



## REMOCIÓN DE MANGANESO EN AGUA POTABLE

Ing. Nicolás Rezzano<sup>(1)</sup> Ing. Julieta López Díaz<sup>(1)</sup> Ing. Fabiana Bianchi<sup>(1)</sup> Ing. Gabriela Dupuy<sup>(1)</sup>  
Dra. Ing. Elizabeth González<sup>(1)</sup> Ing. Daniela Larrea<sup>(1)</sup> Ing. Quím. Juan Ascúe<sup>(2)</sup> Q.F. Gabriel Carrasco<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos, Facultad de Ingeniería  
<sup>(2)</sup>Obras Sanitarias del Estado

### Dirección<sup>(1)</sup>:

Calle: Herrera y Reissig 565  
Tel: 598 (2) 7113386 131

Ciudad: Montevideo  
Fax: 598 (2) 7115277

Uruguay CP: 11300  
e-mail: nrezzano@fing.edu.uy

### RESUMEN

Debido a la acumulación de biofilm en las redes de distribución, el incremento de demanda ocurrido en noviembre de 2005, resultó en un desmejoramiento de la calidad organoléptica del agua potable en distintas zonas abastecidas por la planta de Aguas Corrientes. Se plantea como objetivo principal del proyecto estudiar las formas de evitar el ingreso de manganeso a las redes de distribución, de forma de prevenir futuros sucesos de similares características.

Concentraciones superiores a 0,1 mg/L. de manganeso afectan las características organolépticas del agua y concentraciones mayores a 0,5 mg/L. pueden afectar la salud. OSE plantea la necesidad de cumplir con la norma interna de calidad de agua potable (máximo 0,1 mg Mn / L.), en principio OSE se establece como calidad objetivo del agua potable a la salida de la usina de Aguas Corrientes el valor 0.01mg Mn/L.

Se examina la cuenca de aporte de Aguas Corrientes, mereciendo especial atención la del Arroyo Canelón Chico debido a los elevados niveles de manganeso en relación al resto de la cuenca.

Se realiza el análisis del coagulante suministrado por el proveedor externo y el fabricado por OSE, de forma de estudiar el aporte de manganeso diario realizado por cada uno de estos coagulantes a las redes de distribución. Se está generando la inquietud por parte OSE de acotar el contenido de manganeso en el coagulante, lo cual conduciría a la edición de una norma sobre el sulfato de alúmina a utilizar en potabilización y la comparación del parámetro manganeso en normas existentes de fabricación de coagulantes.

Se estudia el aporte relativo de manganeso a la usina de Agua Corrientes a través del agua bruta y del coagulante, observando cual de las dos fuentes tiene mayor peso, y cual de ellas es posible minimizar a corto plazo. Se determinan medidas de control sobre los coagulantes y las bauxitas como materia prima para los procesos de fabricación de coagulante.

Se evalúa el ensayo a escala de planta en la usina de potabilización de Florida implementado por la Administración a comienzos del 2006, encontrándose reducciones muy significativas de manganeso en el tratamiento.

Se realizaron ensayos de remoción de manganeso a escala de banco sobre agua sedimentada de la usina de Aguas Corrientes con varios oxidantes (hipoclorito de sodio, dióxido de cloro y ozono) y un filtro de arena. Si bien el número de ensayos no permitió sacar conclusiones definitivas, permitió realizar distintas apreciaciones sobre los pasos a seguir para evitar la entrada de manganeso a la red de agua así como la detección temprana en otras plantas potabilizadoras.



## **INTRODUCCIÓN**

El manganeso aportado por el agua potabilizada de la planta de Aguas Corrientes, se acumula en las paredes de las tuberías a lo largo de los años, generando films adheridos que se desprenden por el exceso de velocidad en casos de un aumento en la demanda del agua, especialmente en los comienzos de las temporadas estivales.

Este fenómeno se repite año a año, presentando su máxima expresión en noviembre de 2005, cuando a causa de un aumento en la demanda de agua potable a la planta potabilizadora de Aguas Corrientes. Este evento puntual causó serios perjuicios sobre la calidad estética del agua producida el día 22 de ese mes y los siguientes.

A causa del análisis del biofilm desprendido en las tuberías, cuyo desprendimiento causó el evento anteriormente mencionado, se plantea la búsqueda de soluciones para el problema, firmándose en el año 2006 un Convenio entre la Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE) y la Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, a partir del interés manifestado por OSE de estudiar la forma de interrumpir el aporte de manganeso al sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Montevideo.

