

Tratamiento de aguas residuales de una planta de levadura, a partir de filtración por membranas

Yaima Izquierdo-González*, Georgina Michelena-Álvarez y Yohana de la Hoz-Izquierdo
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel de Padrón. La Habana, Cuba

* yaima.izquierdo@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La tecnología de membrana como alternativa para el manejo de la vinaza de destilerías permite reducir el volumen de cargas contaminantes, para ser reutilizadas en el fertirriego y en reutilización del agua en la industria. Se realizó una evaluación de sistema de filtración mediante membranas y, con el auxilio de la simulación, proponer combinaciones de membranas que resulten más promisorias desde el punto de vista técnico y económico. Los mejores resultados se obtuvieron con la membrana de 1kDa, que permitió remover el 58 % de los ST, el 70 % de la MO, el 92 % de la turbidez y el 82 % del color. Las experiencias durante el tratamiento de vinazas, con etapas combinadas de (NF) y (RO) reportaron los mejores resultados para presiones de 3.5 MPa, por un mayor flujo de permeado y retención del 80 % de los ST y logrando retener los SD entre 60-70 %.

Palabras clave: tipos de membranas, vinazas de destilerías, tratamiento de residuales.

ABSTRACT

Membrane technology as an alternative for the management of distilleries vinasse, allows to reduce the volume of polluting loads, to be reused in fertigation and/or reuse of water in the industry. An evaluation of the membrane filtration system was carried out and, with the help of simulation, combinations of membranes that are more promising from a technical and economic point of view were proposed. The best results were obtained with the 1kDa membrane, which allowed to remove 58 % of the ST, 70 % of the OM, 92 % of the turbidity and 82 % of the color. The experiences during the treatment of vinasses with combined stages of (NF) and (RO) reported the best results for pressures of 3.5 MPa, given by a higher flow of permeate and retention of 80 % of the ST and managing to retain the SD between 60-70 %.

Key words: types of membranes, stillages from distilleries, residual treatment.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria azucarera y sus derivados, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación, debido a la generación de importantes volúmenes de residuales líquidos de alto poder contaminante. Esto ha conllevado a que surjan restricciones, cada vez más severas, con relación al vertimiento de los efluentes industriales, ya que deben ser tratados adecuadamente a fin de reducir la contaminación ambiental (1).

En Cuba, la producción de derivados, a partir de la caña de azúcar, tiene un significado importante para el desarrollo del país; entre esos derivados se destaca la levadura *Torula* (proteína que se desarrolla a partir de mieles y aguas residuales de la producción de alcoholes), tanto por su utilización en la alimentación animal como por ser un renglón exportable, por ello se continúa con el desarrollo de este producto (2).

La producción de levadura *Torula* genera aguas residuales (RLT) que, por su contenido de materia orgánica, constituye una fuente de contaminación cuando se vierte al medio (3). Para evitar esas contaminaciones es necesario obtener información, medios y mecanismos que permitan utilizarlos y lograr beneficios económicos y sociales (4, 5).

De ahí que constituya una necesidad de buscar nuevas herramientas que ayuden a mejorar la calidad de los residuos industriales líquidos, que a diario son vertidos. Los procesos de separación y purificación de productos, mediante tecnologías de membranas, han tenido un gran éxito en el campo de la biotecnología, en los que están involucrados relativamente bajos volúmenes de productos de alto valor agregado.

En un inicio, estas técnicas resultaban en extremo costosas, dado el alto valor de las membranas, el limitado tiempo de vida de estas y la operación con altas presiones. Sin embargo, el ulterior desarrollo de estas tecnologías y la aparición de las membranas de cerámica, que pueden durar varios años, ha permitido extender estos procesos al tratamiento de efluentes industriales, con volúmenes significativamente superiores tratados. Internacionalmente, hoy se reportan estudios y aplicaciones de las tecnologías de membranas para el tratamiento de una gran diversidad de efluentes industriales, entre los que se destacan el tratamiento de residuales urbanos (6) y de la industria alimenticia (7), entre otros.

Sin embargo, estos estudios resumen las experiencias alcanzadas con estas tecnologías en el tratamiento de residuales provenientes de la industria azucarera, en particular en el tratamiento de vinazas de destilerías. Las tecnologías de membranas han sido evaluadas con resultados alentadores en el manejo de vinazas y otros efluentes resultantes de la producción de etanol, a partir de diversas materias primas. Una excelente revisión sobre el estado del arte en la temática ha sido publicada por Shivajirao (8).

