

EVALUACIÓN DE LA SEPARACIÓN CON MEMBRANAS EN LA CERVEZA TÍNIMA

N. Vargas Pérez*, R. M. García Lora*, J. E. Castellanos Estupiñán**, A. Pérez Zamora**, M. Martínez Robaina***

*Universidad de Camagüey, **Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, ***Fábrica de Cerveza Tínima

Este trabajo surge, debido a la necesidad de incrementar la durabilidad de la cerveza Tínima de exportación, de modo que la cerveza en el transcurso de un período determinado no sufra cambios en sus características organolépticas: olor, sabor y aspecto.

Por lo que el objetivo de este trabajo es: evaluar la tecnología de separación con membranas para incrementar la durabilidad de la cerveza Tínima de exportación.

Se montó un módulo experimental de separación con membranas y se probaron diferentes umbrales de corte a varias presiones transmembranas para determinar la de mejor comportamiento.

Las corridas fueron realizadas con membranas de óxido de zirconio (Zr_2O) soportadas en grafito de la firma CARBOSEP de umbrales de corte de 300 kDa, M-14 y M-45 con presiones de 5 y 7,5 atmósferas.

Se tomaron 4 macro variables de respuesta: propiedades Físico-Químicas, microbiológicas, parámetros operacionales y sensoriales. Las corrientes de flujo involucradas fueron tratadas con diferentes técnicas analíticas y los resultados procesados estadísticamente.

Finalmente se evaluó el uso de ésta tecnología en la cerveza 85/15 de exportación y fue demostrada la efectividad de la misma como etapa rectificadora de la filtración de cervezas. La durabilidad de la cerveza luego de pasar por el proceso de separación con membrana se incrementa en 3 veces con respecto a la cerveza sin filtrar con membrana. La membrana de mejores resultados fue la M-14, a una presión transmembrana de 5 atm.

Palabras clave: Filtración, separación con membranas, microfiltración, ultra filtración, cerveza.

This work begins due to the need of increasing the durability of Tínima export beer so that it does not change its organoleptic characteristics such as odor, flavor and aspect.

The objective of this work is to evaluate the technology of separation with membranes to increase the durability of Tínima export beer.

An experimental module of separation with membranes was created and different cut-off were proved at various pressures to determine the best one.

The runs were made with membranes of oxide of zirconium supported on graphite of the CARBOSEP firm of 300 kDa, M-14 y M-45 cut-off with pressures of 5 and 7,5 atmospheres.

Fourth macrovariables were taken: physic-chemistry, microbiological, operational and sensorial parameters. The flows current were treated with different analytical techniques and the results were statistically processed.

Finally, the use of this technology in 85/15 export beer was evaluated and its effectiveness was proved as a rectifying stage of beer filtering. The durability of the beer after finishing the process of separation with membrane increases 3 times with regard to beer without filtering with membrane.

The membrane of best results was M-14 at a pressure of 5 atm.

Key words: filtration, separation membranes, microfiltration, ultra filtration, beer.

Introducción

La investigación fue realizada en la Empresa Cervecería Tínima de Camagüey, la que fue inaugurada el 23 de diciembre de 1985 con la colaboración de la antigua República Democrática Alemana, con un costo aproximado de cuarenta y siete millones de pesos.

El brillo en la cerveza es, conjuntamente con el sabor y la espuma, un importante factor de evaluación que el cliente puede fácilmente catalogar sin ayuda especializada. Así, un consumidor de cerveza considera una turbidez visible en el líquido como un serio defecto de calidad esto puede dañar la imagen del producto y alejar un número considerable de posibles consumidores.

Este trabajo surge, debido a la necesidad de incrementar la durabilidad de la cerveza Tínima de exportación de modo que la cerveza en el transcurso de un período de tiempo determinado no sufra cambios en sus características organolépticas: olor, sabor y aspecto.

