se explican porque es muy probable que las experiencias se realizaron con corrientes superiores a la corriente límite, que es la corriente por encima de la cual comienza la electrólisis en el proceso y por ende la pérdida de efectividad en la separación. La corriente límite y el rendimiento farádico vienen dados por:

$$i_{lim} = DFZC / (t_m - t_s) \delta$$

$$RF\% = (VF\Delta C / it) 100$$

con i_{lim} como la corriente límite en amperios, D el coeficiente de difusión, F la constante de Faraday, Z la carga del ión, C la concentración del ión en el lactosuero, t_m y t_s son los números de transporte del ión en la membrana y en la solución respectivamente, δ es el espesor de la capa límite adyacente a la membrana, V es el volumen de lactosuero, ΔC es la variación de concentración del lactosuero, i es la intensidad de corriente y t es el tiempo. En los experimentos, las condiciones hidrodinámicas se mantuvieron constantes, por lo que la corriente límite depende sólo de la concentración de iones en el lactosuero; si esta es baja, la i_{lim} será también baja y se espera un rendimiento farádico bajo, en caso contrario, se esperan mejores rendimientos farádicos.

La Tabla III muestra que el mejor porcentaje de desalado es para el suero de mantequilla con un 100% y un porcentaje de desacidificación también alto (53,1%). Esto debi-

do a que el tratamiento fue lo suficientemente largo como para permitir que se desionizara en forma significativa. Además, las concentraciones iniciales de sal, así como de ácido eran bajas, lo que favorece porcentajes de desacidificación y desalado importantes. Sin embargo, el rendimiento farádico es bajo (40,4%), ya que debido a las bajas concentraciones de iones iniciales, es muy probable que se opere por encima de la corriente límite, lo que conlleva a una disminución del rendimiento farádico.

Al igual que para el suero de mantequilla, el suero tipo "bonsalut" natural es desalado y desacidificado con un rendimiento farádico muy bajo, del 25,9%. Se observaron porcentajes de desacidificación y desalado menores que en el caso del suero de mantequilla. Como los dos sueros proceden de diferentes productos y procesos de fabricación, su composición es diferente, lo que incide en la interacción suero/membrana. Estos resultados sugieren que el suero tipo "bonsalut" tiende a tapar más a las membranas que el de mantequilla.

Tanto para el suero de mantequilla como para el "bonsalut" natural, los rendimientos farádicos obtenidos fueron bajos (inferiores al 50%). En ambos casos esto se atribuye a la baja concentración inicial de iones en estos dos sueros. Para comprobar esto, el lactosuero de tipo "bonsalut" fué salado artifi-

TABLA I
(ASAHI GLASS CO., 1993)
COMPOSICIÓN TÍPICA DEL LACTOSUERO DULCE

Sólidos totales	6,50 - 6,55%
Proteínas	0,96 - 1,01%
Lactosa	4,95 - 5,08%
Cenizas	0,46 - 0,50%
pH	6,1 - 6,5
Na	15-17 m mol/Kg
K	36-38 m mol/Kg
Ca	8-10 m mol/Kg
PO ₄	10-12 m mol/Kg
Cl	30-34 m mol/Kg

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE LOS SUEROS UTILIZADOS

Análisis	Suero de mantequilla	Suero de queso tipo bonsalut
Proteínas,%	0,48	0,58
Cenizas,%	0,69	0,94
Cloruros,%	0,09	0,42
pH	4,4	3,7
Acidez,%	0,06	0,06

