

# REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO EN FUENTES SUBTERRÁNEAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE UN PROCESO DE ADSORCIÓN-OXIDACIÓN EN CONTINUO

Martín Piña Soberanis, María de Lourdes Rivera Huerta y Antonio Ramírez González

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, CP. 62550. Email: [mpina@tlaloc.imta.mx](mailto:mpina@tlaloc.imta.mx).

## RESUMEN

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizó el diseño funcional de tres plantas potabilizadoras para remover hierro y manganeso disueltos en agua, aplicando la tecnología desarrollada por el mismo Instituto, que consiste en la adsorción de estos contaminantes sobre zeolita natural tipo *clinoptilolita* recubierta con óxidos de manganeso.

La primera planta, “La Platanera”, inició su operación en marzo del año 2000. Trata un caudal de 40 L/s con una concentración de manganeso que va de 0.4 a 0.5 mg /L y consta de seis filtros a presión. Trabaja las 24 horas del día y desde el arranque a la fecha su eficiencia promedio en la remoción de manganeso es del 97%.

La segunda planta, “Campiña II”, inició su operación en junio del año 2001 y trata un caudal de 55 L/s cuya concentración de manganeso varía de 1.5 a 1.8 mg/L, logrando remociones promedio del 98% de manganeso

La tercera planta, “Humaya”, tratará un caudal de 225 L/s cuya concentración de manganeso en el agua es de 0.86 mg/L .

## INTRODUCCIÓN

El IMTA ha desarrollado una innovadora tecnología para remover el hierro (Fe) y manganeso (Mn) que se encuentran en forma disuelta en fuentes de abastecimiento subterráneo; tales elementos, al oxidarse por acción del cloro o por el oxígeno del aire, se precipitan impartiendo color al agua y ocasionando principalmente el rechazo de los consumidores, además de diversos problemas de tipo operativo en el sistema de distribución.

Otro de los problemas frecuentes asociados a la presencia de hierro y manganeso en el agua es el arrastre de los óxidos depositados en los interiores de las tuberías por el mismo flujo del agua.

La tecnología del IMTA consiste en la combinación de tres procesos que se llevan a cabo en un simple sistema de filtración que utiliza zeolita natural tipo *clinoptilolita* como medio de contacto: 1) intercambio iónico como fase inicial, donde el manganeso disuelto se fija en la superficie de la zeolita, 2) la posterior oxidación del manganeso sobre la superficie del medio, la cual permite la formación de una película de óxidos (MnOx(s)) sobre el grano del material

y 3) la remoción del manganeso disuelto en el agua, por adsorción sobre la película de óxidos formada sobre el grano del material (ver figura 1)

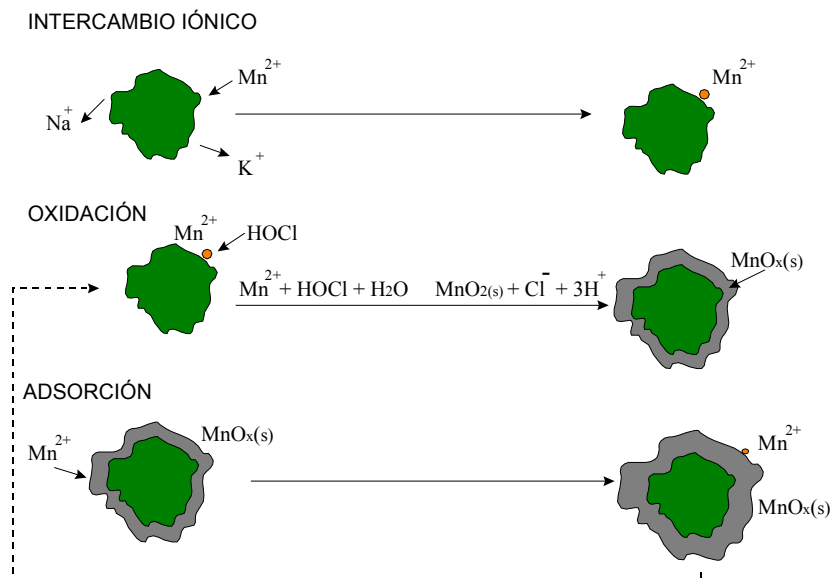


Figura 1. Etapas del proceso de formación de la capa de óxidos de manganeso

Esta película es altamente selectiva de los iones de manganeso  $\text{Mn}(\text{II})$ , seguida de los iones de hierro  $\text{Fe}(\text{II})$ . Oxidando el manganeso adsorbido en la superficie del grano se regenera la capacidad de adsorción del medio asegurando una continua remoción de hierro y manganeso durante la filtración.