Con el objetivo de avanzar en el conocimiento de las fuentes de aporte, se plantea la realización de un monitoreo en la cuenca de la planta potabilizadora de Aguas Corrientes en el parámetro manganeso, de forma de analizar las posibles fuentes puntuales o difusas de aporte de manganeso a la cuenca y plantear medidas a tomar para la futura gestión de la cuenca.

Cabe señalar que se está generando la inquietud por parte de OSE sobre la implantación de medidas normativas sobre el coagulante. Se plantea el estudio del mismo en busca de límites al contenido de manganeso como impureza en el coagulante suministrado por los proveedores externos así como el fabricado por OSE. Resulta necesario limitar el contenido de manganeso en las bauxitas utilizadas en la planta de elaboración de coagulante de Aguas Corrientes, planteando el establecimiento de un valor máximo admisible

Se realiza un seguimiento del funcionamiento de la planta Florida, en la que se realiza la cloración del agua sedimentada como técnica de remoción de manganeso previo a la entrada a la red. Se debe determinar las eficiencias de remoción de manganeso, así como el riesgo químico generado por la cloración del agua sedimentada. El análisis de esta planta determinará si la experiencia resulta exitosa o no.

Se plantea la necesidad de establecer en líneas generales, que técnica de remoción de ser necesario aplicar, estudiando los distintos procesos de remoción y evaluando una posible adaptación a la planta de Aguas Corrientes de alguna de las técnicas.

Resulta esencial evitar futuras afectaciones de la calidad organoléptica el agua potable, elaborando una guía de detección temprana para otras plantas de ciudades del país.

## **OBJETIVOS Y METAS**

Los objetivos del proyecto fueron los siguientes:



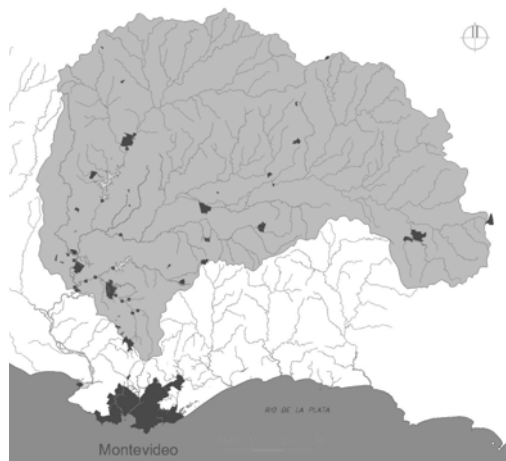
- *Analizar los aportes de manganeso en el agua potabilizada, tanto en el coagulante como en el agua bruta.*
- *Estudiar la cuenca de la planta de Aguas Corrientes, determinando posibles fuentes puntuales o difusas de aporte de manganeso al agua bruta*
- *Profundizar el conocimiento del aporte de manganeso por parte de los coagulantes suministrados por proveedores y el fabricado por OSE, analizando su contenido en las bauxitas utilizadas para su fabricación*
- *Establecer la fuente principal de aporte de manganeso al agua potabilizada en la planta de Aguas Corrientes*
- *Evaluar la experiencia piloto de cloración del agua sedimentada como técnica de remoción de manganeso en la planta de la ciudad de Florida, en eficiencias de remoción de manganeso, así como en la generación de riesgos químicos.*
- *Realizar propuestas de técnicas de remoción de manganeso en el proceso de potabilización, estudiando alternativas técnica y ambientalmente viables para su remoción, apoyadas en trabajo de laboratorio.*

## **METODOLOGÍA**

Al inicio del proyecto se plantea un estudio bibliográfico sobre el manganeso en el ambiente, química del manganeso, efectos de este sobre la salud y finalmente el manganeso en los sistemas de abastecimiento de agua.

A continuación se realiza el análisis del caso del manganeso en la planta de Aguas Corrientes.

Durante el desarrollo del proyecto se profundiza en el conocimiento de la cuenca de aporte a Aguas Corrientes, recopilando información sobre industrias presentes en la cuenca, usos del suelo, etc., a los efectos del establecimiento de un plan de monitoreo en el parámetro manganeso de forma de determinar fuentes de aporte.



