

# Producción de yogur utilizando membranas cerámicas para incrementar el porcentaje de sólidos en la leche

## Yogurt production using ceramic membranes to increase milk total solids concentration

S. Tolosa, J. Bullón y A. Cárdenas\*  
Laboratorio de Mezclado, Separación y Síntesis Industrial (LMSSI)  
Escuela de Ingeniería Química, Universidad de los Andes  
antonio@ula.ve\*

C. Borregales  
Lácteos Santa Rosa  
Universidad de los Andes  
Mérida- Venezuela

### Resumen

*El yogur es uno de los productos lácteos más consumidos. Para su producción es necesario aumentar la concentración de sólidos en la leche y existen varios métodos para lograrlo: evaporación, adición de proteína láctea y concentración utilizando membranas. En este estudio se compararon dos métodos, la adición de proteína láctea y la concentración con membranas de ultrafiltración. Con estos métodos se obtuvieron yogures de diferentes concentraciones de sólidos: 11,5, 14,8 y 20%. Los yogures obtenidos fueron sometidos a pruebas de viscosidad, sinéresis y penetración. También fueron probados por un panel de jueces no entrenados. Los resultados indican que los yogures con mejores características son aquellos obtenidos por medio de la ultrafiltración, siendo el mejor el que tiene un 20% de sólidos.*

**Palabras claves:** yogur, membranas, leche, filtración.

### Abstract

*One of the best selling milk products is yogurt. To produce yogurt, milk solids must be concentrated and there are different methods to do this: milk protein addition, evaporation and membrane filtration. In this study, two methods were compared: milk protein addition and membrane ultrafiltration. Different yogurt solid concentrations were obtained: 11,5, 14,8 and 20 %. Yogurts were submitted to different analysis like viscosity, syneresis and penetration. They were also tasted by a panel of untrained judges. Results show that the yogurts with better characteristics were those obtained by ultrafiltration, being the best the one with 20% of solids content.*

**Key words:** yogurt, membranes, milk, filtration.

### 1 Introducción

El yogur es un producto lácteo de consumo masivo cuyo origen se remonta a miles de años en el Medio Oriente. Aunque hay otros productos que se obtienen por fermentación de la leche, el yogur es el más popular de todos, entre otras razones por su sabor aromático agradable, su reputación de ser muy bueno para la salud y su consistencia que lo hacen un vehículo ideal para las frutas (Tamime y Robin-

son, 1985). La fabricación del yogur se ha racionalizado en las últimas décadas, fundamentalmente debido a los avances en microbiología, enzimología, bioquímica y bioingeniería.

Hay muchos métodos para fabricar yogur, en el método tradicional se hierve la leche hasta reducir el volumen a 2/3 para concentrar los sólidos, lo que influye en las características finales del producto. Otro método para aumentar la concentración de sólidos es agregar leche (o proteínas lácteas) en polvo, que es uno de los métodos más usados.

También se puede concentrar la leche utilizando la ultrafiltración, la ósmosis inversa y la evaporación. Al filtrar la leche, no es necesario someterla a altas temperaturas, lo que evita la desestabilización del fosfocaseinato de calcio y favorece las propiedades organolépticas del producto final, por ello, éste tipo de procesos se utilizan en la elaboración del yogur.

La ultrafiltración es un proceso extendido en la industria láctea y entre sus aplicaciones más corrientes se encuentra la concentración de leche para producir quesos, como el feta, con menores pérdidas de proteínas y con equipos para su producción más pequeños. La aplicación más extendida de la ultrafiltración es en la concentración del lactosuero, para recuperar proteínas (Kulkarni et al., 1992, NOVELLECT, 1993), aunque también existen procesos de filtración para producir yogures (Tamime y Robinson, 1985). Al ultrafiltrar la leche, se concentran las proteínas y se deja pasar con el filtrado cierta cantidad de lactosa, vitaminas y minerales.

En general para producir los yogures se concentra la leche entre un 15 a 16 % de sólidos, con un mínimo del 9% y un máximo del 30 % para los yogures concentrados (Tamime y Robinson, 1985). Un tipo de yogur concentrado con un 20 % de sólidos es conocido como labneh y se puede obtener por ultrafiltración de leche o de yogur (Ozer y Robinson, 1999).