Esta tecnología presenta diversos aspectos positivos, tales como: largas carreras de operación debido a que la adsorción genera pocas pérdidas de carga; el proceso se regenera en continuo con la aplicación de cloro, permitiendo que siempre se mantenga una alta capacidad de adsorción del hierro y manganeso disuelto; el material adsorbente se acondiciona en el lugar usando la misma agua de la fuente a tratar sin la necesidad de adicionar otras sustancias químicas, además de la alta disponibilidad de la zeolita en México.

El proceso ha sido probado mediante estudios piloto en diversos lugares del territorio nacional: Guaymas y Navojoa, Son.; Veracruz, Ver.; Zihuatanejo, Gro.; Texcoco, Méx.; Iztapalapa, D.F., Culiacán, Sin. y Camargo, Chih. En estos lugares la concentración de manganeso en el agua cruda ha llegado a ser hasta de 2.8 mg/L de manganeso y, en todos los casos, se han obtenido concentraciones del agua producida que cumplen con el límite máximo permisible de 0.15 mg/L de manganeso y 0.3 mg/L de hierro, establecido por la NOM-127-SSA1-1994 de agua para uso y consumo humano.

La aplicación de la tecnología a escala real se inició con la asesoría del IMTA a la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Culiacán, Sinaloa (JAPAC), mediante el diseño funcional de tres plantas potabilizadoras para remover principalmente manganeso disuelto en agua para uso y consumo humano. Actualmente dos se encuentran en operación, y otra en diseño.

## METODOLOGÍA

Se diseñaron tres plantas potabilizadoras que aplican la tecnología antes descrita con los siguientes criterios:

- Tiempo de contacto: 2 a 3 minutos.
- Tamaño de grano (medio filtrante): 0.5 a 1.5 mm.
- Tasa de filtración: 10 a 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.
- Aplicación de cloro: entrada de filtros.
- Dosis de cloro: demanda de contaminantes + 0.5 a 1.5 mg/l.
- Tiempo de retención en el sedimentador: 1 a 2 horas.
- Tasa de retrolavado: 90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

### Diseño de la Planta “La Platanera”

La planta potabilizadora para remover hierro y manganeso “La Platanera” (ver figura 2), se encuentra ubicada en la comunidad denominada por el mismo nombre y abastece a la población de Villa Adolfo López Mateos. Mediante bombeo el agua libre de manganeso es conducida por una tubería de 13 km de longitud.



Figura 2. Planta “La Platanera”

Datos de la planta:

- Gasto de diseño: 40 L/s (proveniente de un pozo).
- Tasa de filtración: 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.
- Área total de filtración: 15.44 m<sup>2</sup>.
- Número de filtros: seis filtros (cilíndricos) a presión, cuyas dimensiones son:
- Alto: 1.55 m.
- Diámetro interno: 1.81 m.
- Área individual de los filtros: 2.57 m<sup>2</sup>.
- Bajo dren de filtros: 38 toberas (Q<sub>máx</sub> por tobera = 11-18 L/mín, Q<sub>máx</sub> para el retrolavado = 283-340 L/mín).

- Lecho filtrante: zeolita blanca tipo clinoptilolita de las minas de Culiacán, Sin., con una profundidad de lecho de 0.60 m.
- Material de soporte: arena sílica.
- Sistema de retrolavado: únicamente lavado con agua (tasa de  $57.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ). En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo.