**Figura 1: Cuenca de Aguas Corrientes**

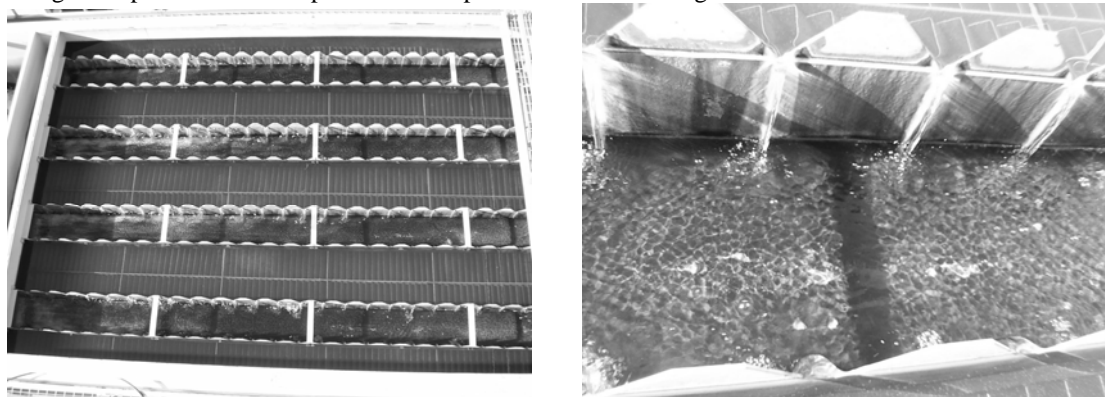
De especial interés resulta la determinación del contenido de manganeso en los coagulantes. En la planta se utilizan coagulantes suministrados por proveedores y coagulantes fabricados por OSE a partir de bauxitas importadas. Se realizan ensayos de determinación de manganeso en distintas muestras de coagulantes. Se plantea la búsqueda de



normativas que limiten el contenido de manganeso en el coagulante, de forma de establecer valores guía que podrán ser luego afectados en la elaboración de una norma propia.

Se realizan balances de manganeso en la planta, de forma de determinar cual de las dos fuentes de manganeso es más significativa.

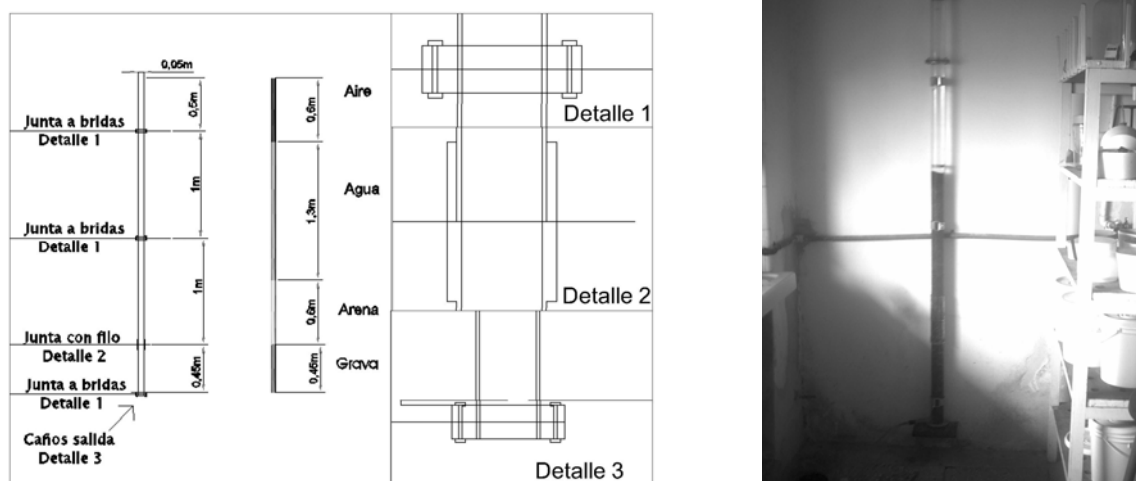
Se evalúa la planta potabilizadora de la ciudad de Florida, en la que se realiza la experiencia de remoción de manganeso por medio de la aplicación de hipoclorito de sodio al agua sedimentada.



