

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE
ULTRAFILTRACIÓN EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE JARABES DE
GLUCOSA Y DE MALTODEXTRINA**

JOSE SAID CONTRERAS BASTOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FALCULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE
ULTRAFILTRACIÓN EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE JARABES DE
GLUCOSA Y DE MALTODEXTRINA**

JOSE SAID CONTRERAS BASTOS

Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO QUÍMICO

Director:

Prof. CARLOS JESÚS MUVDI NOVA

Ingeniero Químico, PhD., M.Sc.

Codirector:

Blanca Cecilia Martínez

Química

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FALCULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

*"...el día que clamé, me respondiste;
fortaleciste el vigor de mi alma"*

Fragmento de Salmo 38

A Doña Estela y a Carol. Eternamente.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos sinceros a Promitec Santander S.A.S. por su confianza, apoyo y por todas las enseñanzas que me brindaron en nuestro andar juntos, especialmente al Ing. Erick Iván González, la Dra. Blanca Cecilia Martínez, John Fabio Reyes, Loufrantz Jaffer Parra, Yuliana Marcela medina y, por supuesto, a la Dra. Erika Tatiana Rivera.

De la misma forma, y en el mismo orden de importancia, agradezco al profesor Carlos Jesús Muvdi Nova, Director de Proyecto, quien con paciencia y guía certera me brindó la oportunidad de desarrollar la práctica en Promitec Santander S.A.S.

Finalmente, a todos aquellos que me enseñaron tanto en el camino, gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	13
2 PROBLEMÁTICA	14
3 OBJETIVO	14
4 ALCANCE Y LIMITACIONES	15
5 CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	15
6.1. Jarabes	15
5.1.1 Generalidades	15
5.2 Procesos baromembranarios	16
5.2.1 Generalidades	16
5.2.2 Clasificación de las membranas.....	18
5.2.3 Ultrafiltración	19
5.2.4 Colmatación	20
6 METODOLOGÍA	21
6.1 Descripción metodológica.....	21
6.2 Montaje del módulo de ultrafiltración	22
6.3 Materiales e insumos.....	24
7.4. Métodos de cuantificación.....	25
7 ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	25
7.1 Estudio de la filtración de hidrolizados de maltodextrina y glucosa a 10°Brix	26
7.2 Estudio de la filtración de hidrolizados de maltodextrina y glucosa a 20°Brix	30
8. CONCLUSIONES	36
9. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los procesos con membranas	18
Tabla 2. Clasificación de las membranas.	19
Tabla 3. Componentes del montaje del sistema de ultrafiltración.....	24
Tabla 4. Métodos de cuantificación de parámetr	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tamaño relativo de diferentes solutos removidos por cada clase de membrana	17
Figura 2. . Representación del módulo membranario	19
Figura 3. Diagrama metodológico	21
Figura 4. Vista frontal del montaje del sistema de ultrafiltración.	23
Figura 5. Vista posterior del montaje del sistema de ultrafiltración	23
Figura 6. Caudal de permeado en maltodextrina (arriba) y en glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min.	26
Figura 7. Porcentaje de glucosa en hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C y 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min	27
Figura 8. Porcentaje materia seca en hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C y 4 bar de presión transmembrana, caudal de alimentación de 49 L/min.	28
Figura 9. Turbidez de hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min	29
Figura 10. Caudal de permeado en hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min	30
Figura 11. Porcentaje de glucosa en hidrolizados de maltodextrina (a, b) y de glucosa (c, d) a 20°Brix, 50°C y 4 bar de presión transmembrana, y caudal de alimentación de 49 L/min	31
Figura 12. Porcentaje materia seca en maltodextrina(arriba) y en glucosa (abajo) a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación 49 L/min.	32
Figura 13. Turbidez en maltodextrina (arriba) y en glucosa (abajo) a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación 49 L/min.	33

Figura 14. Comparación de los hidrolizados de maltodextrina y glucosa a los 75 min de ultrafiltración con respecto a su apariencia inicial . (a, d: inicial; b, e: retenido; c, f: permeado).....34

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE JARABES DE GLUCOSA Y DE MALTODEXTRINA*

Autor: Contreras Bastos Jose Said**

Palabras claves: maltodextrina, glucosa, permeabilidad en membranas, porcentaje de materia seca, porcentaje de glucosa, turbidez.

El presente estudio se llevó a cabo con el fin de realizar el análisis de la implementación de una etapa de clarificación para los hidrolizados de maltodextrina y de glucosa de la empresa Promitec¹ Santander S.A.S. por medio de un sistema de ultrafiltración.

Inicialmente, se llevaron a cabo tres pruebas preliminares para establecer las condiciones de operación que se mantuvieron a lo largo del estudio, tales como: concentración, temperatura, presión transmembrana, y caudal de alimentación de los hidrolizados de maltodextrina y de glucosa. Posteriormente, se realizaron pruebas por duplicado para analizar la filtración de los hidrolizados de maltodextrina y de glucosa en el tiempo (210 min), tomando muestras de las corrientes de permeado y retenido cada 30 min, que fueron caracterizadas en %glucosa, % materia seca, turbidez y permeabilidad.

Se obtuvieron permeados de hidrolizados de maltodextrina con una composición promedio de % glucosa de 3%, % materia seca del 6%, turbidez de 8,4 NTU y caudal de permeado de 2 L/min a 10°brix y % glucosa de 3,8%, % materia seca de 15,34%, turbidez de 10,6 NTU y caudal de permeado de 0,76 L/min a 20°Brix. Para los hidrolizados de glucosa se obtuvo una composición promedio de % glucosa de 82%, % materia seca de 11%, turbidez de 19 NTU y caudal de permeado de 1,6 L/min a 10°Brix y % glucosa de 40%, % materia seca de 17,5%, turbidez de 18 NTU y caudal de permeado de 0,9 L/min a 20°Brix.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova
Ph.D. Codirector: Blanca Cecilia Martínez. Escuela de Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova
Ph.D. Codirector: Blanca Cecilia Martínez.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF A ULTRAFILTRATION PROCESS IN THE STAGE OF CLARIFICATION OF GLUCOSE AND MALTODEXTRIN SYRUPS *

Author: Contreras Bastos Jose Said**

Keywords: maltodextrin, glucose, membrane permeability, dry matter percentage, glucose percentage, turbidity.

The present study was carried out in order to make the analysis of the implementation of a clarification stage for hidrolized maltodextrin and glucose produced by Promitec Santander S.A.S. using an ultrafiltration system .

Initially, three preliminary tests was taken in order to establish the operating conditions to be maintained throughout the study, such as concentration, temperature, transmembrane pressure and feed rate of hydrolyzed products of glucose and maltodextrin. Subsequently, the tests were made by duplicate analyzing the filtration of hydrolyzed maltodextrin and glucose along the time (210 min), taking samples of the permeate and retained streams every 30 min, and then this samples were characterized for % glucose, % dry matter , turbidity and permeability .

