

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

REMOCIÓN DE LAS FORMAS REDUCIDAS DE AZUFRE, HIERRO Y MANGANESO DE AGUA POTABLE POR PROCESOS DE SEPARACIÓN EN MEMBRANA DE NANOFILTRACIÓN

Dayana Milena Agudelo-Castañeda¹

Kamila Passos¹

* Antônio Domingues Benetti¹

REMOVAL OF REDUCED FORMS OF SULFUR, IRON AND
MANGANESE FROM WATER BY NANOFILTRATION MEMBRANE
SEPARATION

Recibido el 28 de septiembre de 2010; Aceptado el 17 de noviembre de 2011

Abstract

Many regions are affected by quality problems in their water sources' supplies. Sometimes, the distributed drinking water may have problems associated with the presence of compounds that cause color, taste and odor leading to growing consumer's complaints, mistrust, and increasing consumption of bottled water. It is well known that hydrogen sulfide (H₂S), iron (Fe⁺²) and manganese (Mn⁺²) cause taste, odor and color in drinking water. This research used a pilot plant nanomembrane filtration system to investigate the removal of those compounds from water. The pilot plant was supplied with raw water taken from a reservoir used as water source for a treatment plant of the city of Porto Alegre, Brazil. The measurements demonstrated that nanomembrane filtration was effective in the removal of iron, manganese and hydrogen sulfide from water, for the operational conditions tested in the investigation.

Keywords: Drinking water quality, sulfur, iron, manganese, nanofiltration.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS

*Autor corresponsal: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, Brasil.
Email: benetti@iph.ufrgs.br

Resumen

Diversas regiones presentan problemas de calidad de sus aguas para abastecimiento. En algunas ocasiones, el sistema de distribución de agua ha sufrido de episodios de proliferación de características indeseables de color, sabor y olor, además del incremento de los reclamos por parte de los consumidores. Por tales razones ha aumentado la desconfianza del consumidor y el consumo de agua embotellada. Es bien sabido que entre los principales compuestos que causan sabor, olor y color en el agua se encuentran el hierro (Fe^{+2}), el manganeso (Mn^{+2}) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S). En esta investigación fue usada una planta piloto de nanofiltración abastecida con agua bruta proveniente de una represa que suministra agua para una Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Porto Alegre en Brasil. Este proceso mostró ser efectivo en la remoción de los compuestos de estudio utilizando las condiciones operacionales escogidas.

Palabras claves: Calidad del agua potable, azufre, hierro, manganeso, nanofiltración.

Introducción

Diversas regiones presentan problemas de calidad de sus aguas para abastecimiento. En algunas ocasiones, el sistema de distribución de agua ha sufrido episodios en los cuales el agua presentó características indeseables de color, sabor y olor; resultando en reclamos por parte de los consumidores. Una consecuencia de la desconfianza del consumidor respecto a la calidad del agua potable es el aumento del consumo de agua embotellada. Es bien sabido que entre los principales compuestos que causan sabor, olor y color en el agua se encuentran las formas reducidas de hierro (Fe^{+2}), manganeso (Mn^{+2}) y azufre (S^{2-}).

En esta investigación fueron realizados ensayos usando una planta piloto con sistema de membranas de nanofiltración abastecida con agua bruta proveniente de una represa que suministra agua a una Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Porto Alegre en Brasil.

Una membrana puede ser definida como una película fina sólida que separa dos soluciones y que actúa como una barrera, aplicando un tipo de fuerza externa como presión, succión (presión negativa) o potencial eléctrico, que impulsa la filtración (Schneider y Tsutiya, 2001). Luego de ser filtrada, el agua tratada es llamada permeado y la parte retenida es el rechazo o concentrado. Los procesos con membranas existentes son microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa (EPA, 2003). Entre las ventajas de este tipo de tecnología están la calidad superior del agua potable, el poco requerimiento de espacio, su desempeño constante y operación automatizada (Bennett, 2006). Según Degremont (1991) y Schneider y Tsutiya (2001) las membranas se pueden encontrar en forma de: placas, espiral, tubular y fibras huecas.