El presente trabajo considera las experiencias internacionales registradas en el tratamiento de aguas residuales de una planta de levadura, a partir de filtración por membranas y con el auxilio de la simulación y propone combinaciones de membranas que resulten más promisorias para el reúso del agua de permeado, a partir de sistemas de filtración por membranas.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de los resultados obtenidos por diversos investigadores se formula un modelo en Microsoft Excel dirigido a determinar la mejor combinación de membranas para la clarificación de vinazas, dirigido a minimizar el valor de inversión y aumentar el flujo de permeado, ya que se desea una inversión mínima con un flujo de permeado máximo. En la tabla 1 se brindan las características más importantes de estos efluentes, donde es posible apreciar la superioridad agresiva de las mieles de caña.

Tabla 1. Características de los efluentes de la agroindustrias azucareras (Dpto. CENGMA, ICIDCA)

Parámetros	Unidad	Residuales de <i>Torula</i>	NC 27: 2012
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	3870	160
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	mg/l	1935	60
pH	-	3.39	6-9
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	2.23	2.0
Temperatura	°C	25.6	-
Sólidos totales (ST)	mg/l	6635	-
Sólidos totales fijos (STF)	mg/l	1620	-
Sólidos totales volátiles (STV)	mg/l	5015	-
Fósforo (Pt)	mg/l	31	5

Aunque el tratamiento de vinazas de destilerías ha sido el objetivo más abordado por investigadores y suministradores de tecnologías de membranas, en el contexto de los residuales de la agroindustria azucarera, otros residuos líquidos han sido y, continúan siendo, objeto del interés de este sector, ya que las regulaciones nacionales e internacionales para el vertimiento de aguas en ríos y mares son cada día más exigentes, mientras que procesos antes considerados como adecuados, dado los niveles logrados de reducción de la Demanda química de oxígeno (DQO) y de la Demanda biológica de oxígeno (DBO), no cumplen los estándares establecidos para el vertimiento (9, 10, 11).

Tecnologías de membrana que resultan de interés en el manejo de efluentes, para las industrias

- Vinazas de destilerías que operan con mieles y jugos de caña de azúcar
- Pretratamiento de vinazas para la elevación de su conversión a metano
- Postratamiento de residuales líquidos provenientes de la producción de Biogás
- Pretratamiento de vinazas para la elevación de su conversión en levadura forrajera
- Tratamiento de residuales líquidos provenientes de la producción de levadura forrajera

La experiencia internacional evidencia que el empleo exitoso de las tecnologías de membranas exige brindar la mejor solución a aquellos factores que inciden en la economía del proceso. En primera instancia, se debe destacar la importancia de la reducción de las incrustaciones en la membrana, ya que ello incrementa los costos de operación y reduce la vida útil de estas, por lo que muchos autores coinciden en la necesidad de algún tipo de pretratamiento previo a la filtración con membranas; estos pueden considerar etapas de clarificación-sedimentación con la adición de coagulantes, centrifugación y filtraciones convencionales o sin ellas (12).

La selección del tipo de membrana y combinaciones de estas constituye un factor determinante en la eficiencia del proceso, pues en función de las características de los residuos se adopta una valoración totalmente experimental. Otro factor de vital importancia consiste en la determinación de las condiciones de operación, por cuanto es deseable lograr el mayor flujo de permeado posible, a la par de una mayor retención de sólidos totales (ST), Demanda química de oxígeno (DQO) y color (13). El incremento de la presión transmembrana favorece el aumento del flujo de permeado y la retención de compuestos indeseables pero, a su vez, incrementa las demandas de energía por bombeo y eleva los costos de inversión y operación (14).