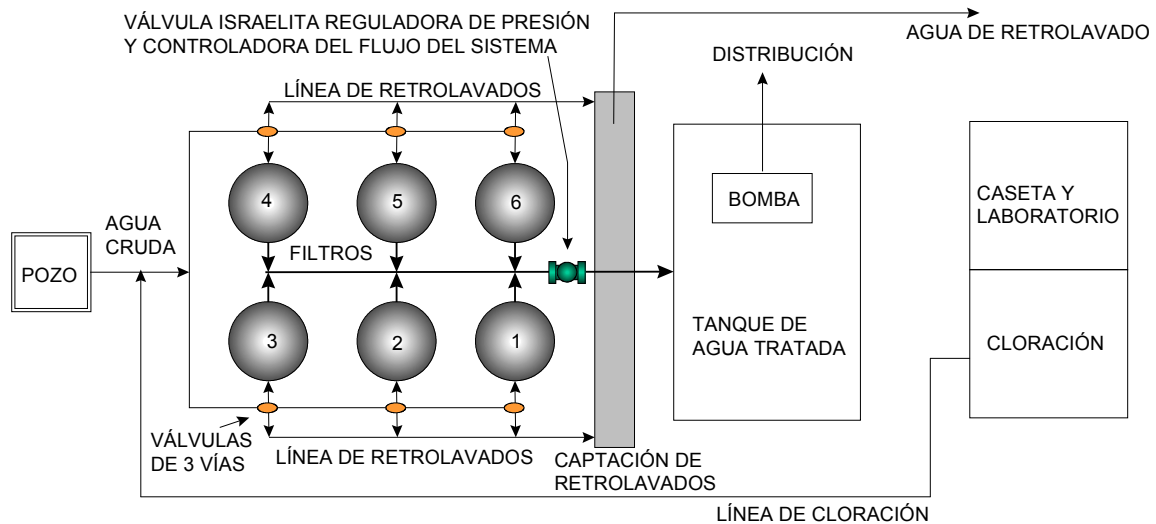


Figura 3. Diagrama de flujo de “La Platanera”

### Diseño de la Planta “Campaña II”

El diseño de esta planta consta de seis filtros a presión con retrolavado independiente, una cisterna para el almacenamiento de aguas tratadas que se utiliza como cárcamo de bombeo para la distribución y retrolavado de los filtros, un sistema de cloración, un sedimentador para la recuperación del agua de los retrolavados y un lecho de secado para la deshidratación de los lodos producidos (ver figuras 4, 5 y 6)

Datos de la planta:

- Gasto de diseño: 55 L/s proveniente de dos pozos.
- Concentración de Mn: 1.04 mg/L en la mezcla.
- Consumo de cloro: 10.9 kg HOCl / día (considerando un residual de 1.0 mg/L).
- Tasa de filtración:  $12.8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ .
- Área total de filtración:  $15.44 \text{ m}^2$  (se utilizarán seis filtros cilíndricos con las mismas dimensiones de la planta “La Platanera”).
- Bajo dren de filtros: 45 toberas (15 tubos de 2” con tres toberas cada uno).
- Alimentación de filtros: arreglo de 16 tubos de 2” de diámetro interno.
- Lecho filtrante: zeolita blanca tipo clinoptilolita de las minas de Culiacán, Sin., con una profundidad de lecho de 0.70 m.
- Material de soporte: arena sílica.
- Sistema de retrolavado: lavado con agua, con un gasto de 65.18 L/s (tasa de  $90 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ) para obtener una expansión del lecho del 50% por un tiempo máximo de diez minutos.
- Sedimentador: de geometría circular para una capacidad máxima de  $39.8 \text{ m}^3$ .
- Lechos de secado de arena: para deshidratar los óxidos de manganeso provenientes de la tolva del sedimentador.



Figura 4. Filtros de la planta “Campaña II”



Figura 5. Cárcamo de bombeo, sedimentador y caseta de cloración de “Campaña II”

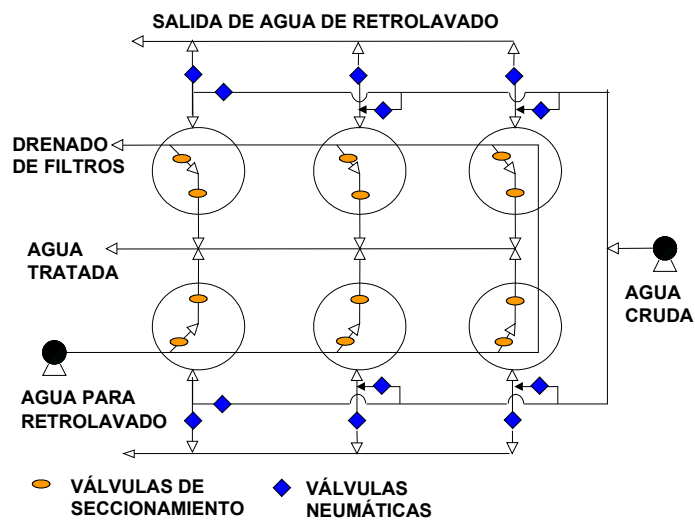


Figura 6. Diagrama de flujo de “Campaña II”