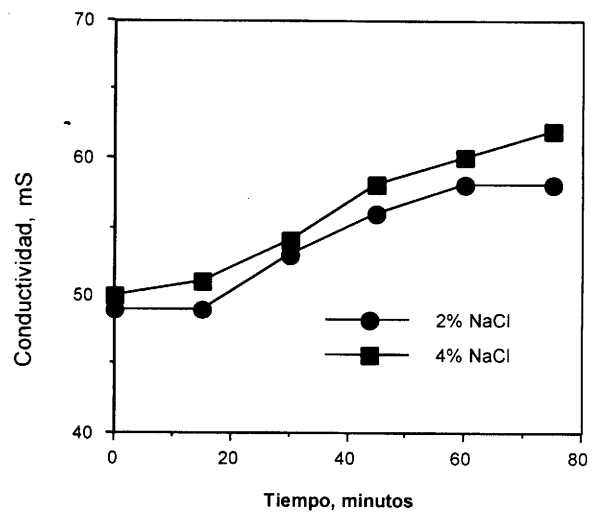


Figura 4. Variación de la conductividad en las celdas de concentración.

TABLA III
RESULTADOS DE LA ELECTRODIÁLISIS DE LOS DIFERENTES SUEROS ESTUDIADOS

Tipo/concentración de NaCl% p/p	Porcentaje de desalado	Porcentaje de desacidificación	Rendimiento farádico%
Mantequilla/0,15%	100,0	53,1	40,4
Bonsalut natural/0,69%	26,7	26,3	25,9
Bonsalut/2%	50,0	37,5	99,9
Bonsalut/4%	30,4	21,2	143,0
Bonsalut/6%	21,2	22,45	169,1

La intensidad de corriente fue de 1 amperio para todos los casos mostrados con un tiempo de corrida de 90 minutos.

cialmente a 2%, 4% y 6% de NaCl. Los resultados de las experiencias se muestran en la

Tabla III. Al aumentar el porcentaje de sal en el suero tipo "bonsalut", el rendimiento fa-

rádico fué superior al del suero "bonsalut" natural. Esto debido a que la cantidad de

sal es mayor y se opera posiblemente por encima de la i_{lim} del sistema.

Al agregar sal (NaCl) al suero tipo "bonsalut" y pasar sobre el 2%, disminuyó el porcentaje de desalado. Esto se explica porque al mantener la intensidad de corriente constante en 1 amperio, el flujo de iones es constante, por lo que al comparar bajo un mismo lapso de tiempo, las cantidades transferidas de sal son similares, pero como la cantidad inicial se hace mayor al pasar del 2% al 6%, el porcentaje de desalado disminuye. Se observó una disminución también en la tasa de desacidificación. Sin embargo, las tasas de desacidificación en los sueros de 4% y 6% fueron similares. Esto parece indicar que el paso del ácido se puede ver afectado por la cantidad de sal y sólo se transfiere la misma cantidad de ácido a partir de una cierta concentración de sal (superior al 2%).

Otro resultado interesante es que el rendimiento farádico en los casos del 4% y 6% superó al 100%. Esto se explica porque con 4% y 6% de sal en el lactosuero, la concentración de ésta es mayor en la celda de dilución que en las celdas de concentración adyacentes (2,9%). En estos casos puede influir, además del mecanismo de transporte debido al gradiente de potencial eléctrico, el gradiente de concentración, tal como lo indica la ecuación de Nerst-Planck:

$$J_i = -DC_i(dn_i/dx + (Z_i F/RT)dE/dx)$$

donde J_i es el flujo del ión i , a_i es la actividad del ión i , x el espesor de la membrana, R la constante universal de los gases, T la temperatura absoluta, dE/dx el gradiente de potencial eléctrico, dn_i/dx es el gradiente de concentración. Como el rendimiento farádico se calcula tomando en cuenta sólo el transporte debido al gradiente de potencial y teniendo en cuenta que este es alto con el lactosuero al 2% (99,9%), entonces, cualquier contribución adicional (que en este caso es debido al gradiente de concentración) hace que el rendimiento farádico sea mayor al 100%, como se observa para los casos del 4% y 6% en la Tabla III.

En todas las experiencias se obtuvo una desacidificación importante, (que se comprueba en base a una titulación ácido/base) pero no hubo cambio en el valor del pH. Esto se explica por el efecto tampón del ácido láctico y de otros compuestos que componen el lactosuero, como los fosfatos y las proteínas. Esto sugiere que para desacidificar el lactosuero la técnica de electrodiálisis es conveniente, pero no lo es para cambiar el pH del mismo.

