

# EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE ULTRAFILTRACIÓN/NANOFILTRACIÓN TANGENCIAL EN SERIE PARA EL FRACCIONAMIENTO Y CONCENTRACIÓN DEL LACTOSUERO

## Evaluation of Efficiency of a Tangential Ultrafiltration/Nanofiltration on Series System to Fractionation and Concentration of Whey

**Agnel Muñi<sup>1</sup>, Gisela Páez<sup>1</sup>, José Faría<sup>2</sup>, José Ferrer<sup>1</sup> y Eduardo Ramones<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Tecnología de Alimentos, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería.

<sup>2</sup>Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Leche, Facultad de Ciencias Veterinarias.

Universidad del Zulia, Apartado 526. Maracaibo 4011-A, estado Zulia, Venezuela. E-mail: gpaez@luz.ve

### RESUMEN

La ultrafiltración y nanofiltración, son técnicas de separación de membranas activadas mediante el uso de presión, en las cuales los solutos de pesos moleculares diferentes se separan de la disolución. Se estudió cada proceso con la finalidad de determinar la presión que proporcione la mayor eficiencia de separación en cada proceso de filtración tangencial. El lactosuero se ultrafiltró con un módulo tipo FILMTEC (FT 30) a 35°C y a las presiones en KPa de 280,62; 349,56; 418,51; 452,99 y 487,46; obteniéndose un concentrado proteico y un permeado el cual se nanofiltró con un módulo tipo 4040-TS40-TSA a las presiones transmembrana en KPa de 594,33; 790,83; 1004,57; 1107,99 y 1221,75. Para determinar las concentraciones y los porcentajes de retención de los diferentes componentes del lactosuero tanto en el proceso de ultrafiltración como en el de nanofiltración, fueron analizados en términos de lactosa, proteína, sales minerales y sólidos totales, el concentrado y el permeado, así como la alimentación en cada proceso. El máximo rendimiento de retención de proteína en el proceso de ultrafiltración se obtuvo a la presión de 487,46 KPa y fue de 71,60%; además se obtuvo un concentrado de 3,28% p/p en proteína. El máximo rendimiento de retención de lactosa en el proceso de nanofiltración se obtuvo a la presión de 1221,75 KPa y fue de 76,47%; se obtuvo un concentrado de 11,82% p/p en lactosa. Los valores de proteína obtenidos en el proceso de ultrafiltración y de lactosa en el proceso de nanofiltración son un indicativo del alto grado de fraccionamiento del

lactosuero obtenido bajo operación individual de cada proceso de filtración tangencial como tal. Esto favorece el mejor aprovechamiento que se pueda dar a cada componente del lactosuero, y además se obtiene un efluente de desecho libre casi en su totalidad de material orgánico, disminuyendo así su poder contaminante.

**Palabras clave:** Ultrafiltración, nanofiltración, lactosuero, concentrado proteico, concentrado en lactosa.

### ABSTRACT

To evaluate the efficiency of concentration and fractionation of whey with a system ultrafiltration/nanofiltration tangential each process were studied to know the pressure that permit the bigger efficiency of separation of each module. The whey was ultrafiltered whit module type FILMTEC (FT 30) at 35°C and at pressures on KPa of 280.62, 349.56, 418.51, 452.99 and 487.46, and the permeated obtained by ultrafiltration was nanofiltrated whit module type 4040-TS40-TSA at 35°C and pressures on KPa of 594.33, 790.83, 1004.57, 1107.99 and 1221.75. To establish the concentration and the percent of retaining of each component of the whey, the quantity of lactose, protein, ash and total solid, on the concentrate, permeate and feed on each process were studied. The maximum protein retaining performance on the ultrafiltration process was obtained at pressure of 487.46 KPa and it was 71.60%; besides was obtained a concentrated of protein of 3.28% p/p. The maximum lactose retaining performance on the nanofiltration process was obtained at pressure of 1221.75 KPa and it was 76.47%; was obtained a concentrated of lactose of 11.82%p/p. The val-

ues of protein obtained on the ultrafiltration process and of lactose on the nanofiltration process are an indicative of big grade of fractionation of whey obtained under individual operation of each process of tangential filtration. This favour the better use to each constituent of whey, and also is obtained a residue with not much organic material, reducing the pollution.