Permeated of hidrolized maltodextrin was obtained with an average composition of % glucose of 3%, % dry matter of 6%, turbidity of 8.4 NTU and permeate flow rate of 2 L /min for 10 ° Brix and % glucose of 3,8%, % dry matter of 15.34%, turbidity of 10.6 NTU and permeate flow rate of 0.76 L/min for 20 ° Brix. For the hidrolized glucose an average of % glucose of 82%, % dry matter of 11%, turbidity of 19 NTU and permeate flow rate of 1.6 L /min to 10 ° Brix composition, and % glucose of 40% , % dry matter of 17.5%, turbidity of 18 NTU and permeate flow rate of 0.9 L/min for 20 ° Brix.²

*Degree work

**Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department. Advisor: Carlos Jesús Muvdi Nova PhD. Reviewer: Blanca Cecilia Martinez

INTRODUCCIÓN

La globalización de la economía y el mejoramiento de los canales de acceso del consumidor final a productos diferenciados, de mejor calidad y precio han impulsado a los productores nacionales a adaptar sus procesos y productos a los requerimientos actuales para mejorar su competitividad y rentabilidad. Para esto, entre otras actividades clave, se necesita que el trabajo de investigación que se realiza en el sector académico se integre a este proceso aplicando el conocimiento generado por los grupos de investigación y de esta manera se perfile el desarrollo de la producción nacional. Teniendo en cuenta esto, el presente estudio se desarrolla buscando satisfacer una necesidad específica de la industria local, mejorando la calidad de los jarabes de maltodextrina y glucosa incorporando el uso de una membrana de ultrafiltración en la etapa de clarificación de los jarabes producidos por Promitec Santander S.A.S. como parte del proyecto Colciencias-UIS-Promitec Santander S.A.S. código 1102-5022-7720 titulado “Aumento de la productividad de jarabes de glucosa obtenidos a partir de hidrolizados de almidón de yuca”.

1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

La Promotora de investigación en Biotecnología de Santander PROMITEC SANTANDER S.A.S., es una compañía del grupo empresarial PROMISIÓN, ubicada en el kilómetro 3 vía Palenque-Café Madrid, manzana C bodega 2 del Parque Industrial de Bucaramanga, Santander, dedicada principalmente a la producción de jarabes de maltodextrina, glucosa y fructosa por medio de la hidrólisis enzimática del almidón de yuca nativa.

A finales de la década de los 90's, el sector agrícola de Santander dedicado a la siembra de yuca para el consumo humano, estaba atravesando una situación

crítica debido a que su oferta era mayor a la demanda del mercado existente, incurriendo en pérdidas para el campesinado y acrecentando sus niveles de pobreza e inequidad.

Por ese entonces, gracias a la cofinanciación con recursos obtenidos por medio del SENA para el desarrollo de proyectos de base tecnológica, un grupo de químicos de la Universidad Industrial de Santander se asoció formando una empresa llamada COPRITEQ, con el fin de investigar el proceso de hidrólisis enzimática del almidón de yuca y comercializar sus derivados. Posteriormente, en el 2007, se realiza una alianza con el grupo empresarial PROMISIÓN y fructifica en PROMITEC SANTANDER S.A.S.

Los jarabes obtenidos del proceso de hidrólisis enzimática han sido explotados para su aplicación en las líneas alimentaria y pecuaria que son comercializadas actualmente a nivel nacional contando con una capacidad de producción de 64 Ton/mes de jarabes por turno de ocho horas/día.

2 PROBLEMÁTICA

Debido a que el mercado exige un jarabe sin coloración, impurezas, trazas de elementos extraños y con alta concentración, se hace necesario realizar un control de los parámetros que puedan afectar las características que determinan la calidad y presentación del producto final.

3 OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue implementar la etapa de clarificación de hidrolizados de almidón de yuca, obtenidos por hidrólisis enzimática del almidón

de yuca, para la producción de jarabes de maltodextrina y glucosa, utilizando tecnología de ultrafiltración con membranas dentro del marco del convenio COLCIENCIAS-UIS-PROMITEC.

4 ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente proyecto está delimitado por las condiciones de operación de la membrana (establecidas previamente por el fabricante) tales como presión, flujo de alimentación y temperatura de trabajo, especificadas en la sección 7.1. Lo que se espera alcanzar es analizar la viabilidad de la inclusión de la técnica de ultrafiltración como estrategia para mejorar la calidad de los jarabes producidos por PROMITEC SANTANDER S.A.S.

Como limitación adicional, se tiene que las características de los hidrolizados utilizados estaban definidas por las necesidades de los clientes. Por último, la información de los resultados obtenidos anteriormente por el método de filtración frontal está protegida por un acuerdo de confidencialidad.

5 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

6.1. Jarabes

5.1.1 Generalidades

Los jarabes de glucosa y de maltodextrina son producidos mediante la hidrólisis controlada del almidón (Baldwin *et al*, 1994). El almidón es una mezcla de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina, los cuales están compuestos por glucosa y están densamente empaquetados en un estado semicristalino con enlaces inter e intramoleculares que son solubles en agua a temperatura ambiente. (Uthumpom *et al*, 2010). Estos jarabes son usados en la industria de alimentos debido a sus interesantes propiedades funcionales tales como baja

higroscopicidad, baja viscosidad, resistencia a la cristalización, poder edulcorante, entre otros.

Procesos de producción

La hidrólisis del almidón se puede realizar por vía ácida o enzimática. La hidrólisis ácida del almidón a maltodextrina o glucosa, es una técnica que tiene muchas desventajas: formación de productos no deseables y flexibilidad muy pobre (el producto final sólo se puede modificar cambiando el grado de hidrólisis), (Mera, y Carrera 2005). Hoy en día la mayor parte de la hidrólisis de almidón se realiza usando enzimas, debido a ventajas como: control de la formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto final (Mera, y Carrera 2005). Independientemente del tipo de almidón usado, el proceso consta de dos etapas, una es la licuefacción, donde la enzima α -amilasa hidroliza parcialmente el almidón a maltodextrinas, y la segunda etapa, es la sacarificación, donde el jarabe de bajo peso molecular es convertido a glucosa por medio de la glucoamilasa (Long, 1986).

5.2 Procesos baromembranarios

5.2.1 Generalidades

La separación y purificación de los productos hidrolizados puede llegar a ser el mayor factor económico en la comercialización de los bioprocesos. Aunque son pocos los documentos de estudio rigurosos, hay gran cantidad de reportes que sugieren que la separación podría representar alrededor del 75% del costo del proceso (Castellanos, *et al*, 2004).

Una membrana es una barrera semipermeable, generalmente de un delgado material polimérico sólido o cerámico, el cual restringe el paso de ciertos componentes. Esta barrera separa la corriente de alimentación (también llamada retenido o concentrado) y la corriente de un producto (también llamado filtrado o permeado). Esta membrana o barrera controla la velocidad relativa de transporte

de varias especies a través de ella y así entrega un producto escaso de ciertos componentes y un segundo producto concentrado en esos componentes (Scott, 1992). Los procesos con membranas impulsados por presión (baromembranarios) son ampliamente usados en casi todas las industrias químicas, farmacéuticas y de alimentos (Prip, 2007).

La Figura 1 muestra los tamaños relativos de partículas de algunas sustancias comunes removidas por cada tipo de membrana. Debido al tamaño de las partículas de almidón (>100 kDa) el módulo de ultrafiltración las retendrá impidiendo su paso a la corriente de permeado, haciendo que el alimento sea cada vez más concentrado en carbohidratos de cadena larga y alto peso molecular.