En este estudio se compara la elaboración de yogur por el método de fortificar la leche utilizando proteína láctea y usando membranas cerámicas de ultrafiltración. Al utilizar la concentración de leche por medio de la ultrafiltración no se hace necesario agregar la proteína láctea (producto importado) lo que puede hacer atractivo el uso de la ultrafiltración.

## 2 Materiales y métodos

La materia prima utilizada fue leche semi-descremada al 1,6% en materia grasa, que se obtuvo de la Planta Piloto Lácteos Santa Rosa de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). La leche sin tratar es descremada parcialmente hasta 1,6% en materia grasa (con 10,4 % de sólidos totales) y luego pasteurizada a 85°C por un tiempo de 20 minutos.

Para ultrafiltrar la leche se utilizó un equipo piloto de filtración para alimentos fabricado por la empresa TIA (Techniques Industrielles Appliquées, Bollene, Francia) con capacidad para una membrana tubular de 25 cm de largo y 1 cm de diámetro externo. Se utilizaron membranas cerámicas fabricadas por TAMI (Nyons, Francia), con un soporte de alúmina y una capa filtrante de óxido de zirconio y óxido de titanio. Las membranas poseen tres canales internos, con un diámetro hidráulico de 3,6 mm y una longitud de 25 cm.

La filtración de leche se realiza a 50°C, una vez que la membrana ha sido previamente hidratada al hacer circular agua en el equipo piloto. La temperatura evita que proliferen microorganismos durante la filtración, además de que

reduce la viscosidad del fluido. Se filtra con dos membranas distintas, una con un punto de corte de 150 kDa y una presión a través de la membrana de 2,75 bares y la otra con un punto de corte de 50 kDa a una presión de 2,2 bar. El gradiente de presión se mide con un manómetro a la salida del retenido (lado de alta presión) y se le resta a la presión atmosférica (lado del filtrado). En este caso se supone que la caída de presión a lo largo de la membrana es pequeña, lo que se justifica porque la membrana no es muy larga (25 cm). La velocidad de alimentación es de 9,5 m/s, para minimizar la formación de depósitos sobre la membrana. La leche se concentra hasta un 11,5 %, 14,8 % ó 20 % en sólidos. Una vez realizada la filtración, las membranas se limpian con ácido nítrico y soda caústica.

La leche también se concentra agregando proteína láctea (Alapro 4560, New Zealand Milk Products, la composición típica de este concentrado de proteína láctea es de 56% de proteína, 31 % de lactosa, 8 % de minerales, 3,8 % de humedad y 1,2 % de grasa) hasta lograr las concentraciones de sólidos totales de 11,5 %, 14, 8 % y 20 %. Para ello, se adiciona la cantidad de proteína láctea necesaria, calculada por balance de masa, para obtener las concentraciones de sólidos totales deseadas. Una vez que se prepara la leche concentrada, ésta se calienta a 85°C durante media hora.

El yogur se preparó siguiendo el método utilizado en la Planta Santa Rosa para fabricar el yogur firme. La leche descremada se concentra (por adición de proteína láctea o ultrafiltración), se pasteuriza a 85 °C por un tiempo de 20 minutos, se homogeniza con un agitador de paletas, se enfría a 45 °C, se siembra un inóculo bacteriano (Bacteria liofilizada de Bionic, Biotechnologisches Laboratorium tipo *Streptococcus Thermophilus* y *Lactobacillus Bulgaricus*), luego se agrega la leche a recipientes esterilizados de 90 ml de capacidad y se incuban durante 3 horas a 45 °C. Finalmente se almacenan a 4 °C.

La leche concentrada fue sometida a los análisis de proteínas (Método de Kjeldahl), sólidos totales y cenizas (método Mojonier), grasa (Método de Babcock), contenido de lactosa por fotometría usando el método del ácido picrico, midiendo a una longitud de onda de 520 nm (Espectroscopio 20 D+, Milton Roy), medidas de pH (pH-metro Metrohm 620) y acidez titulable con NaOH.

Al yogur se le hicieron análisis de firmeza del coágulo con un penetrómetro de aguja (Forney) al cual se le modificó la aguja por un cono de acrílico con ángulo apical de 100° y un diámetro de 2,5 cm. La temperatura de medición fue de 12 °C y el tiempo de 5 s. Se hicieron medidas de viscosidad aparente con un viscosímetro Brookfield DV III al yogur previamente agitado durante 1 minuto a 10 °C. La sinéresis del yogur se midió haciendo yogures de 20 ml en tubos de centrifuga, los cuales fueron centrifugados a 1500 rpm (Centrifuga Hettich Universal 5000 rev/mín) por 10 minutos a 12 °C después de 6 días de almacenamiento. El líquido sobre-nadante se recogió y se midió su volumen.