El hierro y el manganeso ocasionan manchas en sanitarios, ropas y utensilios domésticos. Dependiendo de la concentración, el manganeso produce un color semejante a las gaseosas de cola. El sulfuro de hidrógeno, a su vez, produce un sabor característico de “huevo podrido”

(Prianti *et al.*, 2005; WHO, 2006). La Organización Mundial de la Salud establece valores máximos para mantener el agua aceptable para los consumidores de $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para hierro y manganeso, respectivamente (WHO, 2006). El objetivo de esta investigación fue analizar la eficiencia de remoción del hierro, manganeso y el sulfuro de hidrógeno de las aguas de abastecimiento usando un sistema de separación en membrana de nanofiltración.

Metodología

La planta piloto fue abastecida con agua cruda de la represa *Lomba do Sabão*, que suministra agua a una de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la ciudad de Porto Alegre en Brasil. El agua era bombeada hasta un tanque de 2500 L, pasando por un filtro de arena, con área de filtración de 0.19 m^2 y un filtro tipo Y. El filtro tipo Y tiene orificios dentro de la tubería con el fin de retener las partículas y sólidos, proveyendo una protección a bajo costo para medidores, válvulas, etc. Para este estudio el diámetro del orificio era de 0.8 mm. Luego era bombeada hasta el sistema piloto de membrana de nanofiltración. El prototipo del sistema de separación por membranas estaba constituido por una bomba centrífuga marca Dancor, membrana de nanofiltración, manómetros, medidor de caudal, panel eléctrico, tuberías, válvulas, conexiones y accesorios para su operación (INVICT, 2007). La membrana de nanofiltración era de tipo espiral, de poliamida marca Osmonics modelo DK4040F, con un área neta de 8.36 m^2 y presiones de operación típicas de 483 a 2758 kPa. El peso molecular de corte descrito en las especificaciones técnicas de la membrana era 150-300 daltons, aunque la literatura explica que las membranas de nanofiltración tienen un peso molecular de corte entre 250 y 1000 daltons (MWH, 2005).

Los experimentos fueron divididos en dos etapas. En la primera fueron realizados 6 ensayos en junio del 2009 y colectadas muestras puntuales luego de 1 y 4 horas de operación del sistema, trabajando con un caudal de $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ que corresponde a una tasa de $28 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. La segunda etapa consistió en 10 ensayos realizados en los meses de octubre y diciembre del 2009 usando caudales de 2 y $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, correspondiente a una tasa de flujo de membrana de 14 y $28 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, respectivamente. En los ensayos de esta etapa, al agua cruda, fueron adicionadas sales de sulfato de manganeso, sulfato de hierro y sulfuro de sodio con el fin de aumentar la concentración inicial de los compuestos de estudio. En esta etapa fueron colectadas muestras compuestas durante 4 horas de operación del sistema. La presión de alimentación al sistema de filtración fue de 517 kPa. Todas las muestras fueron colectadas en el tanque de 2500 L (influyente) y en la salida del sistema (efluente). Fueron medidas las concentraciones iniciales y finales de hierro (Fe^{+2}), manganeso (Mn^{+2}), sulfuro de hidrógeno (H_2S), color verdadero y aparente, turbidez, pH, conductividad y temperatura. La figura 1 muestra el esquema de la planta piloto. En esta planta están también instalados prototipos de aeración, sin embargo estos no se utilizaron en este trabajo.

