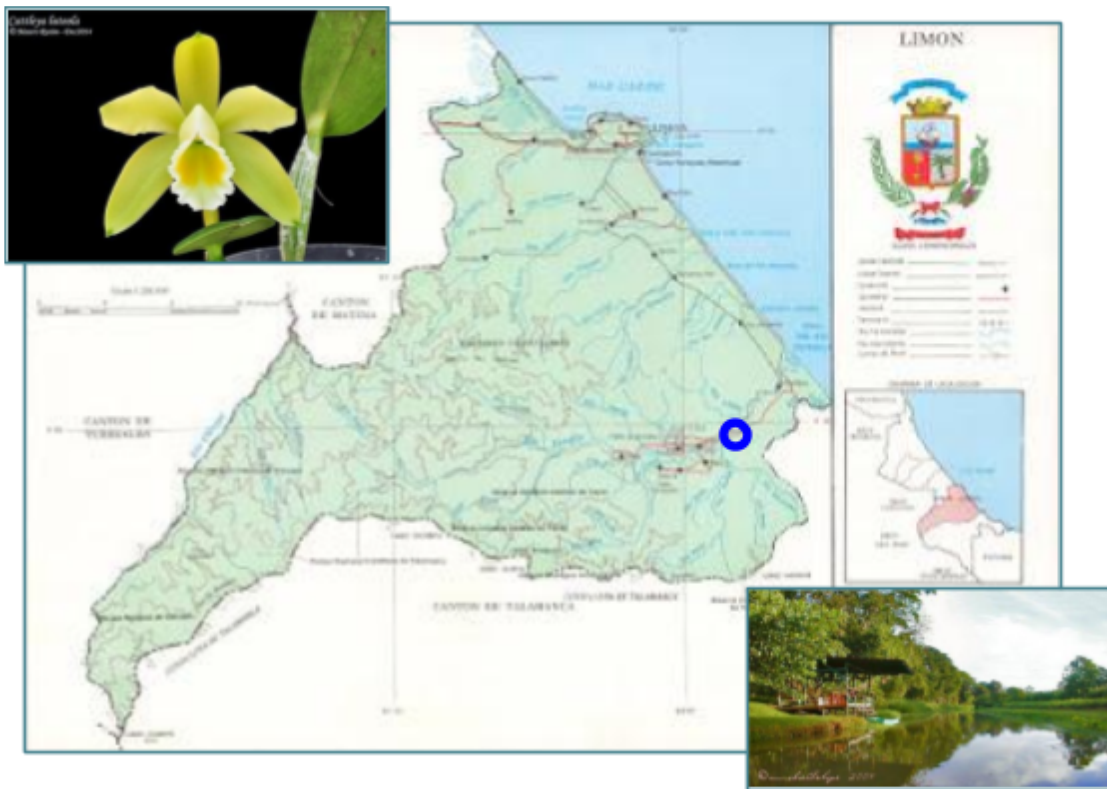




Informe Técnico

Pruebas a escala piloto en el Sistema de Potabilización La Guaria



Valle de La Estrella, Limón

Preparado por:
Ing. Rodolfo Araya Álvarez
Ing. Jorge G. Merizalde Dobles, MSc

Apoyo técnico:
Rafael Orozco Campos

Aprobado por:
Ing. Eduardo Lezama Fernández

Diciembre de 2016



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-05'00'

Firma: _____

Índice de contenidos

1. Introducción	3
2. Calidad del Agua	4
2.1. Hierro y manganeso	5
3. Pruebas piloto	6
3.1. Sistema utilizando Greensand Plus	9
3.2. Sistema utilizando Aqua Mandix	10
3.3. Protocolo de muestreo para el pilotaje	12
4. Evaluación del pilotaje	14
4.1. Operación del piloto	14
4.2. Piloto con Greensand Plus	14
4.2.1. Tasa de flujo 10 m/h	14
4.2.2. Tasa de flujo 15 m/h	16
4.3. Piloto con Aqua Mandix - Silex	17
4.3.1. Tasa de flujo 10 m/h	17
4.3.2. Tasa de flujo 15 m/h	19
5. Selección del material y la tasa de filtración	24
6. Propuesta de pre-diseño	26
6.1. Sistema de potabilización	26
6.1.1. Diámetro de los tanques presurizados	26
6.1.2. Tiempo de contacto de lecho vacío (EBCT)	28
6.1.3. Altura de los tanques presurizados	28
6.1.4. Retrolavado y enjuague	29
6.1.4.1. Frecuencia de retrolavado	30
6.1.4.2. Volúmenes de retrolavado	31
6.1.4.3. Enjuague	32
6.1.4.4. Gestión de residuos	33
7. Presupuesto Preliminar	40
8. Subproductos de la Desinfección	41
9. Conclusiones y recomendaciones	42
10. Referencias	44
11. Anexos	45
11.1. Anexo A.	45
11.2. Anexo B	49
11.3. Anexo C	53
11.4. Anexo D	54

1. Introducción

Como etapa siguiente a las pruebas realizadas y resultados obtenidos descritos en el documento titulado: “*Diagnóstico Preliminar La Guaria*”, se acuerda con la Región Huetar Atlántica, el implementar una planta a escala piloto para evaluar y optimizar el comportamiento del sistema de tratamiento.

Por esta razón, se adquirieron los equipos y accesorios necesarios para la implementación del sistema piloto, complementando los ya disponibles en la UEN I+D. En fecha 30 de junio 2016, se procede con el montaje de la planta piloto y se empieza su monitoreo. Se decide iniciar con la evaluación del material *Greensand Plus* (arena silícica recubierta con dióxido de manganeso), el cual utiliza actualmente la planta potabilizadora de La Guaria. Se acuerda estudiar el comportamiento de este material bajo dos tasas de flujo establecidas: 10 y 15 m/h¹. Se escogieron estos valores, por cuanto: (i) el fabricante recomienda su uso dentro del rango: 4.9 - 29.3 m/h, (ii) 10 m/h corresponde a un valor sugerido por el distribuidor del material en Costa Rica y por algunas referencias (Earth Tech, Inc. 2007), y (iii) considerando la posibilidad de reducir la tasa de flujo para optimizar el sistema, mediante la instalación de reactores adicionales de las mismas dimensiones de los actuales, las tasas 10 y 15 m/h son submúltiplos de la tasa de operación actual: 30 m/h.

Luego de monitorear la prueba piloto con *Greensand Plus*, se procede a reemplazar el material filtrante por un material de marca *Aqua Mandix*, el cual es un dióxido de manganeso al 78%. En esta prueba se mezcla este material con arena sílex calibrada en una relación cercana al 35% de MnO₂ y 65% de arena sílex. Este material también fue aportado por la Región Huetar Atlántica; las proporciones utilizadas responden a lo recomendado por el distribuidor del material en Costa Rica y a la ficha técnica del fabricante.