Tabla 2. Niveles de remoción de ST. SDT. SST. DQO. cloruros y potasio. según diversos autores (15. 16. 17. 18)

Referencia	Membrana	Presión (MPa)	ST(%)	SDT(%)	SST(%)	DQO(%)	K(%)
Gutiérrez <i>et al.</i> , 2009	1 kDa	0.7	58	-	-	70	-
Gutiérrez <i>et al.</i> , 2009	15 kDa	0.7	52	-	-	60	-
Nataraj <i>et al.</i> , 2006		7	-	99	-	98.9	99.80
De Moraes, 20 11	100 kDa	0.34	40	36.8	100	-	13.80
De Moraes, 2011	0.2 um	0.34	40	32	100	-	17.80
De Moraes, 20 11	100 kDa + 300 Da	3.5	81.4	-	100	-	54.31
De Moraes, 2011	100 kDa + 500 Da	3.5	85	-	100	-	62.07
De Moraes, 20 11	100 kDa + 1000 Da	3.5	83.8	-	100	-	65.52
De Moraes, 2011	0.2 um + 300 Da	3.5	83.2	-	100	-	81.09
De Moraes, 20 11	0.2 um + 500 Da	3.5	83.8	-	100	-	73.70
De Moraes, 2011	0.2 um + 1000 Da	3.5	80.8	-	100	-	69.59
Murthy y Chaudhari, 2009		2.0	-	97.9	95.5	96.8	94.65

Los niveles de remoción de algunos elementos de la composición de las vinazas aparecen resumidos en la tabla 2. En esta se muestran los resultados reportados por diversos autores, en cuanto a remoción de sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), así como materia orgánica (DQO) y potasio. Los mejores resultados se reportan para los procesos en dos etapas, particularmente aquellos que cierran con ósmosis inversa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Simulación de un posible esquema para tratamiento de vinaza

De acuerdo con estas experiencias internacionales es posible modelar el comportamiento de estos sistemas, frente a algunos de los efluentes de la industria, para disponer de una orientación sobre el nivel de descontaminación esperado, al aplicar las tecnologías de membranas. Por supuesto, los resultados de la simulación constituyen un indicador orientativo y, en ningún caso, sus resultados pueden ser tomados como absolutos, pues aun cuando se trate de efluentes con propiedades físicas globales semejantes a las analizadas, las membranas de UF, NF y RO remueven los compuestos de acuerdo con el tamaño de las moléculas y la naturaleza química de los efluentes puede variar significativamente, en función de diversos factores, tales como: tipo de suelos, variedad de caña empleada y particularidades de los procesos productivos de etanol, azúcar y levadura.

En principio, puede ser considerado un proceso de tres etapas, compuesto por una etapa primaria de clarificación, decantador centrífugo o filtración convencional, dirigida a la separación de los sólidos suspendidos, para reducir los niveles de obstrucción de membranas y los ciclos de limpieza de estas. Posteriormente se requerirán, al menos, dos etapas de separación por membranas; una primera etapa dirigida a retener el mayor nivel de materia orgánica y compuestos de altos pesos moleculares, con una mínima reducción del flujo de permeado, la cual puede consistir en una etapa de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF). La segunda etapa de separación por membranas debe garantizar el mayor flujo de permeado, con el máximo nivel de retención, para garantizar un permeado reutilizable en el proceso o que pueda ser vertido sin restricción, por lo que es posible pensar en una etapa de nanofiltración (NF) u ósmosis inversa (RO), (figura 1). El flujo final de sólidos y materia orgánica retenida puede ser destinado a la elaboración de fertilizante orgánico o compost.

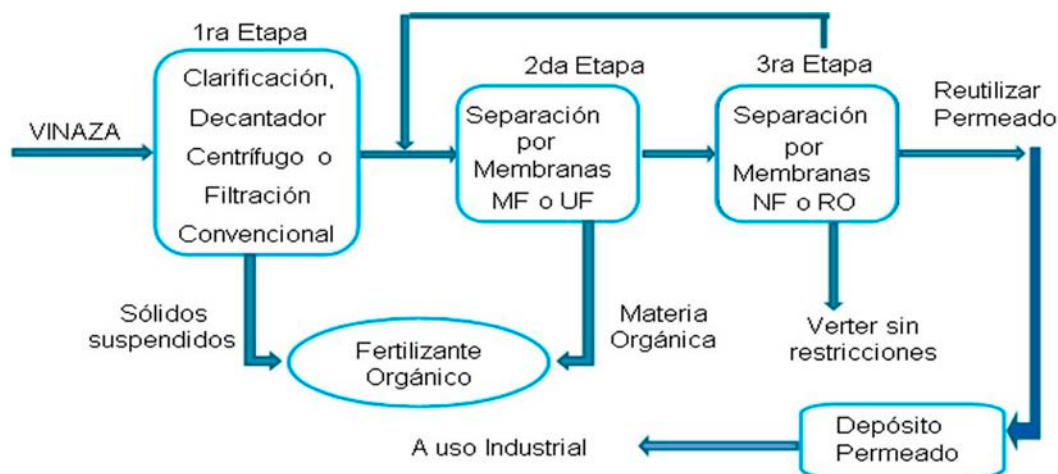


Figura 1. Diseño de reúso de agua de permeado, a partir de sistemas de membranas.