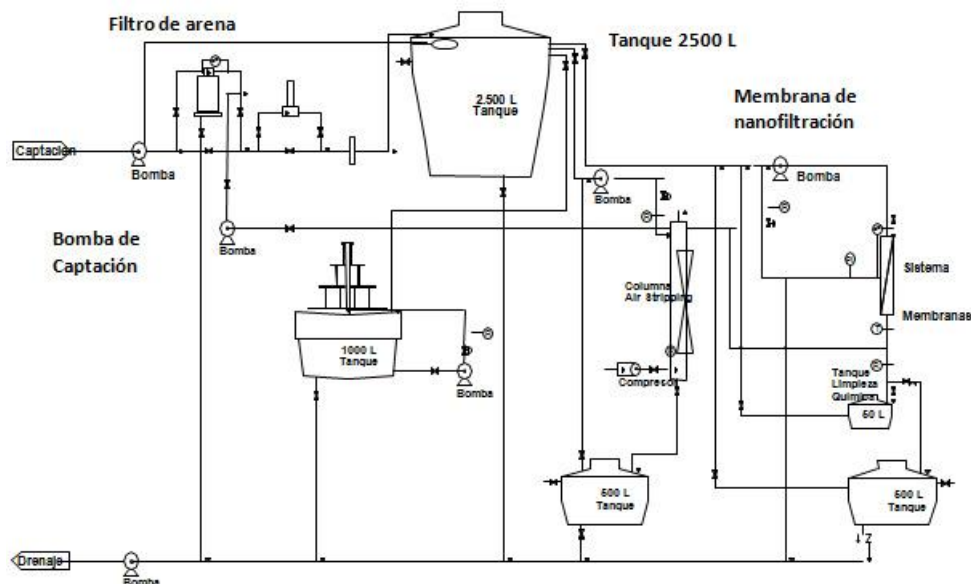


Figura 1. Esquema de la planta piloto localizada en la PTAP Lomba do Sabão

Mediciones de pH, conductividad y temperatura fueron realizados *in situ* usando la sonda multiparámetro Hach modelo H40d18. Color y turbidez fueron medidos usando el colorímetro Orbeco-Hellige Aqua Tester modelo 611-10 y turbidímetro Hach modelo 2100N. Hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno fueron medidos usando el método de la fenantrolina (Método 3500-Fe D), del persulfato (Método 3500-Mn D) e iodométrico (Método 4500-S²⁻ E), respectivamente (APHA *et al.*, 2005). La figura 2 ilustra el sistema de membranas de nanofiltración tipo espiral de la planta piloto utilizada.



Figura 2. Membrana de nanofiltración tipo espiral utilizada

En este trabajo no se hicieron mediciones del potencial óxido-reducción del influente, lo que pudo haber sido una limitación del trabajo, por varias razones. El agua era captada en la zona anóxica del embalse, a la misma profundidad del agua que es bombeada para el tratamiento de agua potable. En el recorrido a la planta piloto resultó posible que el agua sufriera alguna aireación provocada por la turbulencia del bombeo y la llegada libre al tanque de suministro de agua a los prototipos. No obstante, el tiempo era lo suficientemente corto como para que no hubiera oxidación del hierro y del manganeso antes de su paso a través de la membrana. Igualmente, en los ensayos de la 2ª etapa, Fe, Mn y S en sus formas reducidas (hierro ferroso, manganeso manganeso y sulfuro de hidrógeno), fueron introducidos artificialmente en el agua usando compuestos químicos. Además, los métodos de análisis eran específicos para medir las formas reducidas de Fe, Mn y S.

Resultados

Primera etapa

La tabla 1 muestra las características del agua de estudio utilizada en los ensayos de la primera etapa y la tabla 2 presenta los parámetros pH, conductividad, turbidez, color verdadero y aparente del influente y efluente.