El objetivo de las pruebas con la planta piloto, fue el de determinar la capacidad del proceso para remoción de hierro y manganeso, para dos medios filtrantes diferentes y para la calidad del agua del sistema La Guaria.

¹ Unidad simplificada equivalente a: m³ de agua por hora (caudal), por cada m² de sección transversal de material granular (filtrante, adsorbente, etc).

2. Calidad del Agua

Se procedió a solicitar al LNA, los análisis de calidad de agua disponibles para el sistema de potabilización de La Guaria. Se proporcionaron datos desde el año 2014 hasta el 2016. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los datos proporcionados por el LNA, con su respectivo identificador, mostrando solamente los valores para los parámetros de color aparente, hierro, manganeso, pH, temperatura y turbiedad.

Cuadro #1. Resumen de calidad del agua. Planta potabilizadora La Guaria

Punto de muestreo	Cruda	Filtrada	Filtrada	Cruda	Filtrada	RED 1
ID	07844-2014	07845-2014	01305-2015	05930-2015	05931-2015	05932-2015
Fecha Muestreo	09/10/2014	09/10/2014	26/02/2015	31/07/2015	31/07/2015	31/07/2015
Color Aparente (UPt-Co)	D	D	ND	ND	ND	ND
Hierro (µg/L)	431	25	31	393,2	7,4	49,9
Manganeso (µg/L)	202	224	267,6	242,9	135,8	24,6
pH	7,25	7,3	7,46	7,16	7,52	7,24
Temperatura (°C)	26,1	26,3		26	26,2	26,6
Turbiedad (UNT)	1,8	0,3	0,25	0,1	0,1	0,4
Nota				"El agua cruda presenta fuerte olor a azufre, fétido"	"El agua cruda presenta fuerte olor a azufre, fétido"	"El agua cruda presenta fuerte olor a azufre, fétido"

Punto de muestreo	Filtrada	RED 1	Filtrada	Cruda	Tratada	RED 2
ID	06555-2015	06556-2015	11565-2015	02761-2016	02762-2016	02764-2016
Fecha Muestreo	26/08/2015	26/08/2015	25/11/2015	29/03/2016	29/03/2016	29/03/2016
Color Aparente (UPt-Co)	6	9	5	6	7	9
Hierro (µg/L)	25,5	103,5	140,4	395,2	43,8	119
Manganeso (µg/L)	159,7	99,3	94	215,1	307,8	193,9
pH	7,06	7,01	7,17	7,28	7,24	7,58
Temperatura (°C)						
Turbiedad (UNT)	0,25	1,01	0,3	0,37	0,5	2,56
Nota				Aluminio: 216.9 µg/L	Aluminio: 8,7 µg/L	

2.1. Hierro y manganeso

Como se mencionó en el documento “*Diagnóstico Preliminar La Guaria*”, el hierro y el manganeso son minerales de origen natural en el agua subterránea, sin riesgos de salud asociados. Al presentarse en altas concentraciones, causan problemas estéticos y de rechazo por parte de la población servida. En presencia de estos metales, las quejas más usuales de los usuarios, son:

1. manchas en la ropa y en la grifería
2. sabor metálico
3. taponamiento de filtros caseros
4. color objetable del agua
5. atascamiento de bombas, válvulas, etc. (los óxidos de hierro y manganeso sirven de soporte para la formación de biopelícula)
6. mayor susceptibilidad a la contaminación del agua en al red de distribución (la formación de óxidos consume el cloro residual del agua tratada)

3. Pruebas piloto

Se desarrollaron pruebas para evaluar la tecnología de oxidación catalítica y filtración para remoción de hierro y manganeso con dos materiales granulares distintos. Estos materiales fueron suministrados por la Región Huetar Atlántica, pues ya son utilizados por en plantas de AyA para la remoción de estos contaminantes.

El primer material utilizado fue el medio *Greensand Plus*, fabricado por la empresa *Inversand Co.*; el segundo medio evaluado fue el *Aqua Mandix*, de la empresa *Betaquímica S.A.* Se utilizaron en una planta a escala piloto, presurizada para simular el comportamiento a escala real, de forma que se pudieran realizar y evaluar los ajustes operativos necesarios, sin afectar el sistema potabilizador existente.

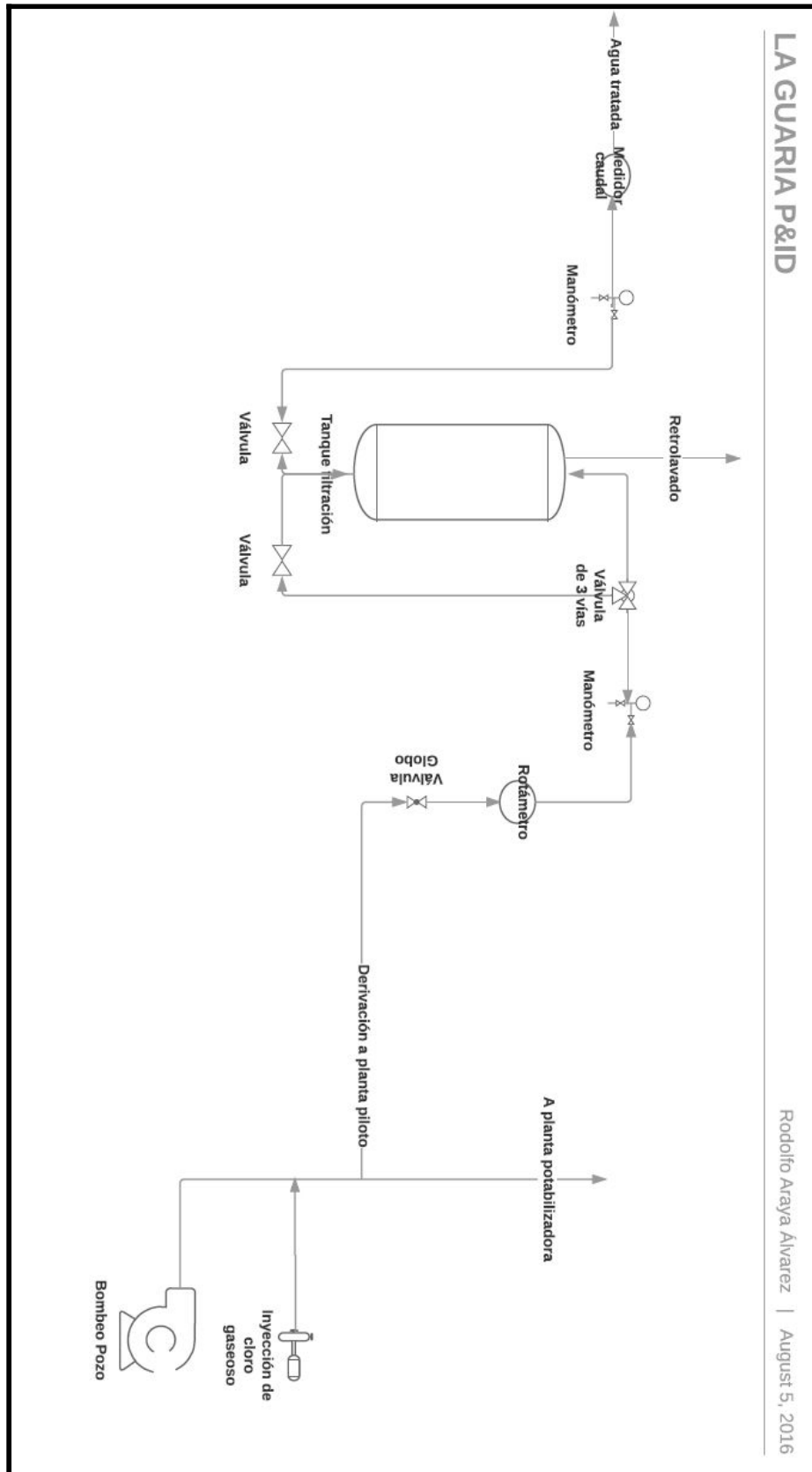
En la figura #1 se presenta un esquema de procesos de la planta piloto utilizada. Con el fin de simular el proceso de tratamiento de la planta actual, se derivó un pequeño caudal de la tubería principal del sistema de tratamiento. La línea de derivación de PVC de ½" toma el agua después del primer punto de cloración del sistema potabilizador existente. Lo anterior, con el fin de evitar la instalación de un sistema adicional para oxidación de hierro y manganeso. Esto permitió también evaluar la continuidad de la cloración de la planta existente.