**Figura 2: Oxidación en las canaletas de aguas sedimentada de la planta Florida**

La planta potabilizadora de Florida, cuya fuente de agua bruta es el Río Santa Lucía Chico, está ubicada dentro de la ciudad de Florida, el sistema de tratamiento funciona aproximadamente 18 horas por día y comprende una planta convencional y dos Unidades Potabilizadoras Autónomas (UPA) 2000, que trabajan en paralelo. La experiencia de oxidación se realiza en una de las UPA 2000.

Fue diseñada una planta piloto de filtración con el objetivo de la representación fiel de los mecanismos de remoción en un filtro en régimen.



**Figura 3: Filtro piloto**

Finalmente se realiza el análisis de las diferentes técnicas de remoción de manganeso en agua potable, utilizando el equipo jar test y la planta piloto de filtración.

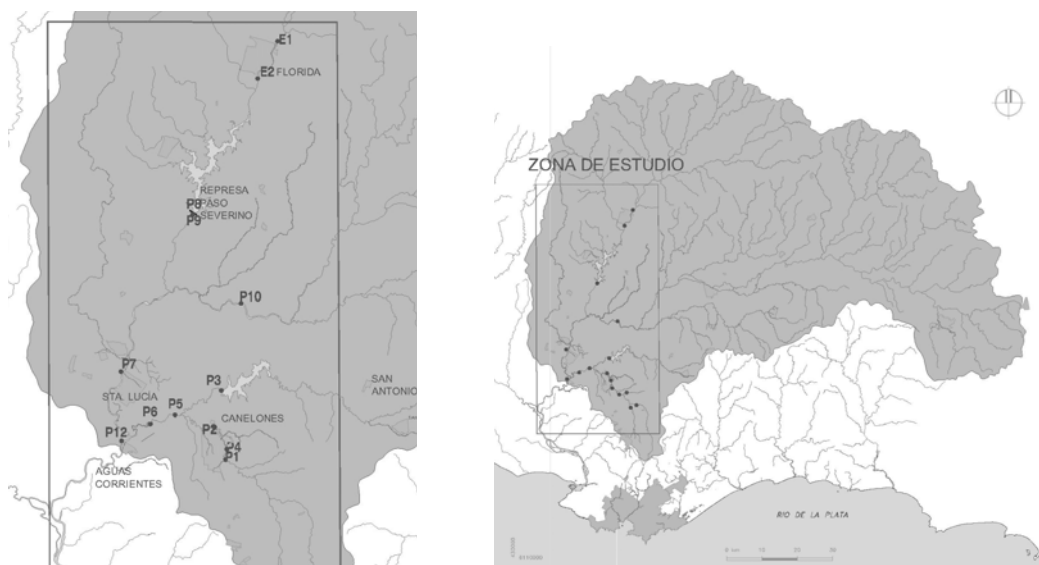


Se elabora una guía práctica de detección temprana de la problemática en otras plantas potabilizadoras, de forma de prevenir la ocurrencia de métodos como el que origina el presente convenio.

## RESULTADOS

### Agua bruta

Se presenta a continuación un plano de la cuenca de aporte de Aguas Corrientes, con las concentraciones resultantes en los diferentes puntos muestreados para los distintos monitoreos.



**Figura 4: Puntos muestreados en la cuenca**

Punto (nomenclatura OSE)	Mn (mg/L) 21/11/06	Mn(mg/l) 15/02/2007	Mn(mg/l) 11/06/2007
P1 - Paso Calleros, Ruta 5	0,106	0,085	0,098
P4 - Puente Tomás Berreta, Ruta11	0,084	0,153	0,228
P2 - Paso Espinosa, Ruta 5	0,232	0,179	0,436
P3 - Embalse Canelón Grande	0,018	0,015	0,017
P5 - Puente Margat, Ruta11	0,077	0,008	0,180
P6 - Puente Belinzón, Ruta 11	0,052	0,014	0,054
E1 - Florida, Agua bruta OSE	0,015	0,016	0,017
E2 - Florida, descarga planta efluentes	0,028	0,004	0,051
P8 - Embalse Paso Severino	0,022	0,020	0,059
P9 - Paso Severino túnel	-	-	0,071
P10 - Paso Pache	0,023	0,009	0,025
P7 - Puente Santa Lucía, Ruta11	0,016	0,026	0,020
P12 - Agua Bruta Aguas Corrientes	0,023	0,014	0,019