Tabla 1. Características del agua de estudio de los ensayos de la primera etapa

Parámetro	pH	Conductividad (µS/cm)	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	Color aparente (uH)	Color verdadero (uH)	S ²⁻ (mg·L ⁻¹)	Fe ⁺² (mg·L ⁻¹)	Mn ⁺² (mg·L ⁻¹)
Promedio	7.0	212	16	1.8	33	25	0.01	0.80	0.10
Desviación estándar	0.1	5	2	0.7	9	6	0.01	0.13	0.06
Máximo	7.1	218	18	3.2	45	35	0.03	1.00	0.20
Mínimo	7.0	203	12	1.1	25	20	0.00	0.60	0.00

Tabla 2. Resultados primera etapa – pH, conductividad, color y turbidez

	pH		Conductividad (µS/cm)		Color Aparente (uH)		Color Verdadero (uH)		Turbidez (uT)	
	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl
Promedio	7.0	6.8	212	121	33	2	25	2	1.8	0.1
Desviación estándar	0.1	0.1	5	7	9	2	6	2	0.7	0.1
Máximo	7.1	6.9	218	133	45	7	35	7	3.2	0.5
Mínimo	7.0	6.6	203	112	25	0	20	0	1.1	0.1

Nota. Infl: Influyente; Efl: Efluente

Puede observarse que la reducción de conductividad del 43% demuestra la remoción de algunas sales por parte de la membrana (Taylor y Wiesner, 1999). Las reducciones de color aparente, verdadero y turbidez fueron de 96%, 94% y 94%, respectivamente. Nederlof *et al.* (2005) explica en su estudio que la nanofiltración es una técnica adecuada y económica para la remoción de estos parámetros. La figura 3 presenta los porcentajes la eficiencia de remoción de los ensayos realizados en la primera etapa. El número 1 en la figura significa la colecta hecha después de 1 hora de operación y el número dos luego de 4 horas. El índice fue calculado utilizando la Ecuación 1 (Lin, 2000).

$$\text{Eficiencia de remoción} = [1 - (\text{concentración en el permeado} / \text{concentración en el agua cruda})] \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