En la figura #2 se muestra una foto de la planta piloto utilizada. Como puede observarse, es un sistema presurizado, cuyos componentes críticos son: (i) tanque de fibra de vidrio reforzado con plástico (*FRP, fiber reinforce plastic*) que contiene el material granular ($\text{Ø}=9"$, $h=48"$); (ii) válvula de tres vías, la cual permite las operaciones de:

1. Servicio (flujo descendente)
2. Retro-lavado (flujo ascendente)

Otros componentes importantes del sistema son: válvula reductora de presión, válvulas de compuerta, manómetros, prevista para toma de muestras, flujómetro, entre otros.

Figura #1. Diagrama de procesos de la planta piloto



LA GUARIA P&ID

Rodolfo Araya Alvarez | August 5, 2016

Figura #2. Fotografía de la planta piloto utilizada



3.1. Sistema utilizando Greensand Plus

El *Greensand Plus* es un material granular de aspecto arenoso y color negro, fabricado por la empresa *Inversand Co.* Está compuesto de un núcleo de arena silícica y un recubrimiento de dióxido de manganeso, que actúa como catalítico de la reacción de oxidación del hierro y del manganeso. El detalle de las características del material y las recomendaciones del fabricante pueden consultarse en la ficha técnica del material (véase el Anexo A).

El objetivo de las pruebas piloto era evaluar la efectividad del material, bajo dos tasas de flujo distintas. Para esto, se dispuso de un tanque presurizado que contiene aproximadamente un pie cúbico del material (aproximadamente 28 litros), previendo el espacio libre necesario para su expansión durante el retrolavado. A continuación se detalla la configuración del sistema piloto:

Cuadro #2. Configuración del piloto con Greensand Plus

Parámetro	Valor
material filtrante (volumen)	28 L (1 ft ³)
material filtrante (altura)	69 cm
altura libre (<i>head space</i>)	37 cm
medio soporte (altura)	15 cm

Este piloto se operó con la adición previa de cloro gaseoso como agente oxidante, con el cual se busca oxidar la mayor cantidad posible del manganeso y hierro solubles, previo al ingreso al filtro. Los óxidos precipitados quedan luego filtrados en la columna de material granular, y posteriormente se remueven durante el retrolavado.

La regulación de la tasa de flujo se logró utilizando la válvula reductora de presión (regulación gruesa) y el flujómetro (regulación fina). Se utilizaron dos velocidades de flujo distintas: 10 y 15 m/h, las cuales corresponden a caudales aproximados de 7 y 10 L/min. Como se mencionó anteriormente, estos valores corresponden tanto a la experiencia de empresas distribuidoras en Costa Rica, como a las recomendaciones de bibliografía (*Earth Tech, Inc. 2007*).

Para el proceso de retrolavado se utilizó una tasa de flujo de 30 m/h, la cual corresponde a un caudal de 20 L/min. Si bien, este valor es menor a lo recomendado por el fabricante del material en la ficha técnica (37 m/h) para la temperatura promedio del agua (25°C), se decide utilizarlo con el fin de replicar la operación actual de la planta existente en La Guaria.

El controlador incorporado en la válvula de tres vías cuenta con una rutina preestablecida para retrolavado y enjuague (duración 22 min.), la cual se utilizó durante operación del sistema piloto. Inicialmente, se plantea una frecuencia de retrolavado de una vez al día, inmediatamente después del retrolavado de la planta existente (normalmente en la mañana). Con el paso de los días, los resultados del monitoreo del piloto evidencian la necesidad de aumentar la frecuencia de retrolavado, dos veces al día; esto por cuanto, al transcurrir el paso de las horas, existe una afectación importante a la calidad del agua efluente; provocando la fuga de alguno de los contaminantes.

Se colocaron manómetros a la entrada y salida del sistema piloto, con el fin de monitorear la variación de presión a través del material filtrante. No se logró apreciar un diferencial de presión significativo en el proceso de tratamiento, por lo que este parámetro no se utilizó como indicador de la necesidad de un retrolavado.

El medio filtrante Greensand Plus, requiere para su correcto funcionamiento, un proceso de activación, según detalla el fabricante del mismo en su ficha técnica (anexo A). Este proceso fue realizado por los funcionarios de la Región Huetar Atlántica.

En la siguiente tabla, se presenta un resumen de algunos de los parámetros operativos del sistema piloto, para las dos velocidades de flujo utilizadas.

Cuadro #3. Parámetros operativos del sistema piloto con GSP

Datos para dimensionamiento	Opción 1 - La Guaria (10 m/h)	Opción 2 - La Guaria (15 m/h)
Caudal total (l/min)	7	10,26
Caudal total (l/s)	0,12	0,17
Velocidad de flujo operativo (m/h)	10,2	15,0
Caudal de retrolavado (l/min)	20	20
Velocidad de flujo retrolavado (m/h)	29,2	29,2
EBCT, tiempo de contacto (min)	4,0	2,8

3.2. Sistema utilizando Aqua Mandix

Se procedió también a realizar las pruebas piloto para evaluar la efectividad de otro material filtrante: el Aqua Mandix, de la empresa Betaquímica S.A. El análisis se realizó bajo dos tasas de flujo distintas. El material mencionado, es un medio filtrante negro, es un dióxido de manganeso con una concentración del 75% al 80%. La presencia de oxígeno en el producto, soporta la eliminación del hierro y manganeso de forma catalítica.