La separación por membranas es un proceso aplicado a la industria con el cual se logran altos por cientos de eficiencia. Se reporta en la literatura que esta tecnología compite económicamente con otros procesos tales como el intercambio iónico, absorción y otros, por su bajo consumo energético, sus características de tecnologías limpias y su reducido costo total, al ser comparados con la inversión requerida para otros procesos.

Por lo que el objetivo de este trabajo es: evaluar la Tecnología de Separación con Membranas para incrementar la durabilidad de la cerveza Tínima de exportación.

Fundamentación teórica

Existen factores que afectan la conservación y durabilidad de la cerveza, tales como; exposición a la luz, temperatura, oxidación y el movimiento. La aplicación adecuada de los principios y las bases bacteriológicas, desempeñan un papel importante para efectuar la conservación en la industria de bebidas. Un alimento puede conservarse cuando se evita que a él lleguen microorganismos que lo alteran, cuando se eliminan los que contiene o se obstaculiza el crecimiento de estos por baja o alta temperatura, desecación y otros métodos. También si inactivamos las enzimas o retrasamos las reacciones químicas propias del alimento.

Por tanto, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, debe hacerse todo lo posible para lograr la estabilidad de la cerveza con el tiempo.

Existen dos vías fundamentales para lograr este objetivo:

- Haciendo la cerveza coloidalmente estable.
- Haciendo la cerveza microbiológicamente estable.

Estabilidad coloidal de la cerveza

Por estabilidad coloidal de la cerveza se entiende la capacidad que esta tiene para evitar las

formaciones de compuestos insolubles, los cuales con el tiempo de almacenamiento causan un incremento de la turbidez.

Las causas normales que afectan la estabilidad coloidal de la cerveza están relacionadas con la composición de las materias primas, de forma general, las cantidades de proteínas y polifenoles presentes en la cerveza. Incluso en una cerveza pasteurizada aparece turbidez con el tiempo. Esta turbidez es causada predominantemente por sustancias coloidales disueltas en ella.

Estabilidad microbiológica de la cerveza

La cerveza puede volverse desagradable al paladar y a la vista muy rápidamente. Una de las razones es que algunos microorganismos en la cerveza pueden multiplicarse utilizando azúcares residuales como medio de cultivo. Esto provoca la aparición de turbidez en la cerveza, y como resultado de productos metabólicos excretados se hace desagradable al paladar.

Filtración

La filtración es un proceso de separación en el cual las células de levadura y otros materiales causantes de turbidez aún presentes en la cerveza, son separados de ella.

Sin embargo, en estas filtraciones clásicas quedan presente sustancias que en un período de tiempo determinado pueden precipitar; debido a esto existen en el mundo moderno técnicas que utilizan membranas semipermeables que cubren el más amplio intervalo de tamaño de partículas para su separación; éstas son: la microfiltración (MF), la ultrafiltración (UF), la nanofiltración (NF), la ósmosis inversa (OI), la diálisis (D), y la electrodiálisis (ED), son procesos con diferencia de velocidades de transporte que permiten la separación y/o concentración de las sustancias contenidas en una disolución y bajo la acción de un gradiente de presión.

Desde el punto de vista técnico en las membranas el flujo de alimentación es generalmente tangencial a la superficie de separación (membranas) por lo que disminuye notablemente el

principal problema de las operaciones de filtración, que es la colmatación o taponamiento del filtro, aunque ocurre también dentro del fluido de las moléculas retenidas. En el sistema, se forma con la membrana, una "capa límite" de espesor determinado y desplazamiento laminar, realizándose transferencias transversales de masa muy lentamente, al contrario del resto del fluido que se puede encontrar en régimen turbulento (Lewis, 1993).

Para la selección de las membranas adecuadas para un proceso de separación es necesario conocer sus características más importantes, las cuales están en función de varios factores. Uno de ellos es que la misma cumpla los objetivos de separación deseados, es decir, que su selectividad sea adecuada.