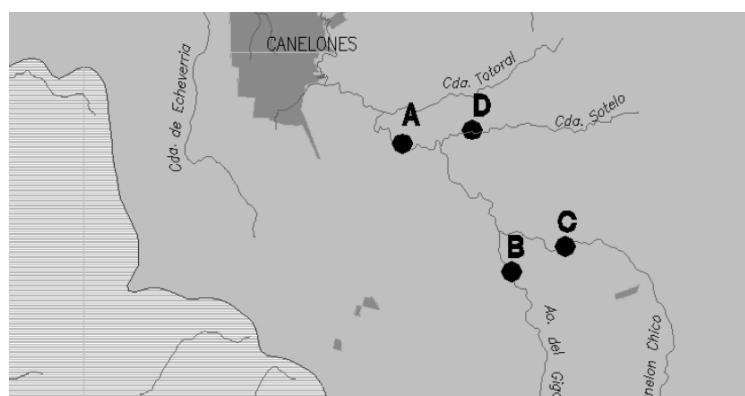
**Tabla 1: Concentración de manganeso en los puntos muestreados**



De acuerdo al análisis realizado no se encontró una fuente puntual de aporte de manganeso en la cuenca de Aguas Corrientes. Se puede observar que en los diversos puntos de la cuenca y para los distintos muestreos realizados, los resultados de concentración de manganeso son muy variables.

Sin embargo se identifican altas concentraciones en la subcuenca Canelón Chico. Se observa que en esta cuenca realizan la descarga distintas plantas de tratamiento industriales y domésticas. De forma que se recomienda, la realización de estudios detallados de aguas superficiales y subterráneas, suelos y formaciones geológicas, e industrias presentes de esta zona debido a su tamaño reducido y niveles elevados de manganeso en algunos puntos.

Una vez identificadas las altas concentraciones del Arroyo Canelón Chico, se realiza un muestreo en esta subcuenca, en los siguientes puntos:



**Figura 5: Puntos muestreados en el arroyo Canelón Chico**

Las concentraciones de manganeso de los puntos muestreados se presentan en la siguiente tabla:

<b>Punto (nomenclatura OSE)</b>	<b>Mn(mg/l) 11/06/2007</b>
PA – A° Canelón Chico	0,056
PB – A° del Gigante	0,091
PC – A° Canelón Chico	0,060
PD - Cañada Sotelo	0,067

**Tabla 2: Concentración de manganeso en los puntos muestreados en la cuenca del Arroyo Canelón Chico**

### Coagulante

A partir del análisis de coagulantes, se observa la necesidad de incluir especificaciones (apoyadas en normas existentes) y controles analíticos relativos al manganeso en la compra de sulfato de alúmina y bauxita.

Para verificar el aporte de manganeso por parte de los coagulantes, se tomaron muestras de ambos tipos de sulfato de aluminio. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.



Coagulante	Mn (mg/L) 21/11/06	Mn (mg/L) 04/07/07
Sulfato de Aluminio de fábrica Aguas Corrientes	181,6	150
Sulfato de Aluminio de proveedor externo	91,7	119

**Tabla 3: Concentración de manganeso en el sulfato de aluminio**

Se observa que la concentración de manganeso del producto suministrado por el proveedor externo resulta significativamente inferior a la del sulfato de aluminio fabricado en Aguas Corrientes. Esto puede deberse a la diferencia en los procesos de fabricación.

La dispersión de los valores de contenido de manganeso del coagulante, pueden ocurrir a causa de distintas bauxitas utilizadas o a diferencias en los procesos de fabricación. Sería recomendable que se realice un análisis más profundo del proceso de fabricación del coagulante en la planta de Aguas Corrientes de forma de mejorar y estabilizar la calidad del coagulante (no únicamente el contenido de manganeso).

Con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos en los análisis realizados a los coagulantes fabricados por OSE y el proveedor externo, se plantea comparar con los valores definidos por las normativas existentes. Dado que a nivel nacional no se cuenta con normas que regulen la calidad de los coagulantes a ser utilizados para potabilización de aguas, y con la inquietud de la elaboración de una norma, se realizó un análisis del marco normativo a nivel regional e internacional.