**Key words:** Ultrafiltration, nanofiltration, whey, concentrated of protein, concentrated in lactose.

## INTRODUCCIÓN

Numerosos métodos de filtración tangencial han sido propuestos para la separación de distintos solutos, como proteínas y carbohidratos, en solución. Gran parte de ellos, entre los que se encuentran la ósmosis inversa, nanofiltración y ultrafiltración, se basan en el empleo de membranas y tienen importantes aplicaciones industriales [3]. Una de las principales aplicaciones se encuentra en la industria de los alimentos y específicamente en la industria láctea, en el fraccionamiento y concentración del lactosuero.

Se estima que por cada Kg de queso se producen 9 Kg de lactosuero [14, 20]. El lactosuero representa cerca del 85-90% del volumen de la leche y contiene aproximadamente el 55% de sus nutrientes. Entre los más abundantes de estos nutrientes están la lactosa (4,5-5% p/v), proteínas solubles (0,6-0,8% p/v), lípidos (0,4-0,5% p/v) y sales minerales (8-10% de extracto seco) [9, 14, 16, 19]. Este gran contenido de nutrientes genera aproximadamente 3,5 Kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 6,8 Kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 Kg de lactosuero líquido [16, 20], por lo que se considera éste como un potencial contaminante ambiental, ya que aun cuando una parte de este lactosuero se utiliza en la alimentación de animales y como fertilizante para las tierras [9, 17], el resto es descargado en lagos y ríos [10].

En países como Francia, Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, la aplicación de la tecnología de ultrafiltración por membrana a escala industrial en el fraccionamiento del lactosuero, ha permitido la obtención de concentrados con un alto contenido proteico que debido a sus propiedades funcionales son utilizados como sustitutos de los alimentos proteicos convencionales y que debido a sus propiedades nutricionales también se utilizan como suplemento proteico, ya que contienen una proporción importante de aminoácidos esenciales. Estos concentrados proteicos se usan para enriquecer alimentos como pan, fideos, galletas, salsas, bebidas, guisos, helados, pasteles, alimentos para niños y algunos derivados de la leche [7, 10, 14, 15, 20, 22].

El otro subproducto importante del aprovechamiento de las proteínas del lactosuero es el permeado obtenido durante la ultrafiltración, rico en lactosa y sales minerales. Puede usarse para obtener lactosa, reconstituir leche humana mezclándolo con caseína,  $\alpha$ -lactalbúmina y lactoferrina, o como medio de

cultivo en procesos de fermentación para la producción de alcohol, vino blanco, levadura y ácidos orgánicos [15]. La lactosa puede recuperarse del permeado de la ultrafiltración aplicando tecnología de ósmosis inversa y/o nanofiltración tangencial [3, 12].

Con el fin de aprovechar al máximo sus nutrientes y de disminuir el efecto contaminante de un efluente industrial de potencial producción en Venezuela como lo es el lactosuero, se planteó como objetivo de este trabajo evaluar la eficiencia de fraccionamiento y concentración del lactosuero con un sistema ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie.

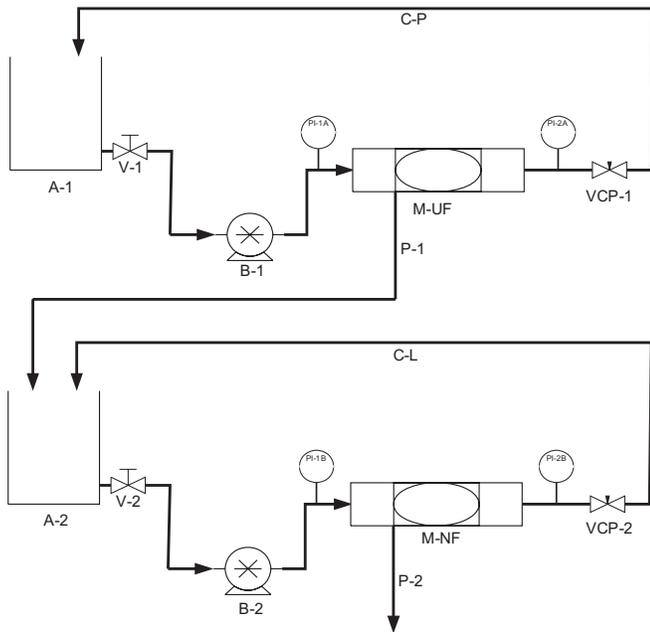
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Planta piloto de filtración tangencial