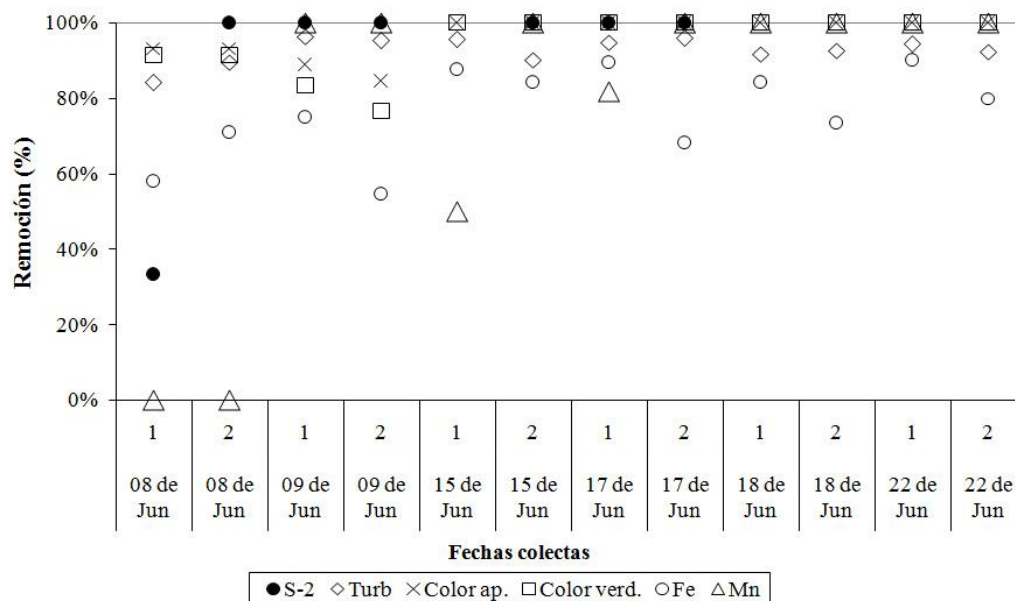


Figura 3. Porcentajes de remoción de los ensayos de la primera etapa

Puede observarse que en general los porcentajes de las eficiencias fueron altos. En el caso del azufre, las concentraciones del efluente fueron menores que el límite de detección del método ($0,01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Color aparente y turbidez fueron removidos prácticamente en su totalidad, con eficiencias mayores del 90%. Para manganeso (Mn^{+2}) y hierro (Fe^{+2}) las remociones fueron superiores al 80% y 60%, respectivamente. Sin embargo, algunas colectas mostraron remociones menores (días 8 y 15 de junio). En resumen, el proceso consiguió remover los contaminantes de estudio, principalmente el azufre, manganeso, color y turbidez. Sin embargo, en algunos días se presentaron valores extremos de porcentajes de eficiencias. Es el caso del

azufre y manganeso que presentaron porcentajes de 0% y de 40%, respectivamente, en el primer día. Por esta razón, se optó por usar la mediana como una herramienta de análisis del comportamiento de los datos, con el fin de disminuir la influencia de estos valores extremos, valores que se encuentran en la tabla 3. Las medianas de las muestras puntuales colectadas después de 1 hora de operación, arrojaron remociones de 100%, 86% y 90% para el azufre, el hierro y el manganeso. Luego de 4 horas de operación fueron de 100%, 72% y 100%, respectivamente. La remoción de la conductividad, la turbidez, color verdadero y aparente permaneció relativamente constante en todos los casos.

Tabla 3. Medianas de los porcentajes de remoción de los ensayos de la primera etapa (%)

	Conductividad	Turbidez	Color aparente	Color verdadero	H ₂ S	Fe ⁺²	Mn ⁺²
Después de 1 h	44	95	100	100	100	86	90
Después de 4 h	44	92	100	100	100	72	100

Resultados segunda etapa

La tabla 4 muestra las concentraciones promedios, los máximos y mínimos de las características del agua de estudio luego de adicionar las sales de hierro, manganeso y azufre. Debido a la variación de las características del agua de estudio, en esta etapa la concentración de hierro fue menor que en la primera, inclusive después de la adición de las sales. Las tablas 5 y 6 muestran los valores de conductividad, pH, turbidez, color verdadero y aparente del agua en el influente y efluente del proceso, resultados obtenidos utilizando caudales de 2 y 4 L·min⁻¹ que corresponden a tasas de 14 y 28 L·h⁻¹·m⁻², respectivamente. Puede analizarse que la conductividad disminuyó 34% y 42%, para los caudales de 2 y 4 L·min⁻¹, respectivamente. Las remociones de color verdadero y aparente fueron de 100% usando el caudal de 2 L·min⁻¹ y de 98% usando el caudal de 4 L·min⁻¹.

Tabla 4. Características del agua de estudio utilizada en la segunda etapa

Parámetro	pH	Cond. (μS/cm)	T (°C)	Turbidez (uT)	Color aparente (uH)	Color verdadero (uH)	S ² (mg·L ⁻¹)	Fe ⁺² (mg·L ⁻¹)	Mn ⁺² (mg·L ⁻¹)
Promedio	7.6	145	24	10.1	68	47	0.02	0.19	1.29
Desviación estándar	0.2	13	2	2.5	5	12	0.01	0.08	0.41
Máximo	8.0	194	27	14.4	70	55	0.03	0.45	2.1
Mínimo	7.0	135	21	4.1	55	12	0.00	0.10	0.60

Tabla 5. Resultados de los ensayos de la segunda etapa usando tasa de $14 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (Caudal $2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$)

Parámetro	pH		Conductividade (uS/cm)		Color aparente (uH)		Color verdadero (uH)		Turbidez (uT)	
	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl
Promedio	7.5	7.2	141	93	69	0	52	0	11.5	0.1
Desviación estándar	0.2	0.1	5	15	3	0	5	0	1.7	0.0
Máximo	7.8	7.4	151	133	70	0	55	0	14.4	0.2
Mínimo	7.0	7.0	135	83	60	0	40	0	9.2	0.1