Cabe señalar que de éstas, la única norma regional que limita el contenido de manganeso en sulfato de aluminio es la norma argentina, que fija como valor máximo 0,15 g Mn / 100 g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En principio este valor es el considerado como criterio de evaluación. A partir del contenido de óxido de aluminio del coagulante y de su densidad, considerando las concentraciones de Mn determinadas en el coagulante, se puede establecer la relación de gramos de Mn cada 100 g de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

En los muestreos realizados el sulfato de aluminio de fabricación de Aguas Corrientes no cumple con la normativa considerada, el proveedor externo cumple con el límite máximo de la normativa.

Al ser la bauxita una de las materias primas utilizadas para la fabricación de coagulante, se considera necesario el análisis de la misma, de forma de estimar las impurezas que son aportadas por ésta. El análisis se realizó para el caso del coagulante fabricado en Aguas Corrientes. A partir de la concentración de Mn en distintas bauxitas y del rendimiento en la preparación, se determina que para cumplir con el criterio fijado por la norma argentina, la bauxita debería presentar un valor máximo de % MnO del 0.10%.

Sin embargo los límites anteriores (referidos a la norma argentina) serían un límite superior, por lo que sería necesario realizar un estudio costo-beneficio a partir de las características de las bauxitas de distintos proveedores, de forma de minimizar el contenido de manganeso proveniente en la bauxita sin que esto resulte en un incremento significativo de costos para la empresa importadora y en consecuencia para OSE. En este estudio se deberían considerar los costos e impactos (tangibles e intangibles) de episodios tales como el que origina el presente convenio.

#### **Coagulante vs agua bruta**

A continuación se presenta el aporte de manganeso por el agua bruta y el aporte por el coagulante para cada día de muestreo.





Fecha de muestreo	Mn <sub>A.B.</sub> (ppm)	Mn <sub>A.B.</sub> (%)	Mn <sub>SULF.</sub> (%)
24/11/2006	0.023	61	39
15/02/2007	0.014	71	29
11/06/2007	0.019	79	21

**Tabla 4: Aporte de manganeso por agua bruta y coagulante en los días de muestreo**

Si se extrapolara a partir de las dosis máximas y mínimas de coagulante aplicadas en Aguas Corrientes en el año comprendido desde mayo del año 2006 a abril del 2007 (datos proporcionados por OSE), y se tuviera en cuenta la variación en la concentración de manganeso en los coagulantes, el sulfato de alúmina aporta entre 3.5 y 21.6 kg/d de manganeso, mientras que el agua bruta aporta entre 8.2 y 13.5 kg/d de manganeso a las redes de distribución.

Para lograr una calidad objetivo de 0.01mg Mn / L., aunque se lograra anular el aporte de coagulante, para las concentraciones del agua bruta consideradas sería necesario remover manganeso en la planta de Aguas Corrientes.

Si bien el aporte del coagulante es inferior al aporte del agua bruta, este puede ser minimizado optimizando el método de fabricación del coagulante, seleccionando el tipo de bauxita utilizada como materia prima, así como limitando el contenido de manganeso en los coagulantes adquiridos por OSE. Sin embargo la reducción de los aportes de manganeso debidos a fuentes difusas es un problema de abordaje mucho más complejo y resultados más inciertos.

Finalmente se realiza el análisis teórico de las técnicas de remoción de manganeso y un estudio del diseño de unidades utilizadas para la remoción en la planta de potabilización.

Oxidante	Reacción de oxidación Mn
Hipoclorito de sodio	$Mn^{++} + ClO^- + H_2O = MnO_2 + Cl^- + 2H^+$
Dióxido de cloro	$5Mn^{++} + 2ClO_2 + 6H_2O = 5MnO_2 + 12H^+ + 2Cl^-$
Ozono	$Mn^{++} + O_3 + H_2O = MnO_2 + O_2 + 2H^+$

**Tabla 5: Reacciones de oxidación de Mn con distintos agentes**

El número de experiencias con oxidantes realizadas en el laboratorio no fue suficiente para generar resultados consistentes. Sin embargo, en el ensayo en planta realizado en la usina de potabilización de Florida se observaron porcentajes de remoción significativos.

#### Florida

A partir de los ensayos realizados en la planta Florida se observan altas eficiencias en remoción de Manganeso (del orden del 90 %). Se realizaron asimismo muestreos de Trihalometanos, resultando un orden inferior al Valor Máximo Permitido según la Norma de Calidad de Agua Potable de OSE de 2006, por lo que la experiencia no presenta riesgo sanitario a la población abastecida.