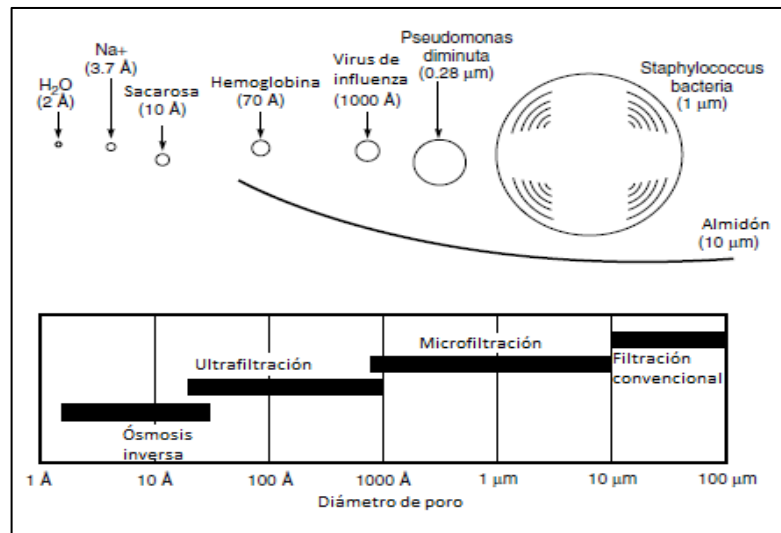


Figura 1. Tamaño relativo de diferentes solutos removidos por cada clase de membrana. Fuente: Baker, 2004

En la Tabla 1 se muestra el mecanismo de separación, fuerza impulsora y sustancias permeadas y retenidas del proceso de ultrafiltración y de otros procesos con membranas. Se observa que para el proceso de ultrafiltración el mecanismo de separación es el tamaño de poro, por lo tanto las moléculas que tengan un peso molecular superior a 0,5 kDa serán retenidas, por esto, el módulo membranario de ultrafiltración será selectivo para partículas como la del almidón y otras que se encuentren en la corriente de alimento..

Tabla 1. Características de los procesos con membranas (Camarillo, 2007)

PROCESO	TIPO DE MEMBRANA	MECANISMO SEPARACIÓN	FUERZA IMPULSORA	SUSTANCIAS PERMEADO	SUSTANCIAS RETENIDAS
<i>Microfiltración</i>	Microporosa Simétrica	Tamaño de poro	Diferencia de presión	Agua, sólidos disueltos	Compuestos de PM>500.000
<i>Ultrafiltración</i>	Microporosa Asimétrica	Tamaño de poro	Diferencia de presión	Agua, sustancias de bajo PM	Coloides, moléculas de PM >500
<i>Nanofiltración</i>	Microporosa Asimétrica	Tamaño de poro	Diferencia de presión	Agua, sales	Moléculas de PM>200
<i>Ósmosis inversa</i>	Homogéneas	Solubilidad Difusión	Diferencia de presión	Agua	Iones, compuestos de PM>50
<i>Diálisis</i>	Microporosa Simétrica	Difusión en membrana	Diferencia de concentración	Compuestos orgánicos de bajo PM	Sales, compuestos de PM>1.000
<i>Electrodiálisis</i>	Intercambio iónico	Carga de los iones	Diferencia de potencial	Iones	Compuestos orgánicos
<i>Separación de gases</i>	Homogéneas Simétricas	Solubilidad Difusión	Diferencia de presión de vapor	Gases rápidos	Gases lentos, sales
<i>Pervaporación</i>	Homogéneas Aimétricas	Solubilidad Difusión	Diferencia de presión de vapor	Agua (vapor)	Sales, compuestos orgánicos

5.2.2 Clasificación de las membranas

Dependiendo de las características de la membrana existen diferentes clasificaciones, tal como lo muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las membranas. Fuente: autor

CLASIFICACIÓN DE MEMBRANAS			
Naturaleza	Simples	Composición química	Poliméricas
	Compuestas		Cerámicas
Estructura	Simétrica	Forma	Planas
	Asimétricas		Espiraladas
Carga superficial	Positiva		Tubulares
	Negativa		Huecas
	Bipolar	Flujo	Frontal
	Neutra		Cruzado

En un módulo de ultrafiltración de flujo cruzado con membrana espiralada de celulosa regenerada, como el usado en el presente estudio, la alimentación entra bajo presión por un extremo del módulo, siguiendo tangencialmente hacia la salida superior. El filtrado fluye a través de la membrana por los canales de permeado y espirales hacia el núcleo central, de donde es evacuado por la salida inferior (Ver Figura 2).

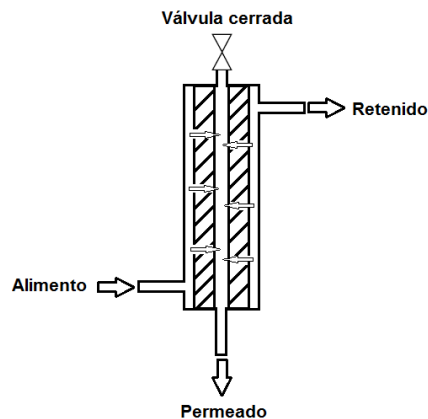


Figura 2. . Representación del módulo membranario. Fuente: Autor

5.2.3 Ultrafiltración

La ultrafiltración es un proceso controlado por la presión transmembrana. El tamaño de poro de la membrana oscila entre 0,001 y 0,05 μm . Este tamaño de poro exige presiones transmembrana de hasta 10 bar. La principal aplicación de este proceso es la separación de macromoléculas con peso molecular

comprendidos entre 0,5 kDa a 100 kDa (Wang *et al.*, 2011). Las membranas de ultrafiltración son permeables a las moléculas de peso molecular inferior a 0,5 kDa y muestran baja retención de sales. Un aumento en la presión aplicada conlleva a un aumento en el flujo de permeado.

En los años recientes, la tecnología de ultrafiltración ha tomado importancia en la concentración, purificación y fraccionamiento de productos en campos como alimentos, medicina, biotecnología, papel, entre otras (Reddy *et al.*, 2002). Tradicionalmente, la ultrafiltración se ha llevado a cabo con distintos tipos de membranas poliméricas tales como polietersulfona, acetato de celulosa, y celulosa regenerada (Shah *et al.*, 2006). Esto representa una de las mayores dificultades que enfrentan los usuarios finales de las membranas de ultrafiltración, debido a la enorme dificultad de comparar productos de diversos materiales, tanto poliméricos como cerámicos, proporcionados por diferentes fabricantes (Mehta *et al.*, 2004).