Se utilizó una planta piloto de filtración tangencial provista de dos procesos en serie; un proceso de ultrafiltración y un proceso de nanofiltración, FIG. 1. En el proceso de ultrafiltración se alimentó el lactosuero, con la ayuda de una bomba de servicio continuo (B-1) Ebara italiana con 0,8 Hp de potencia, a un módulo de ultrafiltración (M-UF) tipo Filmtec (FT 30), diseñado y construido con membrana en espiral por Dow Chemical Company con una capa interna de polisulfona con micro poros, una capa de poliamida y una capa de poliéster como refuerzo en el tope de la superficie de la membrana, desde un tanque de acero inoxidable (A-1) de 25 litros de capacidad; la corriente de concentrado proteico (C-P) se recirculó al tanque de alimentación (A-1) y la corriente de permeado (P-1) rica en lactosa y sales minerales se alimentó a un tanque (A-2) de PVC de 20 litros de capacidad instalado para ser utilizado como tanque de alimentación en el proceso de nanofiltración.

En el proceso de nanofiltración se alimentó el permeado obtenido de la ultrafiltración, con la ayuda de una bomba de desplazamiento positivo (B-2) de  $\frac{3}{4}$  de Hp, tipo C, A. O. Smith Corp., Mexicana, a un módulo de nanofiltración (M-NF) tipo 4040-TS40-TSA, diseñado y construido por Trisep Corporation con membrana en espiral de poliamida; la corriente de concentrado en lactosa (C-L) producto de la nanofiltración se recirculó al tanque de alimentación (A-2) y el permeado (P-2) se desechó.

Esta planta piloto fue obtenida luego de rediseñar y reconstruir el proceso utilizado por Faría y col. [10]. La remodelación de la planta se hizo considerando que los diámetros de partícula para las proteínas, incluyendo las proteínas séricas, están entre 0,008 y 0,1  $\mu\text{m}$  lo que hace que este material pueda ser retenido por las membranas de ultrafiltración, cuyos diámetros de poro están entre 0,002 y 0,050  $\mu\text{m}$  que los diámetros de partícula de los azúcares, incluyendo la lactosa, están entre 0,0008 y 0,004  $\mu\text{m}$  lo que posibilita que este material pueda ser retenido por las membranas de nanofiltración, cuyos diámetros de poro son menores a 0,002 y mayores a 0,0009  $\mu\text{m}$  [13, 17].



**FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA PILOTO DE ULTRAFILTRACIÓN Y NANOFILTRACIÓN TANGENCIAL.**

### Lactosuero

Se utilizó lactosuero dulce tomado luego del cuajado enzimático para la producción de queso blanco fresco. El lactosuero fue suministrado por la empresa Venelácteos, ubicada en Santa Rosa de Agua en Maracaibo, estado Zulia-Venezuela, y se transportó en un lapso promedio de 30 minutos hasta el laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Leche de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia (LUZ), para someterlo a un proceso de pretratamiento (prefiltración y centrifugación) y luego fue transportado hasta el laboratorio de Tecnología de Alimentos de La Facultad de Ingeniería-LUZ, en un lapso promedio de 20 minutos, para someterlo a los procesos de ultra y nanofiltración tangencial. Se trabajó con cargas de 20 L, se realizaron cuatro muestreos con una frecuencia muestral quincenal y un número de tres repeticiones para cada presión (60 litros, divididos en cargas de 20 litros por cada presión).

### Prefiltración

Se utilizó una malla de tela (Dril) de 0,1 mm de diámetro de poro para retener los restos de partículas de queso (arena de queso) y algunos restos de grasa existentes en suspensión. Este pretratamiento se hizo para evitar la obstrucción de los orificios de los platos y los canales de salida de la desnatadora durante la centrifugación, y con esto evitar una disminución de la eficiencia del proceso.

### Centrifugación

Debido a la presencia de grasa de la leche en forma de minúsculas gotas, donde la mayoría tienen diámetros aproxi-

mados de 2 a 10  $\mu\text{m}$  [5, 11], es necesario el uso de un proceso de centrifugación como pretratamiento para su separación del lactosuero. Para ello se utilizó una desnatadora Westfalia tipo MTA 5-00-104, con un rendimiento de 750 L/h y 7700 revoluciones del bol por minuto. Se centrifugó el lactosuero a una temperatura promedio de 35°C y por cargas de 130 litros.