Se realizó un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad de los yogures obtenidos, determinando el nivel de

agrado o desagrado de los mismos, por un grupo de jueces no entrenados. Esta prueba se realizó siguiendo la metodología de Robinson y Tamime (Tamime y Robinson, 1985; Watts et al. 1992).

### 3 Resultados y discusión

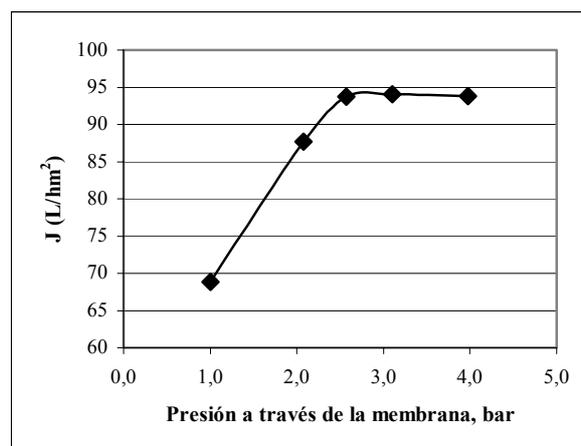
Para concentrar la leche se utilizaron dos tipos de membranas cerámicas, una de corte nominal de 150 kDa y la otra de 50 kDa. Estas membranas concentran principalmente a las proteínas, aun cuando el peso molecular de las mismas esta en el orden de 24 kDa para las insolubles y 18 kDa para las solubles. Se escoge un tamaño mayor de poro debido a que se forman micelas o una capa de gel que actúa como capa filtrante.

Las membranas nuevas fueron caracterizadas utilizando agua destilada para determinar su permeabilidad la cual resultó ser de 471,5 L/h.m<sup>2</sup>.bar para la membrana de 150 kDa y de 147,7 L/h.m<sup>2</sup>.bar para la de 50 kDa. Como es de esperarse, la membrana de menor tamaño de poro tiene la menor permeabilidad. Luego de filtrar leche, las membranas fueron lavadas y se observó un ensuciamiento de las mismas al disminuir su permeabilidad a medida que aumenta el número de filtraciones; para la membrana de 150 kDa la permeabilidad después de la primera filtración fue de 181,9 L/h.m<sup>2</sup>.bar y luego de una segunda filtración fue de 75,8 L/h.m<sup>2</sup>.bar, lo que representa una disminución del 61,4 % y del 83,9 % respectivamente. De igual forma ocurre con la membrana de 50 kDa, que luego de una primera filtración de leche su permeabilidad pasa a 118,3 L/h.m<sup>2</sup>.bar (disminución del 19,9%) y a la tercera filtración fue de 82,3 L/h.m<sup>2</sup>.bar (disminución del 44,2 %). Los resultados anteriores indican que se produce un taponamiento de la membrana, aunque en menor medida para la de menor tamaño de poro (50 kDa). Esto se puede explicar debido a que las partículas de la leche pueden entrar y adsorberse con mas facilidad en los poros de la membrana de 150 kDa que en la de 50 kDa. También, estos resultados indican que el proceso de lavado con soda cáustica y ácido nítrico no es muy efectivo.

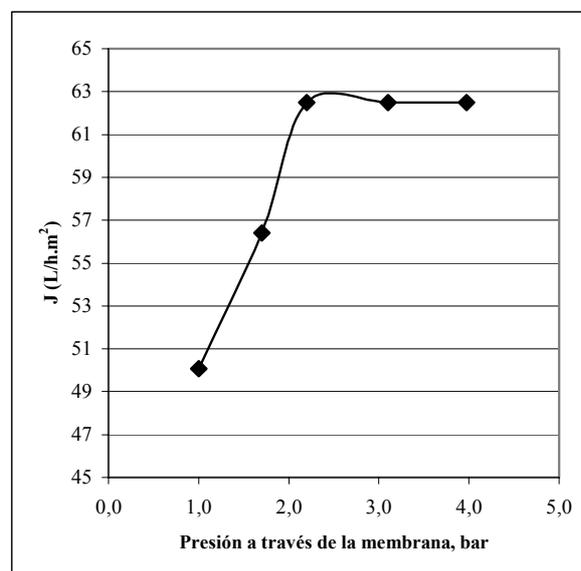
La filtración de leche se realizó a 2,57 bar para la membrana de 150 kDa y 2,2 bar para la membrana de 50 kDa. Esto se hizo debido a que a por encima de estas presiones no aumenta el flujo a través de la membrana como se muestra en la Fig. 1.