En todos los casos estudiados se observó tanto desacidificación, como desalado, por lo que se comprueba la factibilidad de utilizar la técnica de electrodiálisis para realizar esta tarea. Sin embargo, cuando la concentración de iones en el lactosuero es baja (sueros de mantequilla y "bonsalut" natural), la eficiencia del tratamiento (rendimiento farádico) hace que esta técnica no sea reco-

mendable. Para los lactosueros del 4% y 6%, tanto el desalado como la desacidificación, fueron menores al 50%. Este valor se puede aumentar si se incrementa el tiempo de tratamiento (o el área de las membranas), por lo que la utilización de esta técnica en el tratamiento de este tipo de sueros es recomendable, ya que los rendimientos farádicos son altos.

Conclusiones

El objeto de este estudio fue el de estudiar la factibilidad de desalar y desacidificar dos tipos de lactosuero mediante la técnica de electrodiálisis. Se comprobó que esto es factible en todos los casos, pero que sólo a partir de una cierta concentración inicial del lactosuero (mayor al 0,69% en el suero de tipo "bonsalut"), el método es conveniente desde el punto de vista del rendimiento y por lo tanto es posible aplicarlo a nivel industrial. Esto puede permitir la recuperación del lactosuero y su posterior utilización en la fabricación de productos lácteos ó en la posterior concentración y recuperación de proteínas por otras técnicas, como la ultrafiltración.

AGRADECIMIENTOS

Se reconoce el financiamiento otorgado a este proyecto por el CDCH-ULA. Se le agradece al Profesor Guillermo Bianchi por la colaboración prestada en la puesta a punto de algunos métodos analíticos utilizados, a Pasterizadora Táchira CA y a Lá-

teos Santa Rosa por haber suministrado los sueros.

REFERENCIAS

- Andres LJ, A Perez, R Alvarez y J Coca (1992) Polarización de concentración en los procesos con membranas (y III) aplicación a la electrodiálisis. *Ingeniería Química*, enero: p. 241-245.
- AOAC (1980) *Official Methods of Analysis*: Association of Official Analysis Chemists, Ed XIII, Washington, p. 0-1141.
- ASAHI GLASS COMPANY (1993) *Demineralization and Purification of Organic Substances by Electrodialysis*: Tokio.
- Audinos R (1980) Determination du courant limite d'electrodialyse par conductivité pour les faibles nombres de Reynolds. Cas des solutions de tartrate acide de potassium. *Electrochimica Acta*, 25. p. 405-410.
- Diaz M y A Fernández (1991) Demineralización de suero lácteo por intercambio iónico. *Alimentación, equipos y tecnología*, junio. p. 81-87.
- Medina A, F Vejar y D Raucq (1996) Desalado de sueros lácteos por electrodiálisis. *Interciencia*, 21. p. 224-227.
- Novalic S, F Jagschits, J Okwor y KD Kulbe (1995) Behaviour of citric acid during electrodiálisis. *J. Membrane Science*, 108. p. 201-205.
- NOVELECT (1993) *Les Applications Innovantes des Techniques Membranaires dans l'Industrie*: Réseau Novelect, Paris (France), p. 42-49.
- Strahmann H (1992) *Electrodialysis*: W Ho y K Sirkar editores. *Membrane Handbook*: Van Nostrand Reinhold, New York, p. 217-262.
- Strahmann H (1995) *Electrodialysis and Related Processes*: R Noble y S A Stern editores. *Membrane Separations Technology, Principles and Applications*: Elsevier Science B V Amsterdam, p. 213-281.
- Yen YH y M Cheryan (1993) Electrodiálisis of model lactic acid solutions. *Journal Food Engineering*, 20. p. 267-282.

*Aprender sin pensar es inútil;
pensar sin aprender, peligroso.*

Confucio