### Ultrafiltración

Luego de prefiltrado y centrifugado el lactosuero fue sometido a un proceso de ultrafiltración tangencial, utilizando cargas de 20 L, a una temperatura promedio de 35°C y a cinco presiones transmembrana diferentes para determinar cual proporciona la mayor eficiencia de separación de la membrana. Las presiones utilizadas fueron: 280,62; 349,56; 418,51; 452,99 y 487,46 KPa. Fueron hechas tres corridas para cada presión y se utilizaron cargas de 20 L de muestras semejantes de lactosuero para cada una y así garantizar resultados homogéneos en las pruebas. La ultrafiltración se realizó para separar las proteínas del lactosuero, obteniéndose dos corrientes de salida: un concentrado proteico, el cual se recirculó al tanque de alimentación hasta retirar la mayor cantidad de permeado posible (82,50% de la carga), y segunda corriente la cual fue una solución rica en lactosa.

### Nanofiltración

El permeado rico en lactosa proveniente de la ultrafiltración (16,50 L) fue nanofiltrado a cinco presiones transmembrana diferentes para determinar cual de ellas proporciona la mayor eficiencia de separación de la membrana. Las presiones utilizadas fueron: 594,33; 790,83; 1004,57; 1107,99 y 1221,75 KPa. Fueron obtenidas dos corrientes de salida del módulo de nanofiltración: una corriente rica en lactosa, que fue recirculada al tanque de alimentación hasta retirar la mayor cantidad de permeado posible (75,76% de la alimentación), y la otra corriente que resultó pobre en lactosa, proteínas y sales minerales.

### Control de presión

Se controló la presión de operación en cada proceso utilizando una válvula de aguja instalada para regular el flujo de salida de concentrado en cada módulo de filtración tangencial: válvula VCP-1 a la salida del módulo de ultrafiltración y válvula VCP-2 a la salida del módulo de nanofiltración (FIG. 1).

### Control de temperatura

Tanto en la ultrafiltración como en la nanofiltración, la temperatura de operación se mantuvo constante por medio de un serpentín de aluminio en espiral, con circulación de agua, introducido en el tanque de alimentación de cada proceso. El agua se alimento al serpentín a baja temperatura para lograr el intercambio de calor con el lactosuero. Se reguló el flujo de agua en el serpentín con una válvula para lograr mantener la temperatura del lactosuero en un valor promedio de 35°C.

### Métodos de análisis

Se determinó la concentración de lactosa utilizando el método colorimétrico de Dubois y col. [8], el contenido de nitrógeno con el método de microkjeldahl [1], el porcentaje de proteína cruda se obtuvo multiplicando el porcentaje de nitrógeno por 6,38, que es el factor para la leche [1], para el porcentaje de sólidos totales y de cenizas se utilizó el método de la AOAC [1], y el contenido de grasas se determinó utilizando el método de Gerber [2]. El porcentaje de retención de cada componente del lactosuero para cada membrana de filtración tangencial se determinó utilizando la ecuación:  $R = [(C_i - C_p)/C_i] \times 100$ ; donde  $C_i$  es la concentración del componente de interés en la alimentación a la membrana,  $C_p$  es la concentración del componente en el permeado y  $R$  es el porcentaje de retención [4, 12, 23]. La presión transmembrana de operación en cada proceso se determinó utilizando la ecuación:  $\Delta P = (P_e + P_s)/2$ ; donde  $P_e$  es la presión de entrada a la membrana,  $P_s$  es la presión de salida y  $\Delta P$  es la presión transmembrana de operación.  $P_e$ ,  $P_s$  y  $\Delta P$  en KPa [4]. La densidad de las muestras se calculó dividiendo la masa medida con balanza analítica entre el volumen medido con cilindro graduado. El pH se midió con pH-metro digital. Se hace una regresión lineal representativa del comportamiento del porcentaje de retención de proteína y lactosa, en los procesos de ultrafiltración y nanofiltración respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del lactosuero prefiltrado y centrifugado

Luego de la prefiltración se obtuvo un suero libre de restos de caseína precipitada remanente, el cual fue centrifugado posteriormente para separar la materia lipídica, dando como resultado un descenso en el contenido de 0,6 hasta 0,05% p/p, lo que implica una separación del 91,67% p/p de la grasa presente inicialmente en el suero. Esto implica un contenido de lípidos bajo y por lo tanto se puede considerar como despreciable el efecto de los mismos sobre la membrana durante la filtración tangencial.