El medio filtrante se contiene en un filtro presurizado de 9” de diámetro y 48” de altura, el cual se utiliza para contener aproximadamente un pie cúbico de material filtrante y dejar espacio suficiente para la expansión del mismo en la etapa de retrolavado. Este sistema se diseñó y operó utilizando la siguiente configuración:

Cuadro #4. Configuración del piloto con Aqua Mandix

Parámetro	Valor
altura de medio de soporte	13 cm
altura de material filtrante Aqua Mandix	25 cm
cantidad de material filtrante Aqua Mandix	10.3 litros
altura de material filtrante silex	44 cm
cantidad de material filtrante silex	18 litros
espacio libre	40

En el anexo B, se adjunta la ficha técnica del material Aqua Mandix, donde se detallan las características físicas y recomendaciones del fabricante. Como puede observarse de la ficha técnica, dependiendo de la calidad del agua (contenido de hierro y manganeso) a tratar, se define la cantidad de dióxido de manganeso por utilizar. En el caso de estudio, se decide utilizar un 64% de material filtrante o arena “Silex” y un 36% de Aqua Mandix.

Este piloto se operó con la adición previa de cloro gaseoso como agente oxidante, con el cual se busca oxidar la mayor cantidad posible del manganeso y hierro soluble, previo al ingreso al filtro. Los precipitados oxidados eran posteriormente filtrados por el medio y posteriormente removidos durante la etapa de retrolavado.

Las tasas de flujo utilizadas para las pruebas se regularon con la ayuda de una válvula reguladora de presión/caudal y el uso de un flujómetro. Se utilizaron dos velocidades de flujo distintas: 10 y 15 m/h, las cuales corresponden a caudales aproximados de 7 y 10.26 l/min. Para el proceso de retrolavado se utilizó una tasa de flujo de 30 m/h, la cual representa un caudal de 20 l/min aproximadamente. Este valor se encuentra dentro de lo recomendado por el fabricante del medio y se decide utilizarlo pues es el valor que actualmente se utiliza en la planta La Guaria y debido a la escala que se tiene para el flujómetro, es el valor más alto medible por el mismo. La válvula de tres vías utilizada posee una configuración de retrolavados y enjuagues que dura aproximadamente 22 minutos en realizarse; se utilizó esta configuración para el proceso de retrolavado. Inicialmente, se plantea el realizar el proceso de retrolavado una vez al día, en la mañana, luego del retrolavado que se le realiza a la planta potabilizadora. Con el paso de los días, en la etapa de monitoreo del sistema, se llega a conclusión de la necesidad de realizar el proceso de

retrolavado, dos veces al día; esto por cuanto, al transcurrir el paso de las horas, existe una afectación importante a la calidad del agua efluente; provocando la fuga de alguno de los contaminantes.

Se colocaron manómetros a la entrada y salida del sistema piloto, con el fin de monitorear la variación de presión a través del material filtrante. No se logró apreciar un diferencial de presión significativo en el proceso de tratamiento, por lo que este parámetro no se utilizó como indicador de la necesidad de un retrolavado.

En la cuadro #3, se presenta un resumen de algunos de los parámetros operativos del sistema piloto, para las dos velocidades de flujo utilizadas; como puede observarse son los mismos que los utilizados para el GSP.

3.3. Protocolo de muestreo para el pilotaje

Como parte del monitoreo del sistema piloto instalado, en conjunto con la Región Huetar Atlántica, se define un protocolo de muestreo. Se realiza una bitácora, con el fin de que el mismo se mantenga en la planta potabilizadora y todos los días se monitoreen algunos parámetros básicos por el operador de la planta. En el siguiente cuadro, a modo de ejemplo, se presenta un detalle de los parámetros que se monitorearon diariamente. Los operadores de la planta, en un cuaderno, apuntaron cualquier cambio, modificación, situación o problema que se presentara y que pudiese afectar la planta piloto.

Cuadro #5. Parámetros de monitoreo diario

Día	Fecha	Cloro entrada (ppm)	Cloro de salida (ppm)	Presión de entrada (psi)	Presión de salida (ppm)	Responsable
1	30/06/2016	0.6	0.1	0	0	Andrey

Adicionalmente al monitoreo diario presentado anteriormente, de manera semanal o bisemanal, funcionarios de la UEN I+D, visitaron el sistema La Guaria, con el fin de realizar los ajustes necesarios al piloto y tomar mediciones adicionales a la calidad del agua cruda y tratada por la planta piloto. En el siguiente cuadro, se presenta un detalle del monitoreo realizado por los funcionarios de la UEN I+D. El equipo utilizado para monitorear esos parámetros, es un activo de la UEN I+D y es un equipo de marca HACH, modelo DR 900.

Cuadro #6. Muestreo semanal/bisemanal

Parámetro	Método analítico/equipo
Hierro total	FerroVer, Método 8008, Powder Pillows
Manganeso total	PAN, Método 8149, Powder Pillows
pH	pHmetro

Temperatura	pHmetro
Cloro residual	DPD/comparador
Volumen de agua tratada	Micromedidor

Por último, se procede a muestrear por la UEN I+D y con una frecuencia establecida por el proyecto, y a analizar analíticamente por el LNA los siguientes parámetros.

Cuadro #7. Parámetros analizados por el LNA

Parámetro	Unidades	Método (según Standard Methods)
Aluminio	µg/l	3125 B
Antimonio	µg/l	3125 B
Arsénico	µg/l	3125 B
Cadmio	µg/l	3125 B
Cloro residual libre	mg/l	4500-Cl G
Cobre	µg/l	3125 B
Color Aparente	UPt-Co	2120 C
Conductividad	µS/cm	2510
Cromo	µg/l	3125 B
Hierro	µg/l	3125 B
Manganeso	µg/l	3125 B
Mercurio	µg/l	3125 B
Níquel	µg/l	3125 B
pH		4500-H+
Plomo	µg/l	3125 B
Selenio	µg/l	3125 B
Temperatura	°C	2550 B
Turbiedad	UNT	2130 B
Zinc	µg/l	3125 B

4. Evaluación del pilotaje

4.1. Operación del piloto

El montaje de la planta piloto se realizó en fecha 29 y 30 de junio 2016. El día 30 de junio 2016 se hace la puesta en marcha del piloto y se dejan las instrucciones y bitácora para la operación del mismo por parte de los funcionarios de la Región Huetar Atlántico. La evaluación del sistema utilizando el medio filtrante Greensand Plus, se realiza desde el 30 de junio hasta el día 03 de agosto 2016. En esta última fecha se sustituye el material por la mezcla de medios filtrantes Aqua Mandix y arena silex. Este material se evaluó desde el 03 de agosto hasta 09 de setiembre.

En el siguiente cuadro, se presentan los parámetros evaluados para los dos materiales mediante equipo portátil. Es importante recordar, que cada material se evaluó para dos tasas de flujo distintas: 10 y 15 m/h ($m^3/m^2 \cdot h$).