La UF retiene en el concentrado las moléculas mayores, o sea, de mayor peso molecular, mientras que en el permeado se acumulan las moléculas de menor dimensión junto al solvente, que normalmente es el agua. El tamaño de las moléculas retenidas está en función del tipo de membrana semipermeable utilizada. Las membranas se comercializan por su umbral de corte (cut-off),

es decir por el peso molecular de una sustancia que quedase retenida por la membrana en un 98 %, (Bembaries and Neely, 1986).

En la UF se separan partículas de menos de $0,3 \mu\text{m}$ de diámetro, que corresponde al límite de resolución del microscopio óptico y se emplean presiones transmembrana de 2-10 bar.

Existen dos fenómenos importantes que ocurren en la filtración con membrana que son: la polarización de concentración y el ensuciamiento.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Para evaluar la tecnología de separación con membrana en la rectificación de la cerveza filtrada como alternativa para mejorar su calidad se montó un micromódulo experimental.

Los elementos de esta instalación son:

- Un micromódulo de membrana, un manómetro, un depósito o tanque de alimentación y recepción de concentrado, una bomba de alta presión, válvulas auxiliares y tuberías para las conexiones.

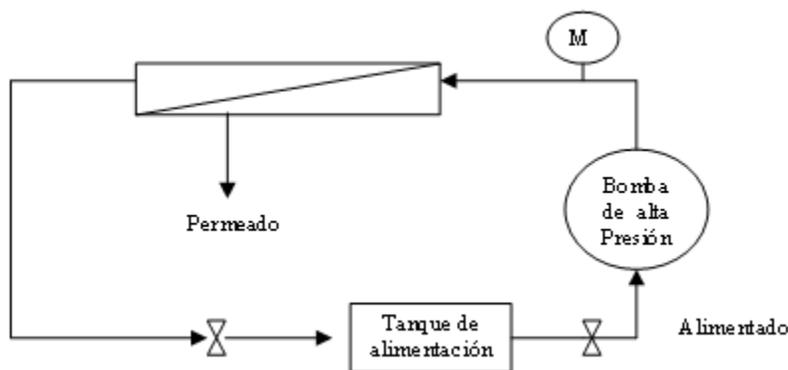


Fig. 1 Esquema del módulo empleado.

Como se aprecia en la figura 1, el sistema está formado por: un micromódulo tubular acoplado de 0,25 m de longitud y carcasa de acero inoxidable, la membrana es de óxido de zirconio (Zr_2O) soportada en grafito de la firma CARBOSEP. El módulo permite la entrada de una membrana de 0,01 m de diámetro exterior y 0,006 m de diámetro interior, el módulo opera con una sola membrana de 0,25 m de longitud, que le confiere un área de

$0,0051 \text{ m}^2$, posee un sistema de bridas que permiten el arme y desarme, una bomba de presión, para garantizar la presión de trabajo, con flujo máximo de 10,0 L/h, que alcanza una presión máxima de (12 atm.). El voltaje al cual se opera es 110 a 115 V, con una frecuencia de 60 Hz y una potencia de 0,18 kW, un manómetro para la medición de la presión, un tanque de alimentación, una válvula de globo de hierro, que permite man-

tener los flujos y presiones deseadas dentro del sistema, resistente a la mayoría de las condiciones, la misma se encuentra situada en la descarga del módulo. [Rosabal, 1988] y tuberías para conexiones de goma sintética y acero inoxidable de 0,01 m de diámetro exterior y 0,008 m de diámetro interior, el acero inoxidable asegura mejores propiedades mecánicas, mayor resistencia a la corrosión y garantiza la no fragilidad para su uso en frío.

Descripción de la metodología a seguir en los experimentos

Se realizaron experimentos con diferentes membranas (300 000 Da, M-14, M-45) y dos niveles de presión (5 y 7,5 atm).

Los valores obtenidos para cada variable, medidas antes y después de la filtración, fueron tratados mediante análisis estadísticos y comparados con las normas de la empresa.