5.2.4 Colmatación

Dentro de las desventajas que presenta el método está la colmatación o fouling. Este fenómeno es causado por diferentes mecanismos, tales como la polarización por concentración (PC) (Jiraratananon y Chanachai, 1996; Jonsson *et al.*, 1996; Riedl *et al.*, 1998; Song, 1998), bloqueo del poro (Hermia, 1982; Kawakatsu *et al.*, 1995) o incremento de la viscosidad por aumento del factor de concentración (Carneiro *et al.*, 2002). Este fenómeno resulta en una disminución del flujo de permeado de la membrana, un incremento del rechazo de solutos de bajo peso molecular y un eventual bloqueo de los canales de flujo (Coulson y Richardson, 2002). La colmatación comprende el material que forma un depósito en la superficie y/o en el interior de sus poros, está influenciada por la hidrodinámica del proceso de filtración, las interacciones entre la membrana y los contaminantes en la corriente de alimentación, y entre la capa de colmatación y los contaminantes (D'Souza y Mawson, 2005). Para mantener el flujo y controlar la colmatación de la membrana se utilizan algunos métodos como retrolavados regulares, modificación de las condiciones de operación y desinfección y limpieza por medios químicos (Peter-Varbanets *et al.*, 2011).

6 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este estudio se analizó como varían los parámetros de permeabilidad, porcentaje de glucosa, porcentaje de materia seca y turbidez, al variar la composición de los jarabes de glucosa y de maltodextrinas. En todos los casos se fijó la presión transmembrana (4 bar), volumen de hidrolizado (900 L) y temperatura de operación (50°C) y caudal de alimentación de 49 L/min.

6.1 Descripción metodológica

La Figura 3 representa el diagrama de la metodología aplicada al estudio del comportamiento del módulo membranario.

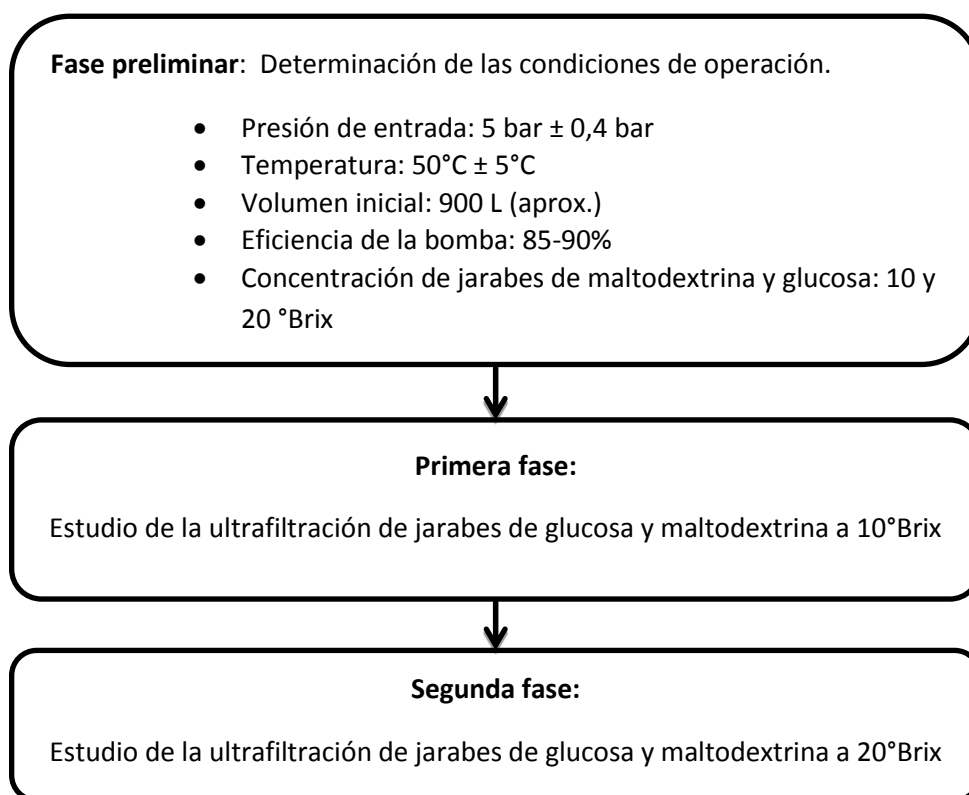


Figura 3. Diagrama metodológico. Fuente: Autor.

En la fase preliminar se buscó establecer las variables a mantener durante el proceso de ultrafiltración, de tal manera que se pudiese maximizar el flujo de

permeado manteniendo la integridad del módulo membranario. Durante esta etapa se fijó una presión de entrada de 5 bar, temperatura del hidrolizado de 50°C, eficiencia de la bomba del 85% y una concentración de los jarabes de 10°Brix y 20°Brix. Todas las pruebas se trabajaron con 900 l de hidrolizado a clarificar. Aunque en la literatura se encuentra información sobre la influencia del pH en la filtración de jarabes de maltodextrina y glucosa, en las tres pruebas preliminares se descartó la incidencia del pH del hidrolizado sobre el flujo de permeado o sus características fisicoquímicas debido a que no se observaron alteraciones en ninguno de los parámetros de salida (permeabilidad, % de glucosa, % de materia seca, turbidez). Las pruebas se realizaron con recirculación del permeado al tanque de alimentación tomando muestras de permeado y de retenido cada 30 min durante 3,5 h. Las fases dos y tres se diferencian en la concentración de los jarabes, manteniendo iguales las condiciones establecidas en la fase preliminar.

6.2 **Montaje del módulo de ultrafiltración**

El montaje consiste en un tanque enchaquetado de almacenamiento con capacidad de 1000 l, la alimentación es impulsada hacia el módulo membranario por medio de una bomba de desplazamiento positivo tipo tornillo. El permeado es almacenado en otro tanque mientras que el retenido es recirculado en el tanque de alimentación. Todos los tanques están fabricados en acero inoxidable y cuentan con sistema de agitación. Previo al módulo membranario, se instaló un sistema de microfiltración (frontal) de 10 µm para evitar el paso de partículas de gran tamaño e impurezas que pudieran afectar el proceso (Ver Figuras 4 y 5).



Figura 4. Vista frontal del montaje del sistema de ultrafiltración. Fuente: Autor.



Figura 5. Vista posterior del montaje del sistema de ultrafiltración. Fuente: Autor.

La Tabla 3 resume los componentes del sistema utilizados en el montaje del módulo de ultrafiltración:

Tabla 3. Componentes del montaje del sistema de ultrafiltración. Fuente: Autor.

Número	Descripción
1	Entrada de alimento
2, 4, 5, 8, 10	Válvula
3, 9, 12	Manómetro
7	Módulo de ultrafiltración
6	Salida de permeado
13	Microfiltro (filtración frontal)
14	Bomba de desplazamiento positivo
15	Tanque de alimentación
16	Agitador

6.3 Materiales e insumos

La membrana utilizada para el desarrollo de este estudio es una membrana MILLIPORE HELICON SS50 CDUF050LG, la cual es un dispositivo de ultrafiltración espiralado diseñado para la concentración y desalinización de soluciones de macromoléculas que combina las ventajas de la filtración de flujo tangencial con tecnología de ultrafiltración por membranas a bajo costo. La estructura de los módulos minimiza el tamaño de la cubierta y maximiza el área de filtración disponible, además está compuesto de capas alternas de membranas de ultrafiltración y pantallas separadoras poliméricas envueltas concéntricamente alrededor de un núcleo hueco. La membrana tiene un área de filtración de 4,6 m², diámetro de 9,9 cm y longitud de 65 cm, puede manejar un caudal de 40 a 57 l/min en un intervalo de presión de 0 a 7 bar (100 psi). El rango de temperatura de funcionamiento oscila entre 4° C y 55°C y un pH óptimo de 2 a 13.