La composición del lactosuero, luego del pretratamiento, arrojó los resultados mostrados en la TABLA I. Estos valores indican que los constituyentes presentes en mayor proporción son proteína, lactosa y sales minerales. El lactosuero

**TABLA I**  
**COMPOSICIÓN MEDIA DEL SUERO PREFILTRADO Y CENTRIFUGADO**

Componente	Composición, %p/p $x \pm s \times 10^2$
Proteína	0,83 ± 1,46
Lactosa	4,95 ± 1,56
Sólidos totales	6,31 ± 1,63
Cenizas	0,52 ± 1,50
pH	6,50 ± 0,95

presentó un color amarillo verdoso, sabor ligeramente dulce debido tal vez a un pH promedio de 6,5 y un olor característico agradable.

### Fraccionamiento y concentración del lactosuero

La TABLA II muestra los porcentajes de retención de proteína, lactosa, sales minerales y sólidos totales obtenidos del proceso de ultrafiltración tangencial, a las diferentes presiones transmembrana de operación. Tal como se esperaba hay una mayor eficiencia en la retención de los componentes con mayor peso molecular como las proteínas séricas, y una menor eficiencia en la retención de los componentes de bajo peso molecular como la lactosa y las sales minerales, esto debido quizás a que las membranas de ultrafiltración son diseñadas para retener los solutos de mayor diámetro de partícula [17].

El mayor porcentaje de retención de proteína fue de 71,60% el cual se obtuvo a la presión de 487,46 KPa. Este porcentaje de retención de proteína es mayor al alcanzado por Faría y col. [10], que fue 66,67%, tal vez debido a que ellos utilizaron una presión menor, 400 KPa, a la utilizada en este trabajo. Sin embargo a una presión menor como 280 KPa se obtuvo un valor de 67,07% de retención de proteína y sólo se retuvo un 17,29% de la lactosa, lo que implica que 82,71% de la lactosa presente inicialmente en el lactosuero pasa con el permeado de la ultrafiltración.

La TABLA III muestra los porcentajes de retención de proteína, lactosa, sales minerales y sólidos totales obtenidos del proceso de nanofiltración. Se observa que los porcentajes

**TABLA II**  
**PORCENTAJES DE RETENCIÓN DE PROTEÍNA, LACTOSA, SALES MINERALES Y SÓLIDOS TOTALES OBTENIDOS DEL PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN**

Presión, KPa	280,62	349,56	418,51	452,99	487,46
Componente	% de Retención				
Proteína	67,07	68,67	69,81	70,71	71,60
Lactosa	17,29	17,50	22,50	26,30	30,21
Sales	12,00	17,31	21,15	23,78	26,92
Sólidos totales	7,24	9,92	16,69	19,69	24,57

de retención para las proteínas se mantienen casi constantes a las diferentes presiones de operación, mientras que los valores para los componentes con menor peso molecular como la lactosa y las sales minerales aumentan en mayor proporción al aumentar la presión, además de que para la lactosa y las sales minerales la retención es mayor que en el proceso de ultrafiltración, siendo este aumento más notable para la lactosa, esto se debe quizás a que las presiones aplicadas son mayores a la presión osmótica para el lactosuero (650-700 KPa) [18], esto origina un efecto inverso a la acción osmótica originada por la diferencia de potencial químico entre las soluciones a ambos lados de la membrana de nanofiltración producto de que la lactosa, que es el principal agente osmótico de la leche [11], es el componente sólido en mayor proporción en el permeado de la ultrafiltración alimentado a la membrana de nanofiltración, y además por ser las presiones aplicadas altas se produce un mayor compactamiento de la capa formada en la superficie de la membrana por el fenómeno de polarización por concentración [17] lo que genera una mayor retención de los solutos de menor peso molecular. El mayor porcentaje de retención de lactosa fue de 76,47% y se obtuvo a la presión de 1221,75 KPa.