Se caracterizaron dos corrientes implicadas en el proceso, alimentación, y permeado tomándose cuatro macro variables de respuesta:

- Propiedades físico-químicas. (extracto original, % de alcohol, color, turbidez, pH y acidez).
- Propiedades microbiológicas (conteo total, hongos y levaduras).
- Parámetros operacionales (densidad de flujo de permeado, coeficiente de agotamiento, filtrabilidad mL).
- Sensorial (aspecto, olor, sabor).

Incluyendo además los análisis especiales: (nitrógeno coagulable, compuestos fenólicos, unidades de amargor, predicción de la estabilidad fisicoquímica y estabilidad coloidal).

La experimentación consistió en hacer pasar la cerveza a través del micromódulo de membrana estudiando el comportamiento de cada membrana a los dos niveles de presión con los parámetros anteriormente definidos.

Se definieron algunos parámetros como velocidad de flujo, para evitar la colmatación y disminuir los efectos de polarización y ensuciamiento. (Zamora, 2007).

Se trabajó con la temperatura entre 4-6 °C que es la temperatura normal en bodega de guarda. Teniendo en cuenta las características del fluido a tratar y que la presión transmembrana y la densidad de flujo de permeado están íntimamente relacionadas, así como las experiencias de trabajos anteriores tanto en la Universidad de Camagüey, como en la Universidad Central de Las Villas, se fijaron los valores de presión de 5 y 7,5 atm. Los mismos están en el rango de la ultra y micro filtración.

De ahí que se consideraron como variables independientes: Los umbrales de corte de las membranas de 300 000 Da, 0,14 µm (M-14) y 0,45 µm (M-45) y los valores de presión transmembranas 5 y 7,5 atm. y como variables dependientes: densidad del flujo de permeado, análisis físico-químico y microbiológico.

Resultados obtenidos

Comportamiento de las variables para las diferentes membranas y presiones y del flujo de permeado de cerveza en (L/h-m²) vs tiempo para cada umbral de corte

Tabla 1
Resultados del Flujo promedio de permeado, filtrabilidad y agotamiento

Tipo de Membrana	300000 Da		M-14		M-45	
Presión (atm)	5	7,5	5	7,5	5	7,5
Flujo de permeado(L/h-m ²)	5,99	5,5	5,9	6,04	5,70	5,21
Mínimo:5.0 (L/h.m ²)	5,18	5,42	5,74	5,78	5,75	5,32
Tiempo de Agotamiento (min). 5.0 (L/h-m ²)	120	126	233,0	210,0	60,0	40,0
	130	137	200,0	182,5	60,0	46,0
Tiempo de Agotamiento (min). 4.0 (L/h-m ²)	300	315	435,1	430	160	263,0
	310	327	420	421	170	200,0

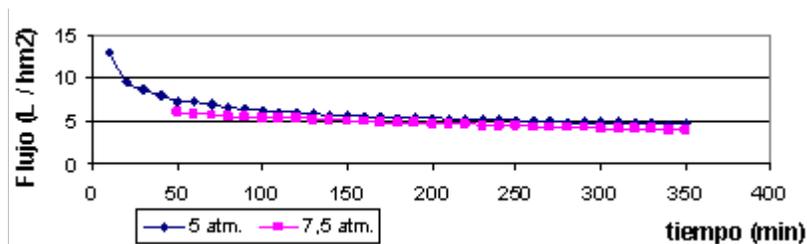


Fig. 2 Membrana de 300 kDa.

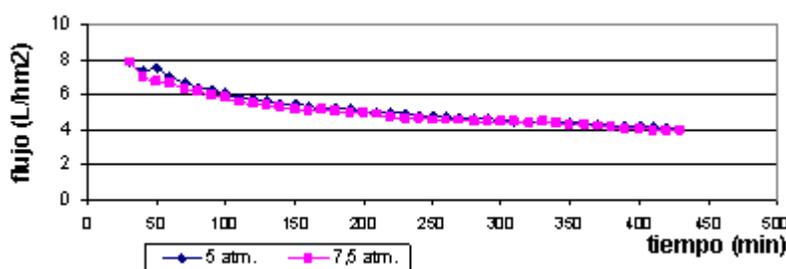


Fig. 3 Membrana M-14.