## Diseño de la Planta “Humaya”

La planta “Humaya” se diseñó con seis filtros a gravedad, una cisterna para el almacenamiento de aguas tratadas que se utilizará como cárcamo de bombeo para la distribución y retrolavado de los filtros, un sistema de cloración, un sistema de sopladores para introducir aire a los filtros durante el retrolavado, un sedimentador para la recuperación del agua de los retrolavados y un lecho de secado para la deshidratación de los lodos producidos (ver figura 7).

Datos de la planta:

- Gasto de diseño: 225 L/s proveniente de nueve pozos.
- Concentración de Mn: 0.86 mg/L en la mezcla.
- Consumo de cloro: 41.41 kg HOCl / día (para oxidar al Fe y Mn con un residual de 1.0 mg/L).
- Tasa de filtración: 11.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.
- Área total de filtración: 69.93 m<sup>2</sup>.
- Área individual de los filtros: 11.65 m<sup>2</sup>.
- Número de filtros: seis filtros a gravedad, cuyas dimensiones son:
  - Largo: 3.7 m.
  - Ancho: 3.15 m.
- Lecho filtrante: zeolita blanca tipo clinoptilolita de las minas de Culiacán, Sin., con una profundidad de lecho de 0.70 m.
- Material de soporte: se utilizará grava como material de soporte con un espesor de 28 cm, la cual se distribuirá en cuatro capas de siete cm cada una con los siguientes tamaños: 3/4”-1/2”, 1/2”-1/8”, 1/8”-1/16” y 1/16”-1/32”.
- Sedimentador: de geometría circular para una capacidad máxima de 240 m<sup>3</sup>.
- Lechos de secado de arena: para deshidratar los óxidos de manganeso (lodos) provenientes de la tolva del sedimentador.

Con la planta “Humaya” se pretende tratar nueve pozos, de los cuales seis presentan concentraciones de manganeso superiores al límite máximo permisible (0.15 mg/L) establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de agua para uso y consumo humano. La suma de los gastos es de 225 L/s y la concentración de manganeso de la mezcla es 5.7 veces mayor al límite máximo permitido por la Norma 127.

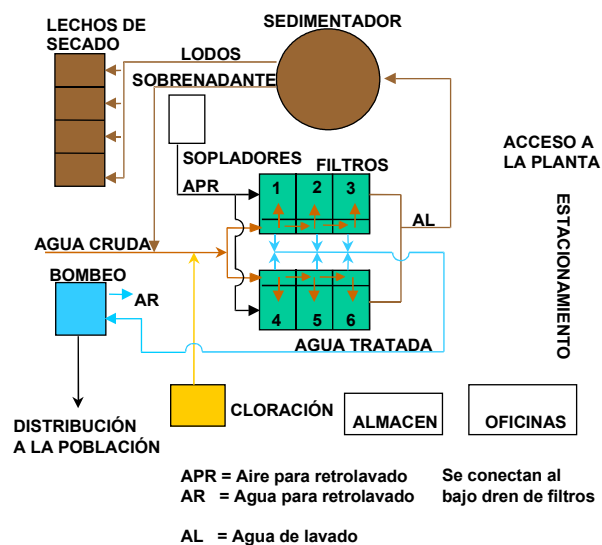


Figura 7. Diagrama de flujo de la planta “Humaya”

## RESULTADOS

Los días 17 y 18 de agosto del año 2000, se realizaron monitoreos del Mn removido y cloro consumido en los filtros 1 y 5 de la planta “La Platanera”. Las remociones promedio de Mn fueron del 97% en ambos filtros, con una concentración promedio de cloro libre residual en la entrada del filtro No. 1 de 2.37 mg/L y 1.7 mg/L en la salida; mientras que en el filtro No. 5 fue de 2.19 mg/L en la entrada y 1.62 mg/L en la salida, como se muestra en la tabla 1.