## CONCLUSIONES PRELIMINARES O DEFINITIVAS

Entre las conclusiones se destaca del análisis de la cuenca, el planteo de un futuro análisis dentro de una subcuenca delimitada, de forma de realizar un estudio detallado de las fuentes posibles de manganeso al agua bruta. El aporte de manganeso debido a agua bruta en el muestreo realizado el día 21/11/06 es de **13,5 kg/d**, para el día 15/02/07 es **8,2 kg/d** y en el realizado el día 11/06/07 es **11,1 kg/d**.

Se recomienda a OSE la incorporación del manganeso como un parámetro adicional del monitoreo semanal que realiza de la cuenca, de forma de obtener mas datos que puedan permitir un estudio de la cuenca con aún mayor profundidad.

Del estudio realizado, donde se pretende obtener un rango de variación de aporte de manganeso por el coagulante variando la dosis, tipo y concentración de coagulante, se observa que el mismo varía entre **3.5** y **21.6 kg Mn/día**.

La variación en un caso y en otro es considerable, por lo que sería conveniente disminuir el aporte por parte del coagulante mediante el control de la bauxita utilizada y de los procesos de preparación del sulfato de aluminio en la planta de Aguas Corrientes, así como el control de las concentraciones de Mn presentes en los coagulantes suministrados por proveedores, de tal forma de minimizar la cantidad de manganeso que ingrese a la planta por esta vía.

En comparación con la norma Argentina IRAM 41159-1, el sulfato de aluminio fabricado por OSE no cumple con el estándar fijado para contenido de manganeso y el del proveedor externo lo cumple, según los muestreos realizados por Facultad de Ingeniería

Para cumplir con los límites fijados en la norma Argentina IRAM 41159-1, se debería limitar la concentración de manganeso en los coagulantes a 145 mg Mn/L para el coagulante del proveedor externo y a 132 mg Mn / L para el coagulante de Aguas Corrientes. De forma de cumplir con la norma referida, se debería limitar en contenido de Mn expresado como MnO en la bauxita utilizada para la fabricación del sulfato de aluminio en Aguas Corrientes, a un valor máximo de 0.10%.

Por otra parte al minimizar el aporte del coagulante, se disminuyen los costos de una instalación de remoción de manganeso en la planta de potabilización. Cabe mencionar que la reducción de los aportes de manganeso debidos a fuentes difusas es un problema de abordaje mucho más complejo y resultados más inciertos.

De todas formas se observa que en los muestreos realizados aunque se anule el aporte del coagulante, sería necesario buscar y mitigar de ser posible la fuente de manganeso del agua bruta ó realizar la remoción del manganeso en la planta de potabilización mediante una técnica de remoción.

En conclusión, se debe minimizar el aporte de manganeso del coagulante, mediante el control de la bauxita utilizada y de los procesos de preparación del sulfato de aluminio en Aguas Corrientes. En el caso del sulfato de aluminio suministrado por proveedores, se debe limitar y controlar la concentración de Mn presente. Se recomienda a OSE la realización de un monitoreo continuo del coagulante comprado a proveedores y del coagulante fabricado en Aguas Corrientes de forma de determinar si los coagulantes suministrados son adecuados y cuales son las causas de la variación del contenido de manganeso en el coagulantes fabricado por OSE.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Agriculture and Natural Resources WATER QUALITY: “Managing Drinking Water Quality, Typical Contaminants And Problems Iron And Manganese”, 1995
- 2.- American Ground Water Trust, “Manganese problems”, 2002
- 3.- Arboleda Valencia J.; “Teoría y práctica de la purificación del agua”. McGraww-Hill Book Company, Inc., tercera edición, tomo 1: 362 pp. y tomo 2: pp. 364-793. ISBN: 958-41-0012-2. 2000.