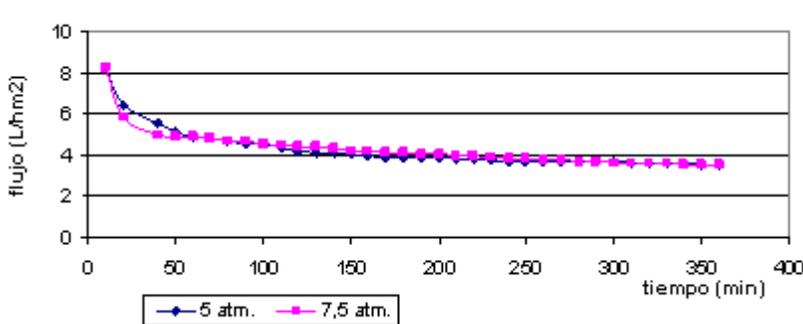


Fig. 4 Membrana M-45.

En las figuras 2, 3 y 4 se recogen los resultados promedios obtenidos del flujo de permeado de cerveza expresados en (L/h.m²) a través del tiempo. Se corrobora lo expresado en la literatura técnica de que a medida que transcurre el tiempo el flujo de permeado disminuye, el nivel de significación fue de 99 %. La membrana M-14 para un valor de presión transmembrana de 5 atm. reporta el mejor resultado.

En los mismos se refleja el comportamiento del flujo de permeado contra la presión transmembrana, se observa que no existe diferencia significativa entre las medias de los flujos de permeado obtenidos a las presiones de 5 atm y 7,5 atm para las membra-

nas M-14 y M-45, no ocurrió así con la membrana de 300 kDa.

Con respecto al agotamiento según la tabla 1 este indicador se expresa en minutos y se refiere al tiempo que demora la membrana en alcanzar un valor de densidad de flujo de permeado definido según el interés del productor. Atendiendo a los resultados experimentales se evidencia que los flujos de 4 y 5 (L/h.m²) son los que más se alcanzan bajo las condiciones que se realizó el experimento, de ahí que al calcular el tiempo requerido por cada membrana para llegar a esos valores evidencia que la membrana M-14 es la que más demora y por ende la que demora más en agotarse y con respecto al

comportamiento de la filtrabilidad el análisis se realizó sobre la base de que las densidades de flujos de permeado mantuvieron su comportamiento más estable

entre los límites de 4 y 7 (L/h.m²), atendiendo a que es interés del productor que este indicador sea elevado el mejor resultado lo mostró la membrana M – 14.

Resultados experimentales promedios de los análisis físicos químicos y microbiológicos a los diferentes valores de presión:

Tabla 2
Extracto original (% m/m)

Presión	300 kDa		M-14		M-45	
	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.
Alimentado	10,26	10,245	10,24	10,28	10,3	9,47
Permeado	9,075	9,045	9,375	9,445	9,565	7,0
%remoción	11,5	11,8	7,9	8,2	7,1	5,31

Tabla 3
Etanol (% v/v)

Presión	300 kDa		M-14		M-45	
	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.
Alimentado	5,265	5,24	5,23	5,055	5,31	5,175
Permeado	4,875	4,685	5	4,3	5,105	5,075
%remoción	7,6	7,8	4,5	1,15	3,8	2,2

Tabla 4
Color

Presión	300 kDa		M-14		M-45	
	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.
Alimentado	1,15	0,15	1,15	0,145	1,15	0,15
Permeado	0,46	0,395	0,685	0,60	0,715	0,665
%remoción	61,7	63,8	42,5	45,5	37,4	39,1

Tabla 5
Turbidez (0 °C)NTU

Presión	300 kDa		M-14		M-45	
	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.
Alimentado	4,95	4,95	5,05	0,145	4,98	0,15
Permeado	0,12	0,16	0,635	0,75	2,445	1,775
%remoción	97,6	96,8	88,0	85,2	51,0	65,4