Cuadro #8. Parámetros evaluados para las prueba piloto

				Entrada					Salida				
Fecha	Hora	Q (l/min)	q (m/h)	[HClO]	[Fe]	[Mn]	pH	T(°C)	[HClO]	[Fe]	[Mn]	m ³ agua tratada	Observa ciones

Adicionalmente, en varias ocasiones se tomaron muestras para realizar los análisis en el LNA, lo anterior para confirmar los resultados obtenidos mediante equipo portátil y para contar con mayor cantidad de parámetros evaluados.

4.2. Piloto con Greensand Plus

4.2.1. Tasa de flujo 10 m/h

Del 30 de junio al 27 de julio 2016, la planta piloto operó a una tasa de flujo de 10 m/h. Los primeros días hasta el 08 de julio, el funcionamiento de la planta piloto no presentó eficiencias de remoción de manganeso aceptables, al presentar altas concentraciones de este metal en el agua tratada. Las eficiencias de remoción se encontraron en el rango de 0% a 35.4%. En el caso del hierro, para esas mismas fechas, se obtuvieron eficiencias de remoción del orden de 78% a 95%. Para esos días, se detectaron algunos problemas puntuales con la precloración de la planta, lapsos de tiempo para los cuales no se contó con la precloración. Esta situación demuestra la importancia de controlar el potencial ORP en el agua a tratar de manera adecuada, y se respalda con lo indicado por el fabricante del medio en la

información técnica del material. Se cree que la alta eficiencia del material para la remoción del hierro se debe a la facilidad y alta tasa de oxidación del hierro a los pH en los que se encuentra el agua. Se acordó con los operadores de la planta el mantener un estricto control de la dosificación de cloro al agua, con el fin de poder contar con el potencial de ORP necesario para la remoción del manganeso.

Del 19 hasta el 27 de julio se mejora de manera significativa la remoción de manganeso en la planta piloto. Las eficiencias para remoción de este metal variaron entre el 67% hasta 92%. En el caso del hierro, las eficiencias de remoción se encontraron desde 32% hasta 91.5%. Es importante destacar que se observó una mejoría importante de la calidad del agua efluente después de cada retrolavado.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la prueba descrita. El pH del agua se encontró en el rango de 6.95 a 7.09, la temperatura entre los 26°C y 27°C, la concentración de cloro a la entrada de la planta se encontró entre 0.4 a 0.6 ppm y a la salida en 0.2 mg/l. La concentración de hierro y manganeso a la entrada del sistema se encontró entre 0.42 a 0.50 mg/l y entre 0.278 a 0.285 mg/l respectivamente. Se realizaron análisis puntuales de calidad de agua por el LNA antes y después de retrolavar la planta piloto, con identificadores ID-07405-2016 y ID-07406-2016 respectivamente. Las eficiencias de remoción de hierro fueron de 50% antes de retrolavar y de 90% después del retrolavado, para el caso del manganeso fueron de 83% y de 92% respectivamente.

Cuadro #9. Resultados obtenidos para una tasa de 10 m/h con GSP

Fecha	Hora	q (m/h)	Entrada		Salida				Observaciones
			[Fe]e	[Mn]e	[Fe]s	Ef (%)	[Mn]s	Ef (%)	
30-Jun	Empieza a funcionar el piloto								
07-Jun	14:52	10	0.42	0.280	0.02	95.74	0.284	-1.4	Pre-cloración NO funcionó en últimos días
08-Jul	09:19	10	0.50	0.278	0.10	78.72	0.194	30.7	Antes de retrolavado
08-Jul	10:36	10	-		0.03	93.62	0.181	35.4	Después de retrolavado
19-Jul	15:40	10	0.47	0.285	0.14	70.21	0.091	67.5	Antes de retrolavado
19-Jul	17:00	10	-	-	0.04	91.49	0.055	80.4	Después de retrolavado
20-Jul		10	0.43	0.283	0.20	57.45	0.076	72.9	Antes de retrolavado
20-Jul	08:40	10	-	-	0.07	85.11	0.033	88.2	Después de retrolavado
27-Jul	13:17	10	-	-	0.32	31.91	0.091	67.5	Antes de retrolavado
27-Jul	13:24	10	-	-	0.23	51.06	-	-	Antes de retrolavado
27-Jul	13:24	10	-	-	0.2319	50.66	0.0475	83.0	Dato LNA, antes de retro. ID - 07405-2016
27-Jul	14:42	10	-	-	0.0439	90.66	0.0219	92.2	Dato LNA, después de retro. ID-07406-2016
27-Jul	14:42	10	-	-	0.05	89.36	0.035	87.5	Después de retrolavado

4.2.2. Tasa de flujo 15 m/h

Del 27 de julio 2016 al 03 de agosto del 2016, la planta piloto operó a una tasa de flujo de 15 m/h. Las eficiencias para remoción de hierro variaron entre el -57% hasta 70%, suponiendo una concentración de hierro constante de 0.47 mg/l en el agua cruda, pues no se realizan muestreos de agua cruda en todas las pruebas de campo. Los valores negativos de eficiencia en la planta piloto, se atribuyen a la fuga de óxidos de hierro una vez alcanzada la colmatación del filtro, lo que provoca picos en la de salida mayores a la concentración de hierro en el agua cruda, que además sobrepasan lo permitido por el RCAP² para este parámetro. Este fenómeno es indicador de la necesidad de un retrolavado.

Para el caso del manganeso, la eficiencia de remoción varió desde 24% hasta 81%, se supone una concentración constante de manganeso de 0.28 mg/l en el agua cruda, pues no se realizaron muestreos de agua cruda en todas las pruebas de campo. Es importante destacar que se observó una mejoría importante de la calidad del agua efluente después de cada retrolavado, tanto para el caso del hierro como del manganeso.

El LNA realizó análisis detallados de calidad de agua antes y después de retrolavar la planta piloto, con identificadores ID-07407-2016 e ID-07409-2016 respectivamente. Las eficiencias de remoción de hierro fueron de -57% antes de retrolavar y de 68% después del retrolavado, para el caso del manganeso fueron de 51% y de 81%, respectivamente. En el caso del hierro, los análisis del LNA confirman la hipótesis señalada anteriormente, sobre la de fuga de óxidos de este metal tras la colmatación del medio filtrante.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la prueba descrita. El pH del agua se encontró en el rango de 6.96 a 7.06, la temperatura aproximada de 27°C, la concentración de cloro a la entrada de la planta (después de la pre-cloración) se encontró entre 0.5 a 0.6 ppm y a la salida en 0.2 y 0.3 ppm.