Se observa en la Fig. 1 que hay una zona en la cual el flujo se hace independiente de la presión. Este comportamiento es típico de los procesos de filtración y se debe a la formación de una capa de polarización, que en algunos casos, como el de la leche, se pueden formar capas de gel que pasan a ser el verdadero medio filtrante. A medida que se aumenta la presión, se comprime la capa y un efecto (mayor presión, mayor flujo) compensa al otro (mayor presión, mayor compresión de la capa y mayor resistencia al flujo).

En la Fig. 2 se observa el comportamiento del flujo de permeado a través de la membrana de 150 kDa cuando la membrana es nueva, luego de la primera filtración y luego



a- Membrana de 150 kDa



b- Membrana de 50 kDa

Fig. 1. Flujo de leche vs presión a través de las membranas de 150 y 50 kDa

de una segunda filtración. La diferencia esta en los momentos iniciales de la filtración, en los cuales para la membrana nueva el flujo es mayor (poros no taponados) y luego se hace menor hasta llegar a un flujo constante. Este comportamiento se observa para las otras filtraciones, con la diferencia de que los flujos iniciales son menores (debido al taponamiento de los poros) pero siempre se obtiene un flujo límite similar en todos los casos. Esto sugiere que el medio de filtración en periodos de tiempo en el cual el flujo es similar en los tres casos viene dado por una resistencia al flujo parecida, esto es, una capa filtrante que es casi igual en todos los casos y que parece ser una capa de gel que se forma por deposición de algunos de los componentes de la leche sobre la superficie de la membrana (Bullón, 1998). Para la membrana de 50 kDa el comportamiento observado es

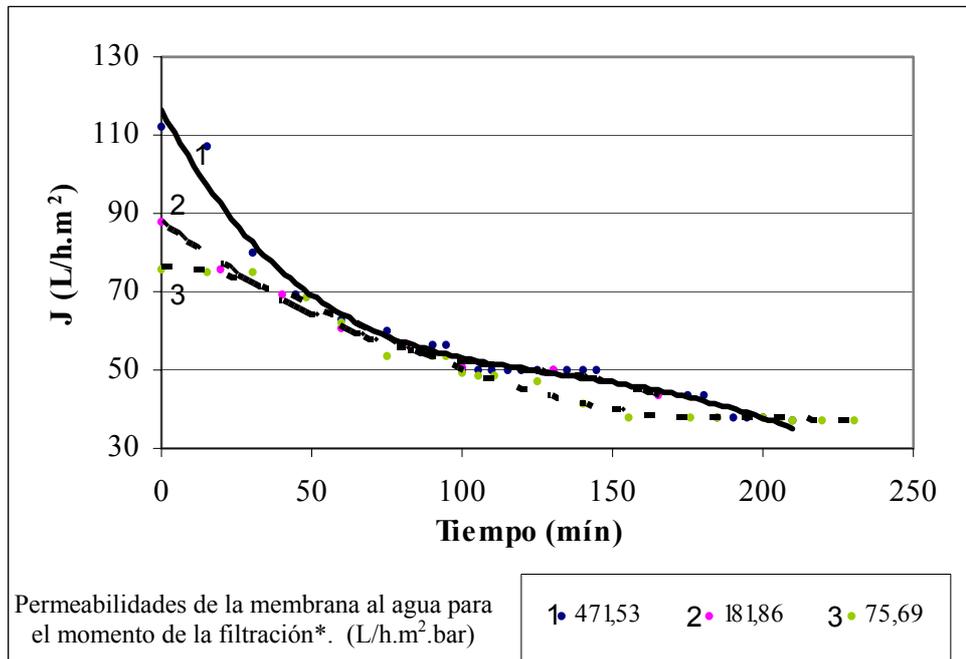


Fig. 2. Flujo de filtrado a través de la membrana de 150 kDa vs tiempo. Presión a través de la membrana 2,5 bar, velocidad de flujo 9,5 m/sy temperatura de 50°C.

similar y se espera la formación de una capa de gel, al igual que para la membrana de 150 kDa. Sin embargo, el flujo asintótico en la membrana de 150 kDa es de 0,098 ml/s y para la de 50 kDa de 0,046 ml/s, alrededor de un 50 % menos, que se podría atribuir a una resistencia total (que toma en cuenta todas las capas filtrantes) mayor para la membrana de 50 kDa.