Esta membrana fue adquirida en Promitec Santander S.A.S. en el año 2006 con una inversión aproximada de \$30'000.000 y hasta la fecha de inicio del proyecto no había sido usada.

Adicionalmente, se utilizó:

- pHmetro marca Schott

- Bomba de desplazamiento positivo, tipo tornillo, marca Predollo Pro NGA 101A
- Espectrofotómetro marca Thermo modelo Genesys 10 U.V.
- Gramera marca Scout Pro con capacidad de 200 g.
- Jarabes de maltodextrina y de glucosa a 10 y 20 °Brix.
- Mangueras de polietileno reforzadas.
- Alcohol industrial al 97% suministrado por Laboratorios León.
- NaOH en escamas, marca J.T.Baker.

7.4. Métodos de cuantificación

La Tabla 4 presenta los métodos de medición para cada parámetro. Todos los métodos de cuantificación se realizaron en el laboratorio de fisicoquímica de Promitec Santander S.A.S. con el apoyo del líder del área.

Tabla 4. Métodos de cuantificación de parámetros. Fuente: Autor

PARÁMETRO	MÉTODO
° Brix	Refracción
Humedad (%)	Gravimétrico
% Glucosa	Espectrofotométrico (Glucosa oxidasa-peroxidasa)
Turbidez	Espectrofotométrico

7 ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos del proceso de ultrafiltración de los hidrolizados de maltodextrina y glucosa según su concentración y las condiciones de operación establecidas en la fase preliminar. Todas las pruebas se hicieron por duplicado.

7.1 Estudio de la filtración de hidrolizados de maltodextrina y glucosa a 10°Brix

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos para la permeabilidad en función del tiempo, al trabajar con soluciones a 10° Brix de maltodextrina y glucosa , a 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min.

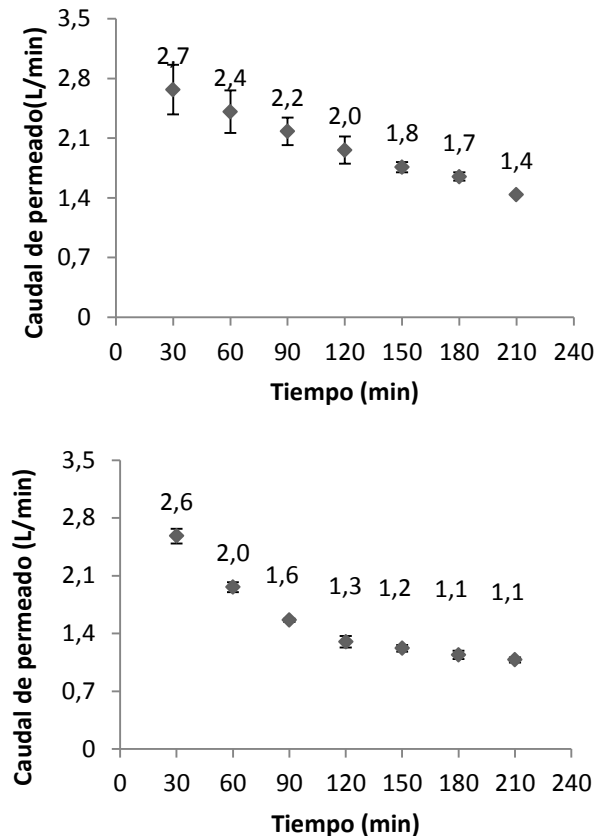


Figura 6. Caudal de permeado en maltodextrina (arriba) y en glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. Fuente: Autor.

En la Figura 6 se observa que al aumentar el tiempo de filtración la permeabilidad de ambos fluidos disminuye. Las permeabilidades de los filtrados tienen el mismo comportamiento en el tiempo, aunque la filtración del hidrolizado de glucosa se estabiliza más rápido (a los 90 min de ultrafiltración). Esto se debe a que el hidrolizado de glucosa es más homogéneo en su composición, por lo que se estabiliza su curva de permeado más rápidamente que el hidrolizado de

maltodextrina; para este último pudiendo ser posible que alcance valores inferiores a los de la glucosa.

La Figura 7 muestra el porcentaje de maltodextrina y glucosa en permeado y retenido en función del tiempo a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. De ella se observa que los hidrolizados de maltodextrina presentan un contenido de glucosa inferior a los hidrolizados de glucosa. Esto concuerda con lo establecido por los protocolos de producción de la empresa. Debido a que la membrana no es selectiva para la glucosa, se puede esperar que haya una concentración similar en la corriente de permeado y de retenido. Las desviaciones reportadas pueden deberse al método empleado para su determinación (Ver Tabla 4).

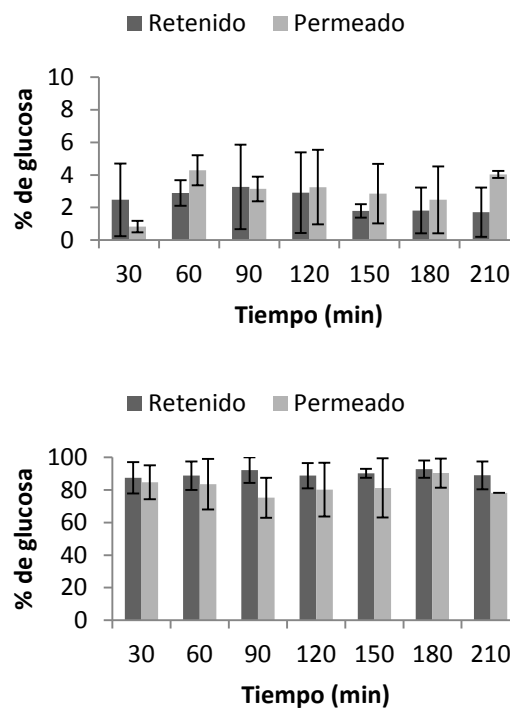


Figura 7. Porcentaje de glucosa en hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C y 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. Fuente: Autor.

La Figura 8 muestra el porcentaje de materia seca obtenido para los filtrados con respecto al tiempo a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana. y caudal de alimentación 49 L/min.

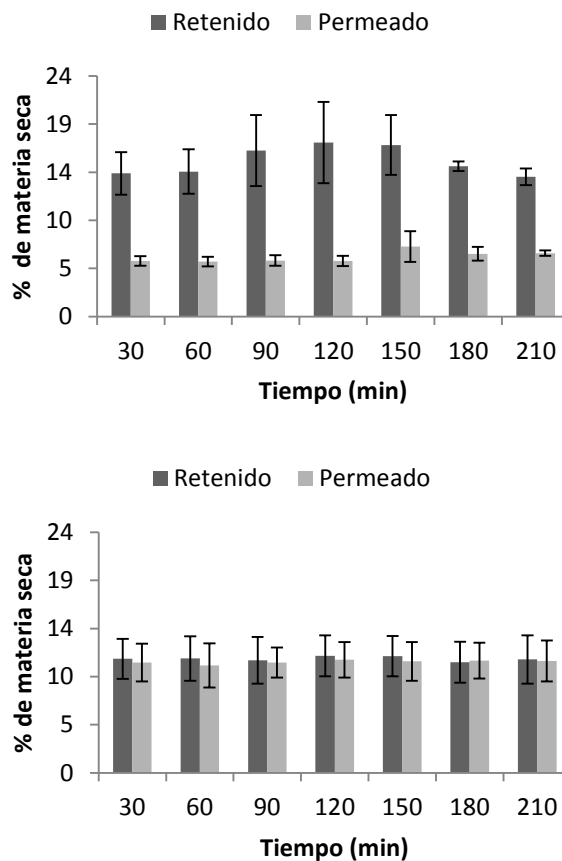


Figura 8. Porcentaje materia seca en hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C y 4 bar de presión transmembrana, caudal de alimentación de 49 L/min. Fuente: Autor.