² Reglamento para la Calidad de Agua. Decreto Ejecutivo 38924-S (2015)

Cuadro #10. Resultados obtenidos para una tasa de 15 m/h con GSP

Fecha	Hora	q (m/h)	Salida				Observaciones
			[Fe]s	Ef (%)	[Mn]s	Ef (%)	
27-Jul	15:30	15	0.42	10.64	0.101	63.9	Después de retrolavado
28-Jul	07:55	15	0.44	6.38	0.130	53.6	Antes de retrolavado
28-Jul	08:52	15	0.19	59.57	No hay dato		Después de retrolavado
28-Jul	15:15	15	0.15	68.09	No hay dato		Antes de retrolavado
28-Jul	16:05	15	0.14	70.21	0.055	80.4	Después de retrolavado
29-Jul	07:15	15	0.48	-2.13	0.111	60.4	Antes de retrolavado
29-Jul	07:15	15	0.7376	-56.94	0.137	51.1	Antes de retrolavado, dato LNA. ID 07407-2016
29-Jul	08:50	15	0.1500	68.09	0.0518	81.5	Después de retrolavado, dato LNA. ID 07409-2016
29-Jul	08:35	15	0.14	70.21	0.072	74.3	Después de retrolavado
03-Aug	12:35	15	0.57	-21.28	0.212	24.3	Antes de retrolavado
03-Aug	13:29	15	0.33	29.79	0.162	42.1	Después de retrolavado

4.3. Piloto con Aqua Mandix - Silex

Como se mencionó anteriormente, parte de la investigación consistió en la evaluación de dos materiales filtrantes distintos. A continuación se presentan los resultados obtenidos con el material de nombre Aqua Mandix, descrito anteriormente.

4.3.1. Tasa de flujo 10 m/h

Del 19 al 01 de setiembre de agosto del 2016, la planta piloto operó a una tasa de flujo de 10 m/h. Las eficiencias de remoción de la planta para hierro se encontraron

en el rango de -85% a 40%. En el caso del manganeso, se obtuvieron eficiencias de remoción del orden de -72% a 26%. Es importante destacar que los valores negativos de eficiencia se presentan justo después de los retrolavados, podría interpretarse que la etapa de retrolavado y enjuague debe mejorarse y estas eficiencias de remoción negativas de la planta piloto se asocian a posibles fugas de los metales a través del medio filtrante, provocando que parte de los sólidos retenidos se desprendan del material y salgan en el agua efluente. Se detecta la importancia de realizar el proceso de retrolavado según las indicaciones del fabricante del material filtrante y de realizar una etapa de enjuague adecuada después de cada retrolavado.

Un aspecto que limitó la prueba con el material filtrante Aqua Mandix, fue la utilización de agua preclorada tomada de la planta potabilizadora La Guaria. Según la ficha técnica del fabricante del material filtrante, se indica que el rendimiento del mismo “*se reduce notablemente en caso de la existencia de turbidez elevada, cloro libre por encima de 0.5 ppm, amonico y H₂S en el agua a tratar*”. Al utilizar el agua preclorada de la planta potabilizadora, con concentraciones entre 0.4 y 0.6 ppm, es posible que se produzca una reducción en la capacidad de remoción del material.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la prueba escrita. El pH del agua se encontró en el rango de 7.09 a 7.22, la temperatura entre los 26°C y 27°C, la concentración de cloro a la entrada de la planta se encontró cercana a 0.6 ppm y a la salida entre 0.2 y 0.4 mg/l.

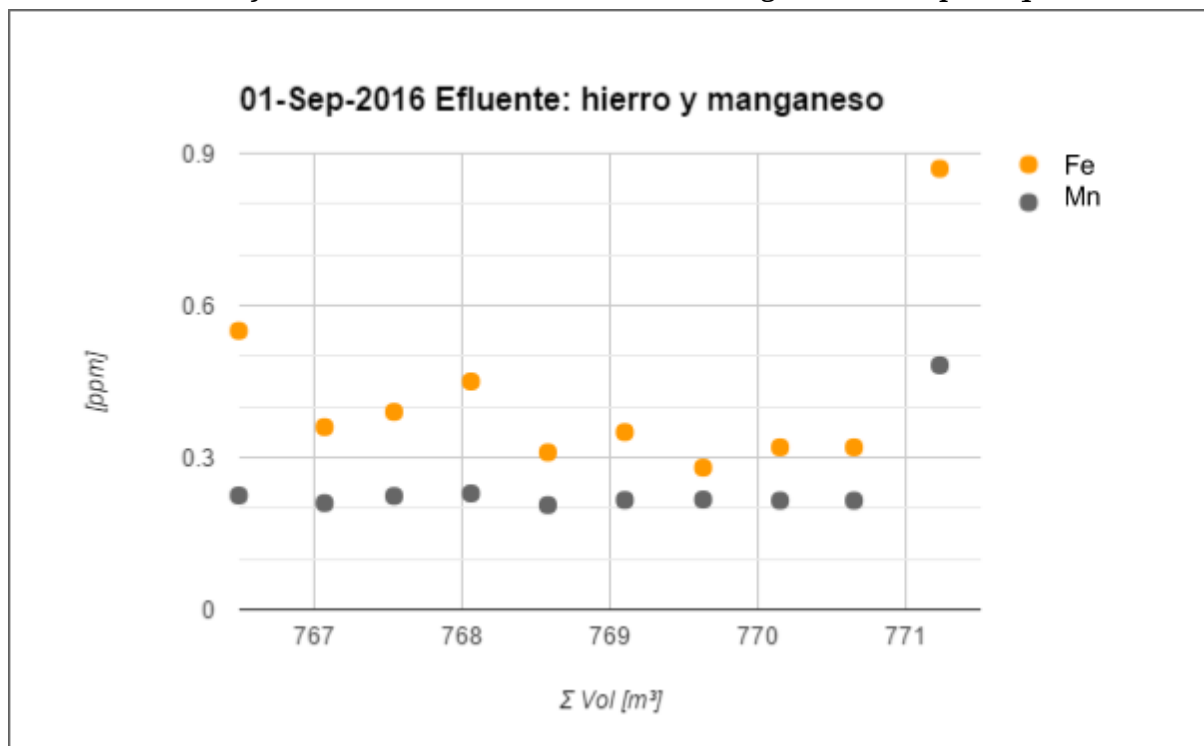
Cuadro #11. Resumen de los resultados de la prueba a 10 m/h con Aqua Mandix

Fecha	Hora	q (m/h)					Observaciones
			[Fe] s	Ef (%)	[Mn]s	Ef (%)	
19-Aug	10:20	10.0	0.47	0.00	0.298	-6.429	Después de retrolavado
01-Sep	07:34	10.0	0.55	-17.02	0.225	19.643	Después de retrolavado
01-Sep	08:34	10.0	0.36	23.40	0.210	25.000	Después de retrolavado
01-Sep	09:34	10.0	0.39	17.02	0.224	20.000	Después de retrolavado
01-Sep	10:34	10.0	0.45	4.26	0.229	18.214	Después de retrolavado
01-Sep	11:34	10.0	0.31	34.04	0.206	26.429	Después de retrolavado
01-Sep	12:34	10.0	0.35	25.53	0.216	22.857	Después de retrolavado
01-Sep	13:34	10.0	0.28	40.43	0.217	22.500	Después de retrolavado
01-Sep	14:34	10.0	0.32	31.91	0.215	23.214	Después de retrolavado
01-Sep	15:34	10.0	0.32	31.91	0.215	23.214	Antes del retrolavado
01-Sep	16:19	10.0	0.87	-85.11	0.482	-72.143	Después del retrol. de las 4 pm

En esta etapa de la investigación se decide realizar muestreos en sitio cada hora, después de realizar el retrolavado de la planta piloto en las mañanas. Lo anterior con el fin de conocer el comportamiento del sistema con el transcurso del tiempo; y poder determinar si fuese posible la frecuencia de retrolavado recomendada.