Al comparar los flujos de agua destilada con la presión se puede observar el taponamiento de la membrana (Fig. 3). El comportamiento de flujo a través de la membrana contra la presión aplicada es lineal. Este es el comportamiento esperado para la filtración de un fluido puro ya que no se forma una capa de polarización. Las pendientes de las rectas indican la permeabilidad del fluido, a mayor pendiente, mayor permeabilidad y menor taponamiento, tal como se muestra en la Fig. 3.

Con las dos membranas fue posible concentrar los sólidos hasta 11,5 %, 14,8 % y 20 %, sin embargo, se escogió para filtrar la leche y fabricar los yogures a la membrana de 150 kDa, por tener un mayor flujo de filtrado y una retención de sólidos similar a la membrana de 50 kDa (60,46 % para la de 150 kDa vs 63,35% para la de 50 kDa). En la Tabla 1 se muestra la concentración de los diferentes compuestos a medida que aumenta la concentración de sólidos tanto para la leche obtenida por ultrafiltración como para la leche concentrada al agregar proteína láctea.

Se comparan leches concentradas con cantidades similares de sólidos totales y se observan diferencias importantes. En el caso de la grasa, ésta se concentra en la ultrafiltración debido a que su retención es del 100 %, como se

muestra en la Tabla 2. Como es de esperarse, al aumentar la concentración de sólidos, aumenta la concentración de grasa, hasta llegar a 5,8%. Al agregar concentrado de proteína láctea, el contenido de grasa cambia muy poco, debido a que ésta contiene 1,2 % de grasa y representa una fracción muy pequeña de los sólidos agregados a la leche. Esto puede ser una ventaja en la preparación de yogures de bajo contenido de grasa.

Las proteínas aumentan para ambos métodos de preparación al incrementarse la concentración de sólidos totales. Al agregar proteína láctea se agregan proteínas y al concen-

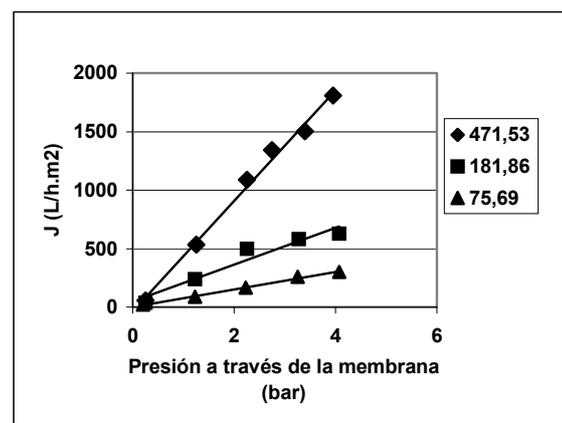


Fig. 3. Flujo de agua en la membrana de 150 kDa para la membrana nueva y luego de varias filtraciones de leche. En la leyenda las permeabilidades en L/h.m<sup>2</sup>.bar

Tabla 1. Concentración de sólidos y compuestos en la leche concentrada por los métodos de ultrafiltración y de adición de concentrado de proteína láctea.

Tratamiento	Sólidos Totales % p/v	Grasa % p/v	Proteína % p/v	Lactosa % p/v	Cenizas % p/v
Ultrafiltración (150 kDa)	11,6	1,8	4,7	4,3	0,8
	14,8	2,8	7,1	4,0	0,9
	20,0	5,8	9,2	3,7	1,3
Adición de proteína láctea	11,5	1,61	4,2	4,9	0,8
	14,9	1,65	5,9	6,5	0,8
	20,4	1,72	7,9	10,0	0,9

Tabla 2. Composición del retenido y del filtrado a diferentes concentraciones de sólidos totales para el retenido, filtrado y coeficiente de retención de la membrana de 150 kDa.