Nota. Infl: Influyente; Efl: Efluente

Tabla 6. Resultados de los ensayos de la segunda etapa usando tasa de $28 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (Caudal $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$)

Parámetro	pH		Conductividade (uS/cm)		Cor aparente (uC)		Cor verdadero (uC)		Turbidez (uT)	
	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl
Promedio	7.7	7.2	149	87	67	1	42	0,7	9.3	0.2
Desviación estándar	0.2	0.3	17	16	6	2	15	2	1.9	0.3
Máximo	8.0	7.4	194	125	70	7	55	5	13.7	0.9
Mínimo	7.4	6.4	137	70	55	0	12	0	7.6	0.1

Nota: Infl: Influyente; Efl: Efluente

En la tabla 7 se encuentran las concentraciones promedio del influente y efluente de manganeso (Mn^{+2}), hierro (Fe^{+2}) y azufre (S^{2-}), donde las concentraciones del azufre en el efluente siempre fueron menores que el límite de detección ($0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). En el caso del manganeso, las remociones fueron de 96% y 88% para los caudales de 2 y $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente y de 90% y 89% del hierro, demostrando que las remociones para el caudal de $2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ fueron mayores. Trabajando con aguas salobres con pH de 7.9 y presión de 150 psi, Huang *et al.* (2005) midieron remociones de alrededor de 50% para manganeso usando la nanofiltración y por lo tanto menores que las reducciones observadas en esta investigación, que también se encuentran mencionadas en la literatura sobre tratamiento de aguas (MWH, 2005). En esta etapa se calcularon los promedios porque no existieron valores extremos de remoción como en la primera etapa, lo cual puede constatarse en las figuras 4 y 5. En este caso los datos son simétricos, por lo tanto el promedio muestra un comportamiento real de ellos. Las figuras 4 y 5 exhiben los porcentajes de eficiencia de remoción, usando caudales de 2 y $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, para los parámetros analizados. Puede observarse que la remoción, para color aparente y turbidez, fue mayor de 90% en todas las colectas, de 90% para manganeso y 70% para hierro, excepto para los días 14 de diciembre y 9 de febrero; y que las concentraciones de azufre en el efluente siempre fueron menores que el límite de detección.

Con el objetivo de comparar los valores de remoción obtenidos en la etapa anterior se presentan en la tabla 8 las medianas calculadas de los porcentajes para cada caudal utilizado. Las remociones utilizando los caudales de 2 y 4 L·min⁻¹ arrojaron valores similares a los calculados en la primera etapa.

Tabla 7. Concentraciones de hierro, manganeso y azufre de los ensayos de la segunda etapa (mg·L⁻¹)

Caudal	2 L·min ⁻¹						4 L·min ⁻¹					
	Fe ⁺²		Mn ⁺²		S ²⁻		Fe ⁺²		Mn ⁺²		S ²⁻	
	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl	Infl	Efl
Promedio	0.21	0.02	1.12	0.05	0.02	<LD	0.18	0.02	1.45	0.18	0.02	<LD
Desviación estándar	0.05	0.02	0.27	0.03	0.00	<LD	0.10	0.02	0.47	0.13	0.01	<LD
Máximo	0.32	0.05	1.6	0.1	0.02	<LD	0.45	0.05	2.1	0.50	0.03	<LD
Mínimo	0.14	0.00	0.8	0.0	0.01	<LD	0.1	0.00	0.6	0.04	0.00	<LD