Esta figura muestra que los valores de porcentaje de materia seca para la maltodextrina difieren significativamente entre el permeado y el retenido, llegando a ser hasta 3 veces mayor en el retenido a los 120 min. Esto es debido a la presencia en este tipo de hidrolizado, de polisacáridos y oligosacáridos con amplios rangos de pesos moleculares que impiden su paso a través de los poros de la membrana, siendo finalmente retenidos por ella. Por su parte, en los hidrolizados de glucosa, al haber un mayor grado de hidrólisis, hay una

distribución más uniforme de moléculas de menor peso, principalmente maltosas, dextrinas, D-glucosa y otros azúcares de cadena corta en menor proporción, haciendo que este parámetro sea similar en ambas soluciones.

La Figura 9 ilustra la turbidez de los hidrolizados de maltodextrina y glucosa a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. Se puede apreciar que en ambos casos la turbidez en el permeado es de al menos 2,8 veces inferior al retenido, pero este sigue aumentando con el tiempo, esto es debido al proceso de concentración que se presenta en la alimentación.

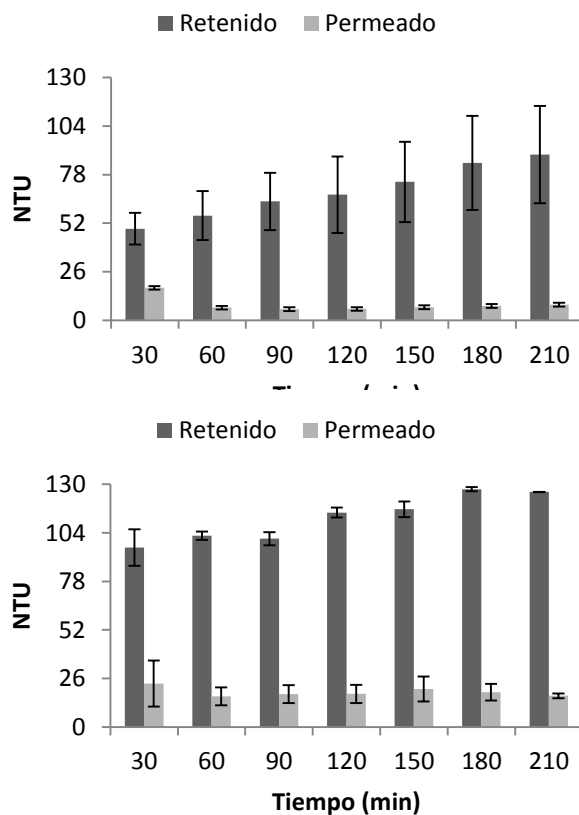


Figura 9. Turbidez de hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 10°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. Fuente: Autor.

7.2 Estudio de la filtración de hidrolizados de maltodextrina y glucosa a 20°Brix

La Figura 10 muestra la variación de permeabilidad en maltodextrina y en glucosa a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. En esta figura se tienen permeabilidades iniciales de 0,9 L/min y 1,1 L/min para las soluciones de maltodextrina y glucosa respectivamente, alcanzando disminuciones del 66% y del 56% para cada una con respecto a las obtenidas a 10°Brix. Esto es un indicador de los problemas generados al aumentar la concentración de los hidrolizados debido a la dificultad de hacer pasar la solución a través del sistema; problema debido esencialmente a la geometría de la membrana (espiralada) que aumenta las pérdidas de energía al aumentar la viscosidad de la solución alimentada.

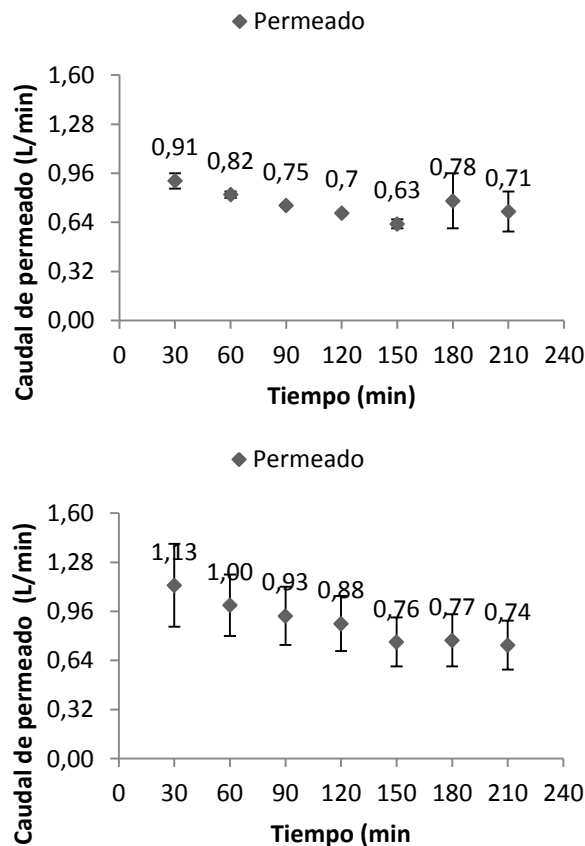


Figura 10. Caudal de permeado en hidrolizados de maltodextrina (arriba) y de glucosa (abajo) a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. Fuente: Autor

La Figura 11 muestra el porcentaje de glucosa en maltodextrina y en glucosa a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49 L/min. En comparación con la Figura 7, el comportamiento de la maltodextrina es similar, aunque presentó una menor desviación. Por su parte, con la glucosa se obtuvieron valores mucho más bajos de porcentaje de glucosa que los que se obtuvieron a 10° Brix, llegando a disminuir hasta un 60%. Esto se explicaría por una de las restricciones del presente estudio, y es debido a los hidrolizados con los que se trabajó variaban su composición según el requerimiento del cliente, pudiendo tener hidrolizados de glucosa con un bajo valor de equivalente de dextrosa, como en este caso.