Componentes de la leche	Composición (% p/v)		Coeficiente de Retención (%)
	Retenido	Filtrado	
<b>Sólidos totales 11,6</b>			
Sólidos Totales	11,6	4,9	57,6
Grasa	1,8	0	100,0
Lactosa	4,3	4,2	2,6
Proteína	4,7	0,3	93,5
Cenizas	0,8	0,4	47,2
<b>Sólidos totales 14,8</b>			
Sólidos Totales	14,8	5,1	65,2
Grasa	2,8	0	100,0
Lactosa	4,0	3,9	3,0
Proteína	7,1	0,6	92,1
Cenizas	0,9	0,7	22,7
<b>Sólidos totales 20,0</b>			
Sólidos Totales	20,0	5,2	74,3
Grasa	5,8	0	100,0
Lactosa	3,7	3,6	2,7
Proteína	9,2	0,8	91,7
Cenizas	1,3	0,8	41,0

trar con ultrafiltración también se aumenta la cantidad de proteínas en la leche concentrada. Sin embargo, la concentración de proteínas es mayor en la ultrafiltración en todos los casos debido al alto porcentaje de retención, superior al 91% (Tabla 2). Además, una de las propiedades más importantes que se consideran al momento de analizar el yogur es la consistencia / viscosidad del coágulo y esta característica depende directamente de la concentración de proteína de la leche concentrada (Tamine y Robinson, 1985, Ozer et al., 1999). En cuanto a la lactosa, el comportamiento es diferente para ambos métodos de preparación (Tabla 1). Al agregar proteína láctea se adiciona una cantidad importante de lactosa que incrementa su contenido con el de sólidos totales obteniéndose una leche concentrada con alta concentración

de la misma. Al ultrafiltrar, debido a que la molécula de lactosa es relativamente pequeña (peso molecular de 342 ésta atraviesa la membrana y no se concentra, como se muestra en la Tabla 2). El porcentaje de retención es muy bajo, del orden del 2,7% en todos los casos, por lo que se puede considerar que no es retenida por la membrana. Es más, a medida que se aumenta la concentración de sólidos, se obtiene más filtrado y se pierde más lactosa, por ello hay una disminución de la concentración de la misma a medida que se aumenta el contenido de sólidos totales en la leche concentrada. Las cenizas presentan, en ambos casos, un aumento de la concentración (Tabla 1), bien sea por la adición de proteína láctea, que contiene cenizas o por concentración por ultrafiltración. Hay una gran parte de las cenizas que

pasan a través de la membrana, pero una parte sustancial se queda en el retenido, lo que se podría explicar debido al origen de las cenizas; si se obtienen a partir de moléculas muy grandes, éstas son retenidas por la membrana.

Con la leche concentrada por los métodos de ultrafiltración y adición de proteína láctea se prepararon yogures con la composición mostrada en la Tabla 3. El perfil de composición de los yogures es similar al de la leche concentrada,

Tabla 3. Composición de los yogures preparados con leche concentrada

Tratamiento	Sólidos totales en leche	Grasa	Proteína	Lactosa	% Acido láctico*
Ultrafiltración (150 kDa)	11,6	2,1	4,8	3,9	0,9
	14,9	3,1	7,3	3,7	1,2
	20,3	5,9	9,4	3,5	1,3
Adición de proteína láctea	11,5	1,85	4,5	4,3	0,9
	14,9	1,89	6,3	6,0	1,6
	20,3	1,96	8,2	9,4	2,3

\*Se midió a los 3 días de almacenamiento del yogur. Se descarta el suero.

Tabla 4. Propiedades Físicas de los yogures.

Tipo de yogur (concentración sólidos totales de la leche)	Viscosidad aparente (mPa.s)		Penetración (mm)		Sinéresis ml suero/100ml leche concentrada	
	PLD*	UF**	PLD*	UF**	PLD*	UF**
yogur (11,6%)	9058,07	12732,28	28,65	25,08	8,06	6,87
yogur (14,9%)	22405,22	23844,91	18,25	17,13	4,50	3,75
yogur (20,3%)	29368,63	28044,02	7,88	12,18	1,13	2,18

\* proteína láctea descremada, \*\* ultrafiltración

siendo los más ricos en proteínas y grasa, los que se elaboran a partir de la leche con mayor concentración de sólidos. Hay una disminución del porcentaje de lactosa en el yogur con respecto a la leche debido a la transformación de parte de ésta en ácido láctico. Además, se observa que la cantidad de ácido láctico en los yogures elaborados con concentrado de proteína láctea es un poco mayor que el de los obtenidos por ultrafiltración. Todos los yogures cumplen con la Norma Venezolana COVENIN (2393:1998), que indica que un yogur debe presentar un valor mínimo de acidez (en porcentaje de ácido láctico) de 0,7%.