Nota: Infl: Influyente; Efl: Efluente

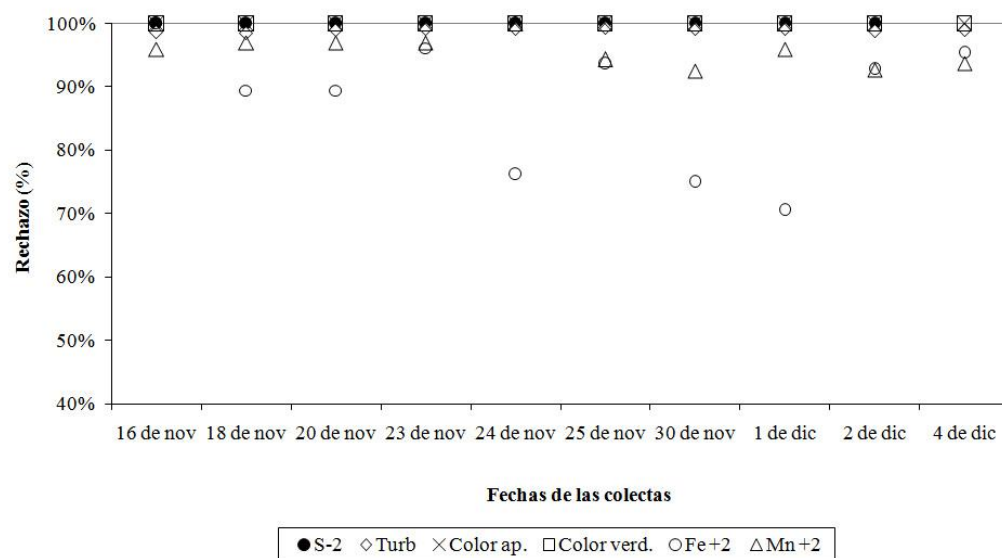


Figura 4. Porcentajes de remoción usando 2 L·min⁻¹ en la segunda etapa

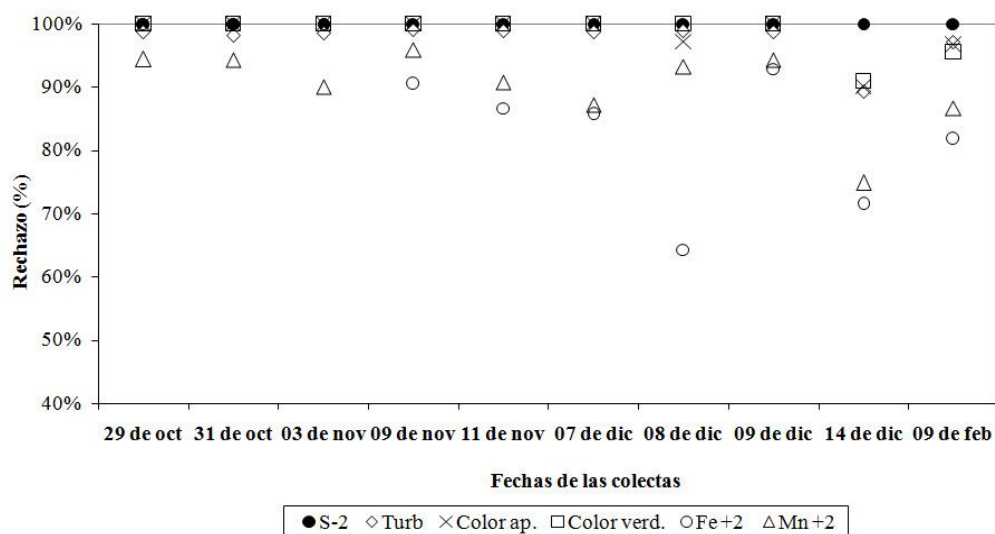


Figura 5. Porcentajes de remoción usando 4 L·min⁻¹ en la segunda etapa

Tabla 8. Medianas de los porcentajes de remoción obtenidos en la segunda etapa – (%)

Caudal (L·min ⁻¹)	Tasa (Lh ⁻¹ ·m ⁻²)	Conductividad	Turbidez	Color aparente	Color verdadero	Fe ⁺²	Mn ⁺²	S ²⁻
2	14	36	99	100	100	91	96	100
4	28	41	99	100	100	89	92	100