Los resultados de la simulación del proceso para diversas combinaciones de membranas en las etapas 2 y 3 se muestran en la tabla 3. Como era de esperar, en todos los casos las respuestas

indicaron la conveniencia de trabajar a las máximas presiones, en cada etapa, dentro de los rangos establecidos como permisibles. El porcentaje de recobrado promedio fue de 82.24 % del flujo de alimentación.

Tabla 3. Resultados de la simulación en diversos esquemas de dos etapas

Etapas 1	Etapas 2	Flujo de permeado % Aliment.	R-ST (%)	R-MO (%)	STp (%)	Mop (%)	Presión etapa 1 (bar)	Área 1 (m²)	Área 2 (m²)	Inversión (MM \$)	Costo \$/t
1 Kda	300 Da	81.73	92.56	84.77	0.95	0.53	35.00	1251	316	1.23	6.69
1 Kda	500 Da	81.70	92.56	87.18	0.80	0.53	35.00	1253	398	1.29	7.03
1 Kda	1000 Da	81.69	92.56	86.25	0.86	0.53	35.00	1251	164	1.13	6.10
1 Kda	RO	81.13	98.76	99.39	0.04	0.09	19.39	1269	369	1.28	6.97
15 Kda	300 Da	81.96	89.49	80.38	1.22	0.75	35.00	885	316	1.05	5.28
15 Kda	500 Da	81.96	89.49	83.32	1.04	0.75	35.00	885	164	1.08	5.61
15 Kda	1000 Da	81.96	89.49	82.18	1.11	0.75	35.00	885	179	0.92	4.68
15 Kda	RO	39.36	95.20	89.35	0.10	0.26	19.92	889	179	0.93	4.75

Los mejores resultados se obtuvieron con la membrana de 1 kDa, la cual permitió remover el 58 % de los sólidos totales, el 70 % de la materia orgánica (MO), el 92 % de la turbidez y el 82 % del color. Las experiencias durante el tratamiento de vinazas, con etapas combinadas de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO), reportó los mejores resultados para presiones de 3.5MPa, dados por un mayor flujo de permeado y retención del 80 % de los sólidos totales y logró retener los sólidos disueltos entre un 60-70 %, DQO, DBO, sulfatos y el potasio en 97.9 %, 96.8 %, 97.9 % y 99.7, respectivamente.

Consideraciones económicas

Según informaciones provenientes de diversos suministradores, una instalación de este tipo, para el tratamiento de 30-35 t/h de vinazas puede representar una inversión de entre 0.68 y 1.3MM de USD. Los elementos más importantes de los costos de operación constituyen los gastos energéticos por bombeo, la reposición de membranas (14) y los costos de limpieza de estas (8).

Impacto ambiental de las vinazas

La disposición de las vinazas al medio ambiente es peligrosa y tiene un alto potencial de contaminación. El alto contenido de DQO, nitrógeno total y fósforo total del efluente puede ocasionar eutrofización de cuerpos de agua naturales. Los componentes altamente coloreados de la vinaza reducen la penetración de la luz solar en ríos, lagos o lagunas que, a su vez, disminuye significativamente la actividad fotosintética y concentración de oxígeno disuelto, lo que afecta la vida acuática (5).

Debido a lo anterior, al descargar vinazas de alcohol al suelo, cuerpos de agua, canales y otros., sin un tratamiento previo, se contaminarán, en gran medida, las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, así como los mantos freáticos, esto provocará una gran alteración al medio ambiente, que repercutirá en los seres vivos.

Por otra parte, el fertirriego del cultivo de la caña de azúcar, a partir de vinazas, ha estado limitado en Cuba, debido al tipo de suelo, al bajo pH de las vinazas, a la saturación de potasio y a la norma de diluir estas para su uso (NC:ISO 855:2011), que ha limitado su empleo y ha quedado, parte de la vinaza, sin ser tratada y su posible disposición a cuerpos receptores como ríos y mares, sin cumplir con las normas cubanas de vertimiento (NC 27: 2012 y NC 521: 2007).