Hora	Filtro No. 1				Filtro No. 5			
	Mn (mg/L)		Cloro (mg/L)		Mn (mg/L)		Cloro (mg/L)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
12:00*	0.452	0.016	2.88	2.03	0.452	0.022	2.32	1.69
12:30*	--	0.016	--	--	--	0.013	--	--
13:30*	0.444	0.015	2.54	2.02	0.444	0.011	2.20	1.34
15:30*	0.443	0.012	2.46	1.84	0.443	0.011	2.02	1.51
17:00*	0.441	0.012	2.28	1.95	0.441	0.015	2.28	1.59
18:20*	0.436	0.008	2.24	1.81	0.436	0.013	2.20	2.00
12:30**	0.444	0.016	2.08	1.00	0.444	0.014	2.20	1.50
13:30**	0.438	0.017	2.15	1.26	0.438	0.011	2.20	1.74

\* 17/agosto/2000

\*\* 18/agosto/2000

Es importante aclarar que la alta dosificación de cloro es debida a que el agua se bombea por una tubería de aproximadamente 13 kilómetros de longitud y se debe siempre mantener un residual que establece la norma (0.5 a 1.5 mg/L) en las tomas domiciliarias.

En la figura 8 se muestran gráficamente las altas remociones de manganeso en los filtros 1 y 5, cuyas concentraciones en el agua tratada se encuentran diez veces por debajo del límite máximo permisible de la NOM-127-SSA1-1994 de agua para uso y consumo humano, es decir, 0.01 miligramos por litro

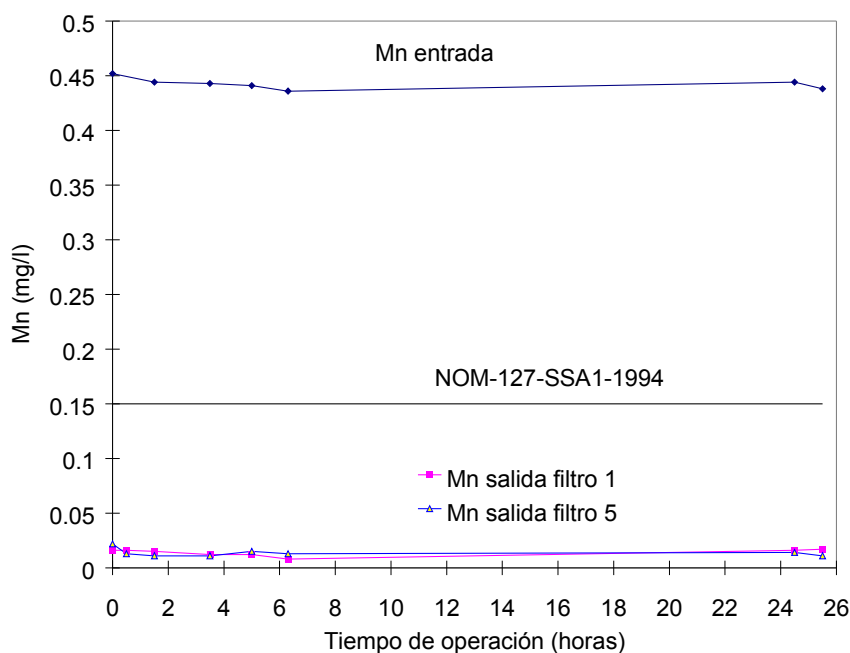


Figura 8. Remoción de Mn en los filtros 1 y 5

Con la planta “La Platanera” se ha resuelto un problema de más de diez años que aquejaba la población de Villa Adolfo López Mateos.

Desde el arranque de la planta “Campaña II” hasta el momento se lograron remociones superiores al 97% del manganeso, obteniéndose concentraciones en el efluente inferiores al límite máximo que establece la NOM-127-SSA1-1994.

Las remociones promedio de manganeso en la planta “Campaña II” son del 98% (concentración del agua cruda = 1.5 mg Mn/L y de agua tratada = 0.03 mgMn/L), como se observa en la gráfica de la figura 9.