Conclusiones

En esta investigación se realizaron ensayos con el objetivo de verificar la remoción de las formas reducidas de azufre, hierro y manganeso por parte de un sistema piloto de nanofiltración. De acuerdo con los resultados obtenidos, en todos los ensayos realizados las concentraciones del azufre en el efluente fueron menores que el límite de detección del método. En el caso del hierro y el manganeso, las reducciones fueron de aproximadamente 90% en la mayoría de las pruebas. Además de estos compuestos, la nanofiltración fue eficiente en la remoción de color y turbiedad, con remociones superiores al 90%. Los resultados expuestos sugieren el potencial de esta tecnología en la remoción de compuestos que causan sabor, color y olor en el agua. Sin embargo, estudios complementarios son necesarios para estudiar el sistema operando en flujo continuo y en periodos mayores de tiempo usando diferentes condiciones operativas, con el fin de obtener informaciones tales como: incrustación de la membrana, la necesidad de pretratamiento, requerimiento de lavados químicos y costos asociados. Estos estudios no fueron realizados debido a las condiciones disponibles de infraestructura durante el período

que fueron realizados los ensayos. Aun con estas limitaciones, los resultados medidos son válidos en términos de examinar la capacidad de la membrana probada para remover Fe, Mn y azufre reducido, ya que se realizó un gran número de ensayos (6 y 10, respectivamente, en la 1ª y 2ª etapas).

Agradecimientos: *El primer autor agradece la beca de maestría dada por el Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Brasil. La investigación fue financiada por el CNPq (Edital MCT-CNPq 14/2008-Universal). Agradecemos al Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre por permitir la instalación y operación de la planta piloto dentro de su PTAP Lomba do Sabão.*

Referencias bibliográficas

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF) (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington: American Public Health Association.
- Bennett, A. (2006) Potable water: sustainable separation treatment. *Filtration and Separation*, **43**(4), 32-35.
- DEGREMONT (Ed). (1991) *Water Treatment Handbook*. 6th ed. Lavoisier, Paris. cap 15. p. 823-829.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2003) *Membrane Filtration Guidance Manual*. Office of Water, Washington. EPA 815-D-03-008 (Proposal Draft).
- INVICT. [2007] *Guia Prático: Instalação, Operação, Manutenção*. Campinas, SP.
- Lin, S.D. (2000) Membrane Process. En: Lin, S.D. y Lee, C.C. *Handbook of Environmental Engineering Calculations*, McGraw-Hill, New York. chap 16, 1.423-1.428.
- Montgomery Watson Harza (MWH) (2005) *Water Treatment Principles and Design*. 2nd ed. Wiley, Hoboken, NJ.
- Nederlof, M.M., Van Paassen, J.A.M., Jong R. (2004) Nanofiltration concentrate disposal: experiences in The Netherlands. *Desalination*, **178**(1-3), 303-312.
- Prianti Jr., N.G., Carmo, F.H., Nave, C.G.; Lacava, P.M. (2005) Remoção e controle de ferro e manganês em águas para consumo humano. En: *Assembléia Nacional da ASSEMAE*, 35, Anais, Jaboticabal: Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, 2005, Belo Horizonte.
- Schneider, R. P., Tsutiya M.T. (2001) *Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso*. 1^a ed. ABES, São Paulo.
- Taylor, J.S., Wiesner M. (1999) Membranes. En: Letterman, R.D. *Water Quality and Treatment: a Handbook of Community Water Supplies*. 5th ed. McGraw-Hill, New York. cap 11, 1-14.
- WHO. World Health Organization (2006) *Guidelines for Drinking-water Quality: Recommendations*. 3rd ed. v. 1. Geneva.
- Huang, N.J., Lin, J.C., Lin, M.C., Liu, J.H., Shy, Y.L., Lin, C.S. (2006) The selective removal of deep sea water's ions by nanofiltration. En: *Taiwan Water Industry Conference*, 1, Taiwan. 27-28 Julio.