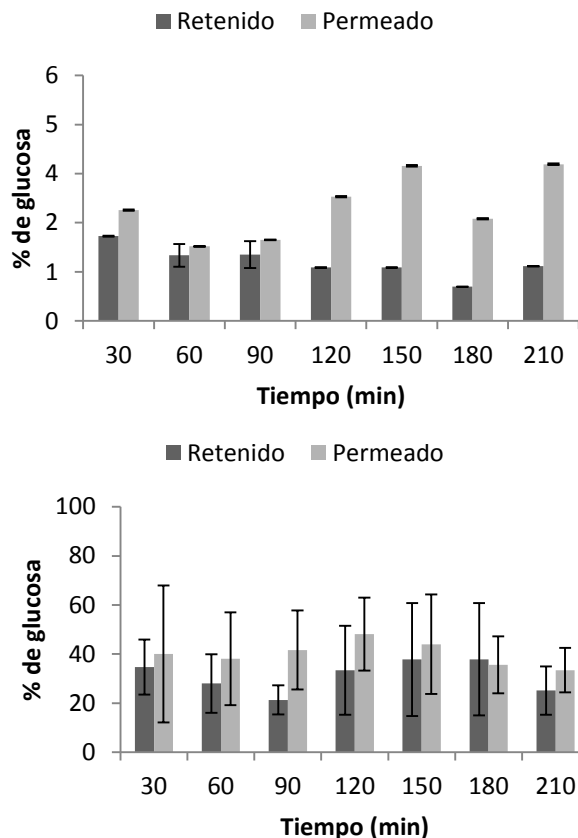


Figura 11. Porcentaje de glucosa en hidrolizados de maltodextrina (a, b) y de glucosa (c, d) a 20°Brix, 50°C y 4 bar de presión transmembrana, y caudal de alimentación de 49 L/min. Fuente: Autor.

La Figura 12 muestra el porcentaje de materia seca en maltodextrina y en glucosa a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación de 49

L/min. Al aumentar la concentración de almidón, el porcentaje de materia seca es mayor al observado en la Figura 8, pero el comportamiento sigue siendo muy similar al obtenido a 10° Brix.

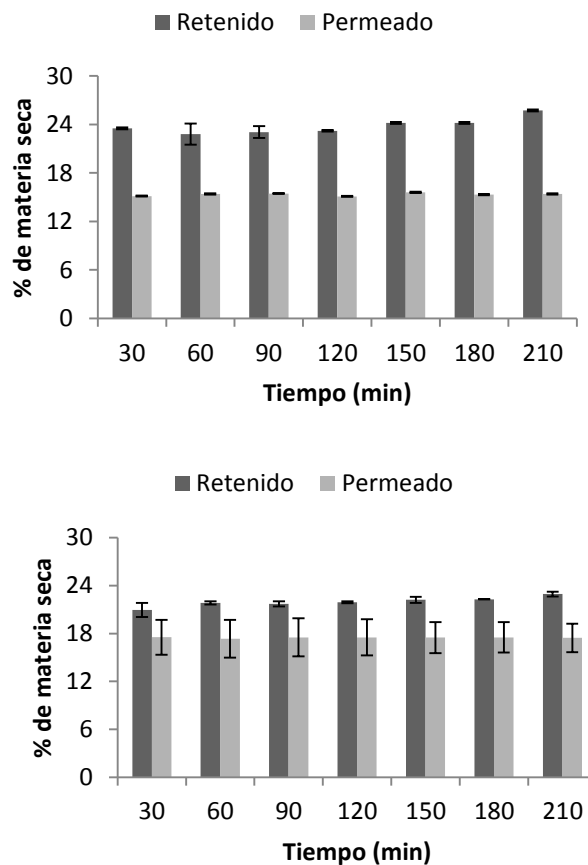


Figura 12. Porcentaje materia seca en maltodextrina(arriba) y en glucosa (abajo) a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación 49 L/min. Fuente: Autor.

La Figura 13 muestra la turbidez en maltodextrina y en glucosa a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación 49 L/min. . En esta figura se evidencia el beneficio de la clarificación de los hidrolizados por el método de ultrafiltración, al obtenerse una corriente de permeado mucho más clara que la de retenido, mostrando valores de turbidez cercanos a los obtenidos a 10°Brix con reducción en más de un 90% tanto para los hidrolizados de glucosa, como para los de maltodextrina.

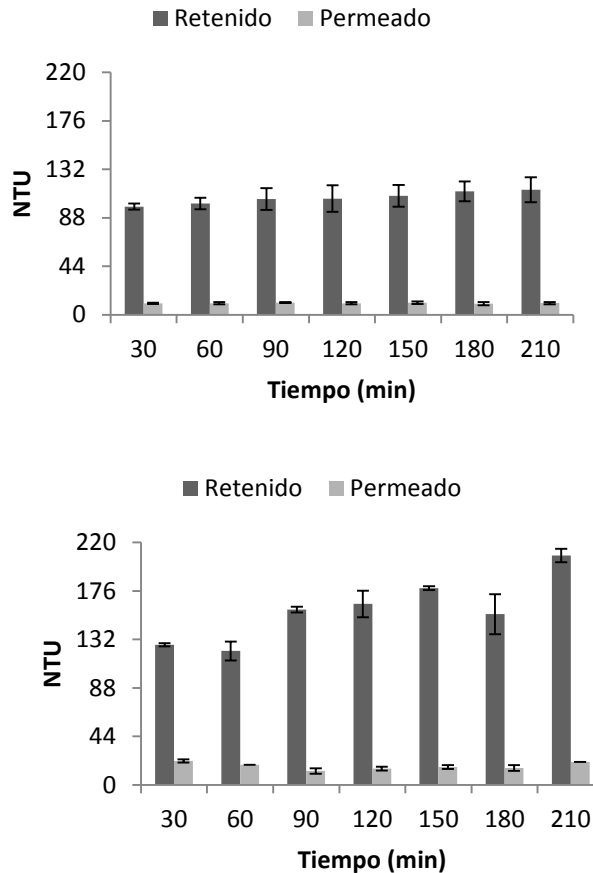


Figura 13. Turbidez en maltodextrina (arriba) y en glucosa (abajo) a 20°Brix, 50°C, 4 bar de presión transmembrana y caudal de alimentación 49 L/min. Fuente: Autor

En la Figura 14 se muestra la variación de la apariencia de permeado y retenido de los hidrolizados de maltodextrina y de glucosa a los 75 min de filtración y su comparación con el hidrolizado inicial. Se observa un cambio en la calidad del hidrolizado a los 75 min de ultrafiltración, al compararlo con la apariencia inicial, obteniendo un permeado libre de impurezas visibles suspendidas o sedimentadas (<11 NTU y <28 NTU para filtrados de maltodextrina y glucosa, respectivamente) y con un brillo superior a los de la muestra inicial y de permeado.