La TABLA IV muestra las concentraciones de los diferentes componentes del lactosuero en el concentrado proteico obtenido del proceso de ultrafiltración tangencial. Estos valores son semejantes a los valores reportados por Fenton-May y Hill [12], quienes obtuvieron una concentración de proteína de 3,30% p/p para un 80% de remoción de permeado considerando completa retención de las proteínas. La TABLA IV muestra una concentración de proteína de 3,28% p/p para una remo-

ción de permeado del 82,50%, y sin considerar completa retención de las proteínas durante la ultrafiltración. Esta concentración se acerca a la concentración promedio de proteínas en la leche fresca de vaca la cual es 3,3% p/p, en promedio [21], lo que hace del concentrado proteico obtenido de la ultrafiltración un producto atractivo para ser usado como suplemento alimenticio en la formulación de alimentos de alto valor nutritivo [9, 10, 15].

En la TABLA V se observan las concentraciones de los componentes del lactosuero en el concentrado de lactosa obtenido del proceso de nanofiltración tangencial. Estos valores generan alternativas para el aprovechamiento de este valioso carbohidrato en la elaboración de productos farmacéuticos, como sustrato en los procesos de fermentación, entre otros usos. Se obtuvo un concentrado con un 11,82% p/p en lactosa.

## CONCLUSIONES

Los valores de proteína obtenidos en el proceso de ultrafiltración y de lactosa en el proceso de nanofiltración son un indicativo del alto grado de fraccionamiento del lactosuero obtenido bajo operación individual de cada proceso de filtración tangencial como tal. Esto favorece el mejor aprovechamiento que se pueda dar a cada componente del lactosuero, y además se obtiene un efluente de desecho libre casi en su totalidad de material orgánico, disminuyendo así su poder contaminante.

Aunque se obtienen altas concentraciones de proteína y lactosa a las condiciones de operación determinadas, en la ul-

**TABLA III**  
**PORCENTAJES DE RETENCIÓN DE PROTEÍNA, LACTOSA, SALES MINERALES Y SÓLIDOS TOTALES OBTENIDOS DEL PROCESO DE NANOFILTRACIÓN**

Presión, KPa	594,33	790,83	1004,57	1107,99	1221,75
Componente	% de Retención				
Lactosa	62,56	67,38	71,00	73,13	76,47
Proteína	34,62	34,78	37,04	38,00	38,00
Sales	22,73	30,23	42,50	43,78	44,74
Sólidos totales	37,52	50,52	55,39	58,24	62,00

**TABLA IV**  
**COMPOSICIÓN EN MASA DE LOS COMPONENTES DEL LACTOSUERO, EN EL CONCENTRADO PROTEICO OBTENIDO DEL PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN, A LAS DIFERENTES PRESIONES TRANSMEMBRANA DE OPERACIÓN**

Presión, KPa	280,62	349,56	418,51	452,99	487,46
Componente	%p/p				
Proteína	2,79	2,81	2,94	3,21	3,28
Lactosa	4,60	4,16	4,10	4,04	4,01
Sales	0,36	0,45	0,50	0,53	0,55
Sólidos totales	7,80	7,43	7,55	7,78	7,87

**TABLA V**  
**COMPOSICIÓN EN MASA DE LOS COMPONENTES DEL LACTOSUERO, EN EL CONCENTRADO DE LACTOSA OBTENIDO DEL PROCESO DE NANOFILTRACIÓN, A LAS DIFERENTES PRESIONES TRANSMEMBRANA DE OPERACIÓN**

Presión, KPa	594,33	790,83	1004,57	1107,99	1221,75
Componente	%p/p				
Proteína	0,34	0,41	0,42	0,43	0,43
Lactosa	7,41	7,96	9,05	10,77	11,82
Sales	0,43	0,54	0,60	0,62	0,67
Sólidos totales	8,20	8,91	10,08	11,82	12,92

trafiltración y nanofiltración respectivamente, las condiciones de operación que proporcionen la mayor eficiencia para cada proceso como tal están sujetas al uso que se les da a los productos tanto de la nanofiltración, como de la ultrafiltración.