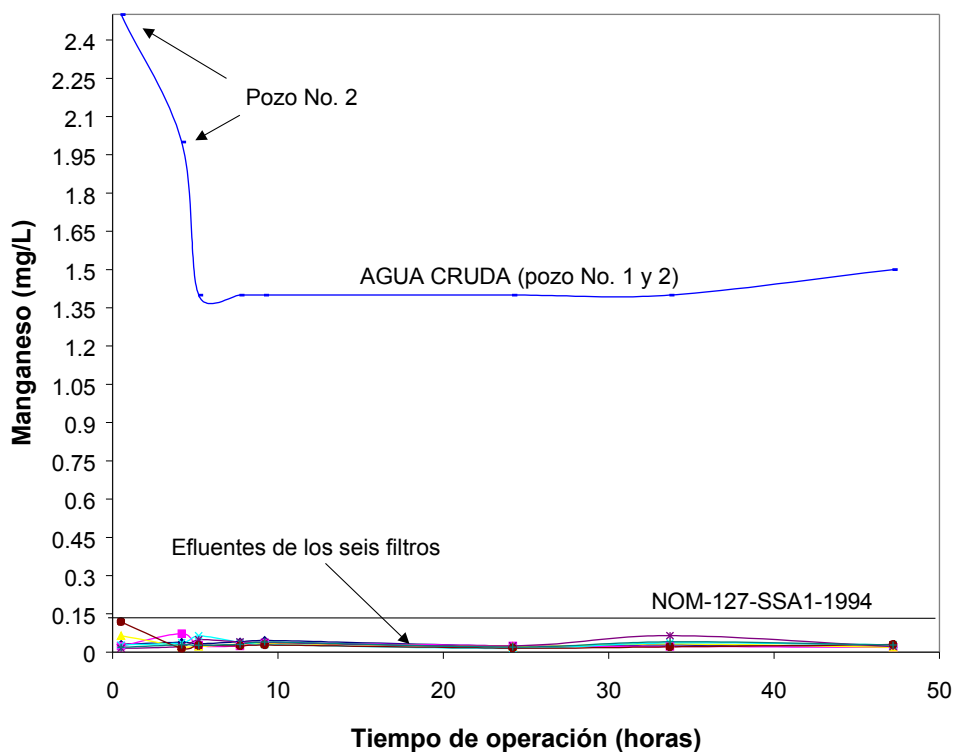


Figura 9. Remoción de manganeso en la planta “Campaña II”

## CONCLUSIONES

Con la aplicación a escala real de la tecnología desarrollada en el IMTA se abren nuevas expectativas en el tratamiento de agua para consumo humano, mediante la eliminación de contaminantes específicos utilizando tratamientos no convencionales, los cuales son de alta eficiencia y más económicos con relación a la infraestructura, operación y mantenimiento, creando así, una excelente alternativa para los organismos operadores de agua en México con problemas de contaminación de hierro y manganeso.

Debido a que éstas son las primeras experiencias en la aplicación del proceso a escala real, es necesario realizar diversos estudios en las plantas potabilizadoras para determinar la evolución del medio filtrante (zeolita) con respecto al tiempo de operación, ya que puede presentarse un crecimiento del grano en función de los óxidos acumulados en la superficie o una posible fracturación a consecuencia de los retrolavados; debe realizarse una



caracterización fisicoquímica de los lodos producidos, y determinar su sedimentabilidad, esto con la finalidad de optimizar los tiempos de residencia en los sedimentadores, los tiempos y tasas de retrolavado en los filtros y sobre todo la duración de los ciclos de filtración, en cada caso.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amirtharajah, A. and Cleasby, John L (January 1972). *Predicting Expansion of Filters During Backwash*, Journal AWWA, Water Technology/Quality.
2. American Water Works Association (1998). American Society of Civil Engineers, Water Treatment Plant Design; Third Edition; McGraw-Hill.
3. Proyecto ejecutivo de la planta de remoción de manganeso del ramal Peñón-Texcoco, Estado de México” (Diciembre 1997). Convenio: GRAVAMEX-IMTA, V2; *Informe Final*, Vol. II, Tomo 5, Memoria de Cálculo.
4. Flores O., L. Manuel y Piña S., Martín (1998). IMTA, CNA, Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, Subcoordinación de Potabilización; *Manual de evaluación de plantas potabilizadoras*; Cap. “Filtración”.
5. A Handbook of Community Water Supplies (1990). *Water Quality and Treatment*, American Water Works Association; Fourth Edition; McGraw-Hill, Inc.