El tratamiento de la vinaza, principal agua residual emitida por la industria alcoholera, no debe ser una carga económica para la destilería sino una vía para obtener un producto con valor comer-

cial, cuya venta le permita ingresos económicos y la obtención de materias primas y alimentos que sustituyan importaciones.

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que la tecnología de membranas es capaz de reducir el volumen de cargas contaminantes, tales como: color, turbidez y otros, encontrados en las vinazas y permite que sean reutilizadas en el fertirriego y como agua para la industria.
- Los resultados de la simulación mostrados en este trabajo ratifican la necesidad de operar con las máximas presiones, dentro de los rangos permisibles para cada tipo de membrana y cerrar con etapas de NF y RO, para lograr altos niveles de remoción de sólidos y DQO.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fitzgibbon J. F., Nigam, P. "Biological treatment of distillery waste for pollution- remediation". Journal of Basic Microbiology, Vol. 35, No.5, (1995), pp. 293-301.
2. Harada H., Uemura N. and Jayadevan J. "Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor". Bioresearch. Technology, Vol. 55, No. 3, (1996), pp. 215-221.
3. Pérez, I. Informe de la actualización del estado del arte de la producción de la levadura forrajera y del empleo de las vinazas de destilerías., No. 503, (2012), pp. 76-79.
4. Duran, C., Noyola, A., Poggi, H. y Zedillo, L.E. Uso eficiente del agua y la energía en ingenios azucareros alcohólicos. UNAM, México (1991).
5. Mohana, S., Desai, C., Madamwar, D. Biodegradation and decolourization of anaerobically treated distillery spent wash by a novel bacterial consortium. Bioresource Technology 98, (2007), pp. 333 -339.
6. Nguyen, T., Fan, L., Roddick, F., y Harris, J., A comparative study of microfiltration and ultrafiltration of activated slugged-lagoon effluent., Desalination, Vol. 236, No. 01-Mar, (2007), pp. 208-215.
7. Muro, C., Escobar, J., Zavala, R., Esparza, M., Castellanos, J., Gómez, R., y García, M., Evaluación del proceso de microfiltración en un efluente residual de una industria alimenticia para su reúso., Revista internacional de contaminación ambiental, Vol. 25, No. 4, (2009), pp. 229-238.
8. Shivajirao, P., Treatment of distillery wastewater using membrane technologies., International Journal of Advanced Eng. Res and Studies, Vol. I, No. III, (2012), pp. 275-283.
9. NC: 27:2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Oficina Nacional de Normalización, 2012.
10. NC 855:2011. Utilización de las aguas residuales de la industria azucarera y de derivados en el fertirriego de la caña de azúcar.
11. NC 521 (2007). Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. 1. Edición ICS: 13.060.30.
12. Chang, I., Choo, K., Lee, C., Pek, U., Koh, U., Kim, S., y Koh, J., Application of ceramic membranes as pretreatment in anaerobic digestion of alcohol distillery waste., Journal of membrane Science, Vol. 90, (1994), pp. 131-139.
13. Magalhães, N.C. et al. Treatment of Vinasse Employing Ultrafiltration Combined with Aerobic Bioreactor with Membrane and Post-treatment with Nanofiltration Allowing it to Reuse. *Procedia Engineering*, 44, (2012), pp.1923–1924.

14. Arora, A., Set, A., Dien, B., L, Belyea, R., Wang, P., Singh, V., Tumbleson, M., y Rausch, K., Microfiltration of thin stillage: Process simulation and economic analysis., Biomass and Bioenergy, Vol. 35, No. 1, (2011), pp. 113-120.
15. Gutiérrez, C., Grosso, J., Bullón, J., Rennola, L., Salazar, F., y Cárdenas, A., Ultrafiltración de vinazas provenientes de destilerías de etanol, Revista Ciencia e Ingeniería, Vol. 30, No. 2, (2009), pp. 121-126.
16. Nataraj, S., Hosamani, K. y Aminabhavi, T., Distillery wastewater treatment by the membrane-based nanofiltration and reverse osmosis processes., Water Research, Vol. 40, No. 12, (2006), pp. 2349-2356.
17. De Moraes, M., Concentração da vinhaça por microfiltração seguida de nanofiltração, Tesis presentada en opción al grado de máster, Campinas, Brasil, (2011).
18. Murthy, Z., y Chaudhari, L., Treatment of distillery spend wash by combined UF and RO processes. Global Nest Journal, Vol. 11, No. 2, (2009), pp. 235-240.