En cuanto a las propiedades físicas (Tabla 4) los yogures fabricados con leche concentrada por ultrafiltración presentan una mayor consistencia (viscosidad aparente), menores índices de penetración y una menor sinéresis, a excepción del yogur preparado por concentración de la leche con proteína láctea concentrada a un 20 % de sólidos totales, el cual tiene la mayor consistencia y menor penetración y sinéresis de todos. Como es de esperar, a medida que aumenta la concentración de proteínas en los yogures, aumenta la viscosidad aparente ya que esta guarda una relación con la concentración de proteínas, debido a las interacciones proteína-proteína y a las interacciones entre las esferas de hidratación de las moléculas proteicas.

Los yogures obtenidos fueron evaluados utilizando métodos de análisis sensorial de alimentos (Tamime y Robin-

son, 1985; Watts et al., 1992) por un grupo de jueces no entrenados quienes dieron sus opiniones acerca del nivel de agrado o desagrado de los mismos. El yogur de mayor aceptación fue el obtenido por ultrafiltración con un 20% de sólidos. Este yogur entra en la categoría de los yogures concentrados (tipo labneh) que los diferencia de los yogures normales con un contenido de sólidos entre el 14-16 %. El yogur con 11 % de contenido de sólidos obtenido por ultrafiltración gustó más que el obtenido por adición de proteína láctea. Los yogures preparados por adición de proteína láctea de 14 y 20 % presentaron un sabor a "leche en polvo" y leche cocida que desagradó al panel de degustadores. El yogur con 20% de sólidos, preparado al agregar proteína láctea, que tenía propiedades físicas adecuadas para un yogur firme, resultó ser el que mas desagradó a los panelistas, por ser excesivamente ácido y por su sabor a leche cocida, debido a la cantidad de proteína láctea agregada.

#### 4 Conclusiones.

Es posible obtener yogures de buena calidad utilizando la ultrafiltración como método de concentración de la leche, estos yogures son, en general, de mayor calidad que los obtenidos mediante el método de concentrar la leche con proteína láctea.

Se obtuvo por ultrafiltración un yogur con un 20 % de

sólidos que resultó ser el de mejor aceptación por el panel de degustadores.

Es necesario estudiar mejores métodos de limpieza de las membranas cerámicas para aumentarles su vida útil.

#### Agradecimientos

Al CDCHT de la Universidad de los Andes por su apoyo constante a las labores de investigación del LMSSI. Al FONACIT por el financiamiento obtenido a través de los proyectos S1 2000000812 y F-2000001585. A María L Cárdenas por la revisión del texto en inglés.

#### Referencias

Bullón J, 1998, Membranes dynamiques obtenues par dépôt de protéine sur une céramique poreuse: génie des procédés d'élaboration et séparation, Tesis de doctorado, Universidad de Montpellier II, Francia.

NOVELECT, 1993, Les applications innovantes des techniques membranaires dans l'industrie, Réseau Novelect, Paris, pp 16-25.

Kulkarni S, Funk E y Li N, 1992, Ultrafiltration, applications and economics, Cap 30, Membrane Handbook, W Ho y K Sirkar editores, Van Nostrand Reinhold, Nueva York, pp 446-453.

Ozer B y Robinson R, 1999, The behavior of starter cultures in concentrated yogurt (labneh) produced by different techniques, Lebensm. Wiss u Technol., 32, pp 391-395.

Ozer B, Stenning RA, Grandison AS y, Robinson RK, 1999, Rheology and microstructure of labneh (concentrated yogurt), J Dairy Science, 82, pp 683-689.

Tamime A y Robinson RK, 1985, Yogurt, science and technology, Pergamon Press, Oxford.

Watts B, Elías LG, Ylimaki G y Jeffery LE, 1992, Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos, International Development Research Centre, Ot