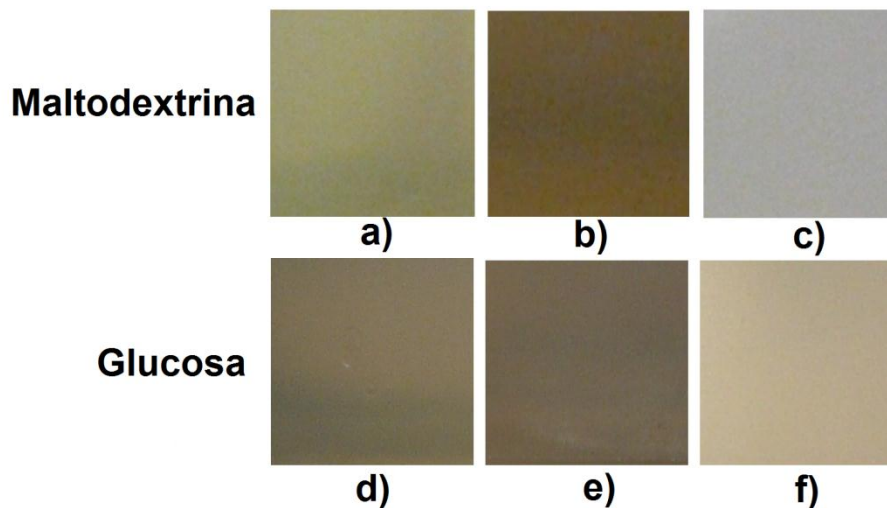


Figura 14. Comparación de los hidrolizados de maltodextrina y glucosa a los 75 min de ultrafiltración con respecto a su apariencia inicial . (a, d: inicial; b, e: retenido; c, f: permeado). Fuente: Autor

Es importante mencionar la productividad del proceso indicando que la capacidad de producción de la planta disminuiría con el módulo de ultrafiltración. Teniendo en cuenta que actualmente hay una capacidad de producción de 3000 L de hidrolizado diarios por turno de 8 h aproximadamente (considerando hidrolizados a 20°Brix), si se implementara la etapa de clarificación con el módulo membranario utilizado en este trabajo, la capacidad de producción se reduciría a 330 litros de hidrolizado (clarificado con membranas) en el mismo tiempo. Para este cálculo no se consideró el tiempo de parada del sistema de filtración para limpieza. Esta disminución se debe al caudal de permeado encontrado (0,7 L/min aproximadamente, para soluciones a 20°Brix).

El material de la membrana MILLIPORE HELICON SS50 CDUF050LG no es el adecuado, ya que el alimento se encuentra alrededor de 80°C, mientras que la membrana soporta un máximo de hasta 55°C, temperatura a la cual aumenta la viscosidad de los hidrolizados y se disminuye su capacidad de permear la membrana. Adicionalmente, la geometría espiralada impide la posibilidad de

trabajar con soluciones más concentradas, debido a las pérdidas de presión inducidas al intentar ingresar la alimentación por los finos canales de entrada al módulo.

8. CONCLUSIONES

Con el sistema de membranas estudiado se alcanzó en promedio un caudal de permeado de 1,7 L/min para los hidrolizados a 10°Brix y de 0,7 L/min a 20°Brix. Lo que podría incrementarse aumentando el número de módulos membranarios pero incrementando elevarían los costos de producción.

El sistema empleado de ultrafiltración mejora las características de los hidrolizados elaborados actualmente por PROMITEC SANTANDER S.A.S. en cuanto a su presentación, sin que se afecte el porcentaje de glucosa de los mismos; aunque se presenta una ligera disminución para los obtenidos en los filtrados de maltodextrina debido al contenido de materia seca.

Se consiguieron valores de disminución del porcentaje materia seca superiores al 60% en los permeados de los hidrolizados de maltodextrina y de 20% en los de glucosa con respecto a los hidrolizados retenidos.

Se logró alcanzar una remoción de la turbidez en más de un 90% en los hidrolizados permeados con respecto a los retenidos, mejorando de manera notable su presentación.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda el estudio con membranas cerámicas tubulares que permita manejar temperaturas de ultrafiltración adecuadas y soluciones más concentradas. También se recomienda usar más de un módulo de ultrafiltración para incrementar el volumen de permeado final.

BIBLIOGRAFÍA

Baker, R. (2004). Membrane technology and applications. second edition.

Baldwin, M.; Adler, J.; Davies, M. C., & Melia, C. D. (1994). Holes in starch granules: confocal, sem, and light microscopy studies of starch granule structure. *Starch/stärke*, 46(9), 341–346]

Camarillo B., Rafael. (2007). Separación selectiva de metales pesados en efluentes industriales mediante tecnología psu. ISBN 978-84-8427-506-0

Castellanos, O; Cruz, G; González, G; Rentería, A. (2004) Alternativas para la clarificación de jarabe de glucosa obtenido por hidrólisis enzimática del almidón, vol. 24, número 002, pág 8.

D'Souza , N.M.; Maeson, A.J. (2005). Membrane cleaning in the airy industry: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*.

Gouar, O; Zakhia, N.; Aymard, C; Rios, G.M. (1998) Production of maltose syrup by bioconversion of cassava starch in an ultrafiltration reactor. *Industrial crops and products*. Pág. 159-167.

Hermia, j., Constant pressure blocking filtration law : application to power law non-newtonians fluids., *trans. I.chem. E.*, 60, 1982, pp.183-188.

Jiraratananon, R., Chanachai, A., A study fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice., *j. Memb. Sci.* 111, 1996, pp. 39-48.

Jonsson, G., Prádanos, P., Hernández, A., Fouling phenomena in microporous membranes., flux decline kinetics and structural modifications. J. Memb. Sci. 112, 1996, pp. 171-183.

Kawakatsu, T., Nakajima, M., Nakao, S., Kimura, K. (1995) Threedimensional simulation of random packing and pore blocking phenomena during microfiltration., desalination, 101, pp. 203-209.

Long, J. E. High fructose corn syrup. (1986). Cereal foods world, 31(12), 862–865.

Mehta, A.; Zyndey, A. (2004). Permeability and selectivity analysis for ultrafiltration membranes. Journal of science 249.

Mera, Ingrid; Carrera Cataño, Jorge (2005). Obtencion de glucosa a partir de almidon de yuca manihot sculenta], revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. ISSN-1909-9959, Facultad de ciencias agropecuarias – universidad del cauca vol 3 no.1 marzo.

Peter-Varbanetsa,B; Margot, J; Trabera, J; Pronka, W. (2011). Mechanisms of membrane fouling during ultra-low pressure ultrafiltration. Journal of membrane science 377. Pág 42-53.

Prip b, soren. Pressure driven membrane processes. 2007. Pág. 4-22.

R. C. Agu, t* a. E. Amadife/ c. M. Ude, 1 a. Onyia, 1 e. O. Ogu, 1 m. Okafor 2 and e. Ezejiofor 2. Waste management, vol. 17. Pág 91-96. Elsevier science. 1997.

Reddy, a.v.r.; mohan, d.j.; shah, v.j.; ghosh, p.k.. Surface modification of ultrafiltration membranes by preadsorption of water soluble polymers and inorganic salt solutions and fouling resistance properties. Journal of membrane science 214. 2002]

Richardson, J.F.; Harker, J.H.; (2002). Coulson and Richardson's chemical engineering. Volumen 2. Quinta edición. Pág. 490.

Riedl, K., Girard, B., lencki, R. W.(1998) Influence of membrane structure in fouling layer morphology during apple juice clarification. Sci., 139, pp. 155-166.

Scott, K; Hughes,R. (1992). Industrial membrane separation technology. . Pág. 7-12.

Shah, T.; Foley, H.; Zydney, A. (2006). Development and characterization of nanoporous carbon membranes for protein ultrafiltration. Journal of membrane science 295.

Song, I. (1998). Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling., j. Memb. Sci. 139, b, pp. 183-200.

Uthumporn, U; Zaidul I.S.; Karim, A.A.; (2010). Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes, food and bioproducts processing 88, 47-54

Wang, I; Chen, J.P., Hung, Y.; Shamma, N. (2011). Membrane and desalination technologies. New york: human press. 2011. 716p. ISBN: 978-1-58829-940-6.