En el siguiente gráfico, se muestra el comportamiento de la prueba realizada el día 01 de setiembre y se gráfica el volumen de agua tratada versus las concentraciones de hierro y manganeso efluentes. Se puede apreciar que después del retrolavado, la cantidad de hierro efluente del sistema, mantiene un comportamiento donde aumenta el hierro con respecto a la cantidad de agua tratada para luego bajar la concentración y volver a subir. Para el caso del manganeso, la concentración de este metal se mantiene constante al aumentar la cantidad de agua tratada.

Gráfico #1. Fe y Mn efluentes versus cantidad de agua tratada, para $q = 10$ m/h



Del gráfico anterior, se observa que en los primeros metros cúbicos de agua tratada después de un retrolavado, el agua efluente presenta concentraciones elevadas para hierro y manganeso. Adicionalmente, para el resto de la prueba, la calidad del agua mejora pero no se obtienen valores aceptables constantes a través del tiempo. Puede interpretarse también que el proceso de retrolavado y enjuague en este sistema juega un papel muy importante en la calidad del agua efluente. Adicionalmente, las eficiencias de remoción de estos metales no son aceptables.

4.3.2. Tasa de flujo 15 m/h

Del 03 al 19 de agosto del 2016, la planta piloto operó a una tasa de flujo de 15 m/h. Las eficiencias de remoción de la planta para hierro se encontraron en el rango de -64% a 78%. En el caso del manganeso, se obtuvieron eficiencias de remoción del orden de -14% a 87%. Es importante destacar que se observó en algunos de los datos una mejoría de la calidad del agua efluente después de cada retrolavado.

Las eficiencias de remoción negativas de la planta piloto se asocian a posibles fugas de los metales a través del medio filtrante, provocando que parte de los sólidos retenidos se desprendan del material y salgan en el agua efluente. Adicionalmente, se detecta la importancia de realizar el proceso de retrolavado según las indicaciones del fabricante del material filtrante y de realizar una etapa de enjuague adecuada después de cada retrolavado.

Un aspecto que limitó la prueba con el material filtrante Aqua Mandix, fue la utilización de agua pre-clorada tomada de la planta potabilizadora La Guaria. Según la ficha técnica del fabricante del material filtrante, se indica que el rendimiento del mismo “*se reduce notablemente en caso de la existencia de turbidez elevada, cloro libre por encima de 0.5 ppm, amoníaco y H₂S en el agua a tratar*”. Al utilizar el agua pre-clorada de la planta potabilizadora, con concentraciones entre 0.4 y 0.6 ppm, es posible que se produzca una reducción en la capacidad de remoción del material.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la prueba descrita. El pH del agua se encontró en el rango de 6.99 a 7.39, la temperatura entre los 26°C y 27°C, la concentración de cloro a la entrada de la planta se encontró entre 0.5 a 0.6 ppm y a la salida entre 0.3 y 0.5 ppm.

Se realizaron análisis puntuales de calidad de agua por el LNA antes y después de retrolavar la planta piloto, con identificadores ID-07607-2016 y ID-07608-2016 respectivamente. Las eficiencias de remoción de hierro fueron de -33% antes de retrolavar y de 36% después del retrolavado, para el caso del manganeso fueron de 42% y de 51% respectivamente. Se nota una mejoría de la eficiencia después de retrolavar el sistema.

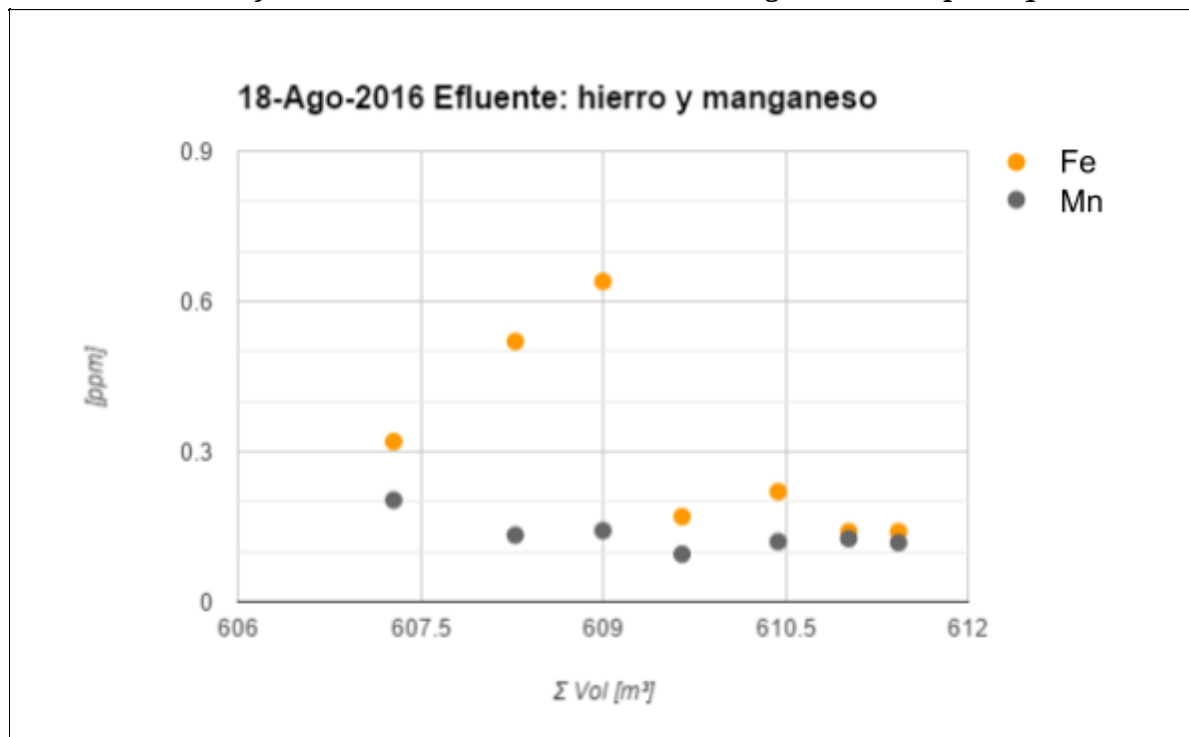
Cuadro #12. Resumen resultados primera prueba a 15 m/h con Aqua Mandix