Tabla 6
Turbidez (0 °C)NTU

Presión	300 kDa		M-14		M-45	
	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.
Alimentado	11	11	13	14	14	18
Permeado	1	1	1	1	2	1
%remoción	90,1	90,1	92,3	92,8	85,7	87,5

Tabla 7
Turbidez (0 °C)NTU

Presión	300 kDa		M-14		M-45	
	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.	5 atm.	7,5 atm.
Alimentado	174	158	228	190	189	200
Permeado	42	52	67	59	75	88
%remoción	75,9	67	71,0	68,9	60,3	56,6

Análisis de los resultados físico-químicos y microbiológicos para los tres flujos involucrados a los diferentes umbrales de corte y presiones transmembrana

Atendiendo a los resultados promedio reflejados en las tablas anteriores entre el flujo de alimentación y el permeado, según la variable analizada se observa que:

Extracto original: En todos los casos hubo una remoción siendo los resultados mejores los de las membranas M-14 y M-45 independiente de la presión transmembrana aplicada, no encontrándose diferencia significativa entre ambas.

% alcohol: El comportamiento de este indicador es similar al del extracto original, con la diferencia que las remociones son menores lo cual es de interés de la investigación. Las membranas M-45 y M-14 brindan nuevamente los mejores resultados.

Turbidez: El comportamiento de este indicador a diferencia de los anteriores si tiene una remoción altamente significativa encontrándose que las membranas M-14 y 300 kDa son las de mejores resultados. Aquí se corrobora que la membrana M-45 al tener mayor umbral de corte logran atravesar la mayor cantidad de partículas que se desean eliminar. Se corrobora

que el % de eliminación de partículas es independiente de la presión y solo depende del umbral de corte.

Color: Con respecto a este indicador existe una remoción significativa, pero con menor fuerza que la remoción de turbidez. Se corrobora que a mayor umbral de corte para un mismo valor de presión transmembrana el por ciento de decoloración es menor.

Conteo total: En todos los umbrales de corte y presiones transmembranas evaluados este indicador mostró una remoción significativa alcanzando los mejores valores las membranas de 300 kDa y la M-14.

Conteo de hongos y levaduras: En todos los umbrales de corte y presiones transmembranas evaluados en este indicador se obtuvo una remoción significativa al igual que en el análisis de conteo total.

Al realizar una valoración integral de los resultados aportados por los análisis físico-químicos y microbiológicos se evidencia un mejor comportamiento en la membrana M-14 a P= 5 atm.

Teniendo en cuenta los resultados de la membrana M-14 se decidió evaluar algunas técnicas especiales con el fin de continuar constatando

variables relacionadas con la durabilidad de la cerveza, dado que este umbral de corte evidenció

el mejor comportamiento, los resultados se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 8
Resultados experimentales promedios de los análisis especiales a la membrana M-14 P = 5 atm. y su significación estadística

Indicadores de calidad	Muestras		% Remoción
	Alimentado	Permeado	
Polifenoles Totales(mg/L)	193	172	10,8
Antocianógenos (mg/L)	107	65	39,3
Nitrógeno coagulable (mg/L)	50	22	56,0
Unidades de Amargor (mg/L)	14,6	12,3	15,7
Predicción de la estabilidad físico química(días calientes)	2	7	250
Estabilidad coloidal Volumen sulfato de amonio(mL)	0,3	1,0	233

Polifenoles: Los resultados tabulados en la tabla 8 corresponden como se ha referido anteriormente a una cerveza con formulación 85/15 de 10 °P, al observar el contenido de polifenoles los valores alcanzados en la alimentación son cercanos al límite superior del valor normado por la literatura especializada para cervezas de 11°P; esta variable con el tratamiento alcanza remociones promedio de 10,7 % lo cual acerca el valor a un rango permisible ya que de ser mayor afectaría los atributos sensoriales.