Para este estudio se selecciona en el proceso de ultrafiltración la presión cuatro (452,99 Kpa) por ser la que ofrece un mayor porcentaje de retención en relación al gasto energético requerido para dicha presión. En el proceso de nanofiltración, se selecciona la presión cuatro (1107,9 Kpa) que a su vez ofrece mayor poder de retención en relación al gasto energético requerido para esta presión.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. Official Methods of analysis. 15<sup>th</sup> Ed. Arlington, Virginia. Cap. 33. 10-15 pp. 1990.
- [2] BOSCÁN, L.A. Guía de Trabajos de Laboratorio de Industrias Lácteas. La Universidad del Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias. (Mimeografiado). 75 pp. 1985.
- [3] BRENNAN, J.G.; BUTTERS, J.R.; COWELL, N.D.; LILLY, A.E. Filtración y separación por membrana. **Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos**. Cap. 6. 2<sup>da</sup> Ed. Editorial ACRIDIA, España, 540 pp. 1980.
- [4] BRESLAU, B.; KILKULLEN, B. Hollow fiber ultrafiltration of cottage cheese whey: Performance study. **J of Dairy Sci.** 60(9): 1379-1386. 1977.
- [5] ALAIS, CH. Composición de la leche. **Ciencia de la Leche. Principios de Técnica Lechera**. Editorial Continental, S. A. España, 594 pp. 1970.
- [6] COX, G.C.; MacBEAN, R.D. Lactic acid production by *Lactobacillus bulgaricus* in supplemented whey-ultrafiltrate. **The Austr. J. of Dairy Tech.** March: 19-22. 1977.
- [7] CUDDY, M.E.; ZALL, R.R. Performance of lipid-dried acid whey in extruded and baked products. **Food Tech.** January: 54-59 pp. 1982.
- [8] DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analyt Chem.** 28(3): 350-356. 1956.
- [9] FARÍA, J.; GARCÍA, A.; GARCIA DE H., A. Efecto de la tecnología quesera sobre la composición del suero lácteo. **Multicien.** 2(2): 126-130. 2002.
- [10] FARÍA, J.; GARCÍA, A.; GARCÍA, A.C. Eficiencia en la concentración de la proteína de lactosuero con una planta móvil de ultrafiltración y nanofiltración. **Rev. Cientif. FCV-LUZ.** XIII (5): 347-351. 2003.
- [11] FENNEMA, O.R. Composición de la Leche. **Introducción a la Ciencia de los Alimentos**. Editorial Rertés, S. A. España. 918 pp. 1982.
- [12] FENTON-MAY, R.I.; HILL, CH.G. Jr. Use of ultrafiltration/reverse osmosis systems for the concentration and fractionation of whey. **J of Food Sci.** 36: 14-21. 1971.
- [13] TRISEP CORPORATION. Spiral Wound elements for water purification, brackish water desalination and wastewater general. **General Guide to Trisep Reverse Osmosis Products and Properties**. 110 pp. 1995
- [14] GONZÁLEZ, M.I.; The biotechnological utilization of cheese whey: A review. **Biores Tech.** 54: 1-11. 1996.
- [15] GRASELLI, M.; NAVARRO, A. A.; FERNÁNDEZ, H.M.; MIRANDA, M.V.; CAMPERI, S.A.; CASCONI, O. ¿Qué hacer con el suero del queso? **Ciencia Hoy.** 8(43): 12-17. 1997.
- [16] GRBA, S.; STEHLIK-TOMA, V.; STANZER, D.; VAHEIÉ, N.; SKRLIN, A. Selection of yeast strain *kluveromyces marxianus* for alcohol and biomass production on whey. **Chem. Biochem. Eng. Q.** 16(1): 13-16. 2002.
- [17] GUIZARD, C. Clasificación de las membranas. **Cuaderno Firp**. Universidad de Los Andes. 452. 35 pp. 1995.
- [18] MULLER, L.; HARPER, W. Effects on membrane processing of pretreatments of whey. **J. Agric. Food Chem.** 27(4): 652-664. 1979.

- [19] NICKERSON, T.A. Lactose chemistry. **J. Agric. Food Chem.** 27(4): 150-161. 1979.
- [20] PAVEL, J. Industrial whey processing technology: An overview. **J. Agric. Food Chem.** 27(4): 658-661. 1979.
- [21] POTTER, N. Leche y productos lácteos. **La Ciencia de los Alimentos.** Edutex, S. A. México. 749 pp. 1973.
- [22] QUINTERO, H.; RODRIGUEZ, M.; PÁEZ, G.; FERRER, J.; MÁRMOL, Z.; RINCÓN, M. Producción continua de proteína microbiana (*k. fragilis*) a partir de suero de leche. **Rev. Científ. FCV-LUZ.** IX (2): 87-94. 2001.
- [23] SMITH, B.R.; MacBEAN, R.D.; COX, G.C. Separation of lactic acid from fermentation liquors by reverse osmosis. **The Austr. J. of Dairy Tech.** March. 23-26 pp. 1977.