- 4.- Attmote E. Griffin. “Significance and Removal of Manganese in Water Supplies”. Mayo 16, 1960.
- 5.- Davis, J.. Diversey “Removing Iron and Manganese from Natural Waters”. Water Technologies, Inc., Chagrin Falls, OH. File 7520. Octubre 1997.
- 6.- Degremont, .”Manual Técnico del Agua”. Cuarta Edición. 1217 pp. 1979.
- 7.- Dirección Nacional de Medio Ambiente. www.dinama.gub.uy. “Industrias con tramite SADI dentro de la Cuenca del Santa Lucía”.
- 8.- Douglas D.; Rittmann, Ph.D., P.E.Water/Wastewater Consultant. “Impact of Chlorine Dioxide and Chlorite Byproduct on Iron and Manganese Reduction”. Rev 1.1 December 2004.
- 9.- EPA “Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual”
- 10.- EPA “Contaminant Candidate List Regulatory Determination Support Document for Manganese”
- 11.- EPA “Drinking Water criteria document for manganese”
- 12.- EPA “Health Effects Support Document for Manganese”
- 13.- EPA “Quality Criteria for Water”, 1986
- 14.- Fair G.M.; Geyer J.C &.Okun D.A, “Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales”, primera edición, tomo II 1979.
- 15.- FYPASA Construcciones, Rayón Casas Said, Pinzón Ochoa Andrés, Osorio Ramírez Rodrigo, Artículo “Remoción de arsénico, hierro y manganeso mediante un proceso de oxidación floculación- filtración, utilizando medio filtrante pm-100”, 2006
- 16.- Jang A., Szabo J., Ahmed A. Hosni, M.Coughlin, P. L. Bishop. “Measurement of chlorine dioxide penetration in dairy process pipe biofilms during disinfection”. Received: 13 September 2005 / Revised: 22 November 2005 / Accepted: 27 November 2005 / Published online: 6 January 2006, Springer-Verlag 2006.
- 17.- Norma IRAM 41159-1, Argentina, “Productos químicos para uso industrial. Sulfato de aluminio para potabilización de agua y para usos generales. Requisitos y métodos de determinación de referencia”.
- 18.- Pris da Motta, Marcial R. , Artículo “Variabilidad de las concentraciones de Fe y Mn a través del proceso de potabilización y su relación con la calidad del agua cruda y las modalidades de operación”
- 19.- Richter, C.; Azevedo Netto, J.; “Tratamiento de agua: tecnología autorizada”, 3332 pp.. Editora Edgard Blucher Ltda..
- 20.- Salazar M.; Miramontes M. y Torres Lozano J., Artículo “Diseño de un generador de Ozono para disminuir presencia de manganeso en agua superficial”. Octubre 2002.
- 21.- SISICA, “INFORME 2005 – Cuenca del Río Santa Lucía”, 2005
- 22.- Sly L.I; Hodkinson M.C. and Arunpairona V.. “Deposition of Manganese in a Drinking Water Distribution System”. Department of Microbiology, University of Queensland, St. Lucia, Brisbane, and Gold Coast City Council Water Quality Centre, Coombabah, Gold Coast, Australia. November 1989.
- 23.- Soberanis, Martín Piña, “Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua para abastecimiento público aplicando una técnica de adsorción – oxidación que utiliza zeolita natural como medio de contacto en los estados de sinaloa y chihuahua”, 2002
- 24.- Solórzano Mondragón Flor de María, “Utilización de arena verde (cullisorb) y antracita en un filtro piloto para la remoción de hierro y manganeso del agua del pozo “diamante dos” de la planta de bombeo “ojo de agua-diamante”, de la ciudad de Guatemala”
- 25.- Teo , Chen , Artículo “Determination of manganese in water samples by flame atomic absorption spectrometry after cloud point extraction”, 2000
- 26.- UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil(FEC), Bresaola Junior Ruben, Do Amaral Sampaio Caio Antônio, “Remoção de ferro e manganês pelo tratamento de águas de abastecimento com permanganato de potássio”.
- 27.- Universidad de los Andes, Leoni, Nadine ; Iván Rojas, “Estudio de la preoxidación por el cloro, dióxido de cloro o peróxido de hidrógeno como mejoramiento de los procesos convencionales utilizados para la potabilización del agua”
- 28.- Volk C.J., Hofmann R., Chauret C., Gagnon G.A., Ranger G., and Andrews R.C.. “Implementation of chlorine dioxide disinfection: Effects of the treatment change on drinking water quality in a full-scale distribution system”.
- 29.- Wallhroos, G; Ferreira,W ; ”Experiencia en remoción de manganeso a través de la coagulación con Sulfato Férrico”, 20° Congreso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental.



30.- WHO International Reference Centre for Community Water Supply “Practical Solutions in drinking water supply and wastes disposal for developing countries”, Febrero 1977.