Antocianógenos: Dentro de los polifenoles es esencial su remoción pues es el encargado junto al oxígeno y las proteínas de formar compuestos complejos y polimerizables; con el tratamiento se obtiene una remoción media de 39 % aspecto este altamente significativo, además de lograr resultados altamente superiores, estos niveles solo se alcanzan en otras cervecerías del mundo utilizando polivinilperpirolidona, producto altamente costoso por lo que el efecto del tratamiento tiene además ventajas económicas.

Nitrógeno coagulable: Al comparar este parámetro, el más abordado por la literatura especializada como causante de la pérdida de la calidad en el aspecto de la cerveza, se observa que la concentración en el flujo de

alimentación está por encima de los valores normados, sin embargo, en el permeado se alcanzan valores de concentración dentro de la norma con su consiguiente disminución en el efecto de formación de compuestos complejos; la remoción fue de un valor medio de 56 %.

Unidades de amargor: Este parámetro define la calidad sensorial de un producto cervecero y el flujo de alimentación está dentro de los parámetros normados, la remoción en el permeado alcanza una media de 15,9% dentro de la norma.

Estabilidad físico-química: Como se observa en la tabla al analizar el alimentado al transcurrir el primer día de tratamiento (primer día caliente) ya empieza a aparecer una leve opalescencia lo que ocurre en la muestra filtrada (permeado) al llegar al quinto día de tratamiento, se evidenció por ello una estabilidad físico química significativa en la muestra tratada con respecto al alimentado.

La muestra del alimentado se puso turbia al segundo día caliente y la tratada al séptimo día caliente.

Estabilidad coloidal: Se observa que el flujo de alimentación solo requirió 0.3 mL de solu-

ción para afectar su transparencia y brillo y el permeado necesitó un volumen de 1 mL, lo que indica un incremento de más de tres veces, este resultado corrobora lo expresado en el aspecto anterior referente a estabilidad.

Comportamiento del análisis sensorial

Los flujos analizados fueron caracterizados en cuanto a los indicadores aspecto, olor y sabor. Todos los flujos de alimentación arrojaron los mismos resultados dados que es la misma muestra para todas las corridas. Con respecto a los perneados obtenidos no se apreció diferencias significativas entre los umbrales de corte evaluados. Sí se pudo constatar que en el atributo aspecto al comparar con el alimentado existe una mejoría en el brillo, en la transparencia y en la reducción de partículas difícilmente apreciables. (PDA).

Con respecto al atributo olor, en las muestras tanto la alimentación como el permeado mantienen las características de cervezas, y se apreció que en el permeado, el olor fue más delicado y menos intenso.

Con respecto al atributo sabor se detectó una reducción en el amargor de la cerveza, el concepto de delicado fue el que prevaleció por todo lo expuesto en esta valoración se evidencia que la tecnología potencia la calidad de la cerveza.

Conclusiones

1. Se montó un micromódulo de filtración con membrana en la Empresa Cervecera Tínima para evaluar la tecnología propuesta.
2. El uso de la tecnología de separación con membrana en la cerveza 85/15 de exportación en la etapa de rectificación incrementa significativamente la durabilidad de la misma.
3. La membrana de mejores resultados fue la M-14, a una presión transmembrana de 5 atm.
4. La durabilidad de la cerveza luego de pasar por el proceso de separación con membrana se incrementa en tres veces con respecto a la cerveza sin procesar.

Bibliografía

- LEWIS M, J.: Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas procesados. Editorial de Acribia, España, 1993.
- BEMBARIES, I., & NEELY, K. Chemical Engineering. 19, 29-40. 1996.
- CASTELLANOS, J., ZAMORA, A., FAJARDO, R.: Experiencias y perspectivas II Conferencia Internacional de Química. Cuba, 2003.
- ZAMORA, A.: Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas. Cuba, 2007.
- ROSABAL VEGA, J.M, GARCELL PUYANS, L.: Hidrodinámica y Separaciones mecánicas. Editorial Félix Varela, 2006.