Fecha	Hora	q (m/h)	Salida				Observaciones
			[Fe]s	Ef (%)	[Mn]s	Ef (%)	
03-Aug	16:00	15	0.22	53	0.041	85	Apenas inicia
04-Aug	12:35	15	0.63	-33	0.162	42	Antes de retrolavado, dato LNA. ID-07607-2016

04-Aug	13:29	15	0.30	36	0.136	51	Después de retrolavado, dato LNA. ID-07608-2016
10-Aug	16:43	15	0.23	51	0.153	45	Antes de retrolavado
10-Aug	17:33	15	0.51	-9	0.219	22	Después de retrolavado
10-Aug	17:42	15	0.40	15	0.219	22	Después de retrolavado
11-Aug	08:11	15	0.12	74	0.048	83	Antes de retrolavado
11-Aug	09:11	15	0.10	79	0.035	88	Después de retrolavado
18-Aug	07:12	15	0.32	32	0.203	28	Antes de retrolavado - sin cloro
18-Aug	09:47	15	0.52	-11	0.133	53	Después de retrol. - sin cloro
18-Aug	10:47	15	0.64	-36	0.142	49	Después de retrolavado
18-Aug	11:47	15	0.17	64	0.095	6	Después de retrolavado
18-Aug	12:55	15	0.22	53	0.120	57	Después de retrolavado
18-Aug	13:47	15	0.14	70	0.126	55	Después de retrolavado
18-Aug	14:45	15	0.14	70	0.118	58	Después de retrolavado
18-Aug	14:45	Fallo del sistema eléctrico					
19-Aug	08:10	15	0.77	-64	0.318	-14	Después de retrolavado
19-Aug	08:51	15	0.48	-2	0.264	6	Después de retrolavado
19-Aug	09:51	15	0.50	-6	0.269	4	Después de retrolavado

En esta etapa de la investigación se decide realizar muestreos en sitio cada hora, después de realizar el retrolavado de la planta piloto en las mañanas. Lo anterior con el fin de conocer el comportamiento del sistema con el transcurso del tiempo; y poder determinar si fuese posible la frecuencia de retrolavado recomendada.

En el siguiente gráfico, se muestra el comportamiento de la prueba realizada el día 18 de agosto y se presenta el volumen de agua tratada versus las concentraciones efluentes de hierro y manganeso. Se puede apreciar que al aumentar la cantidad de agua tratada, aumenta la concentración de hierro en el agua efluente; para el caso del manganeso, la concentración de este metal se mantiene constante al aumentar la cantidad de agua tratada. Puede observarse que los resultados obtenidos para la remoción de hierro no son satisfactorios.

Gráfico #2. Fe y Mn efluentes versus cantidad de agua tratada, para $q=15$ m/h.

Del 02 de setiembre al 09 de setiembre, se vuelve a operar el sistema piloto con una tasa de filtración de 15 m/h. Se procede a realizar mediciones puntuales el día 02 de setiembre y mediciones horarias el día 08 de setiembre y puntuales el 09 de setiembre. Las eficiencias de remoción de la planta para hierro se encontraron en el rango de -62% a 87%. En el caso del manganeso, se obtuvieron eficiencias de remoción del orden de -236% a 85%.

Las eficiencias de remoción negativas de la planta piloto se asocian a posibles fugas de los metales a través del medio filtrante, provocando que parte de los sólidos retenidos se desprendan del material y salgan en el agua efluente. Adicionalmente, se detecta la importancia de realizar el proceso de retrolavado según las indicaciones del fabricante del material filtrante y de realizar una etapa de enjuague adecuada después de cada retrolavado.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados obtenidos para la prueba descrita. El pH del agua se encontró en el rango de 7.10 a 7.19, la

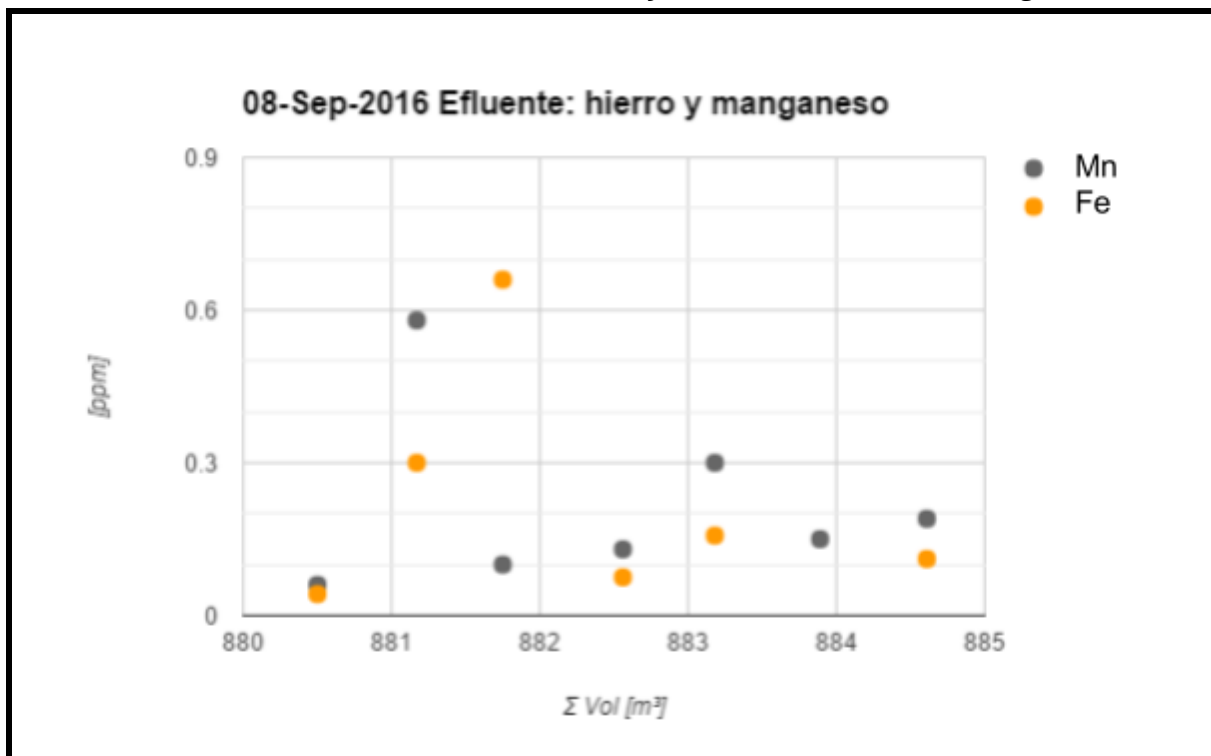
temperatura entre los 26°C y 27°C, la concentración de cloro a la entrada de la planta se encontró cercana a 0.6 ppm y a la salida entre 0.0 y 0.3 ppm.

Cuadro #13. Resumen resultados segunda prueba a 15 m/h con Aqua Mandix

Fecha	Hora	q (m/h)	Salida				Observaciones
			[Fe] s	Ef (%)	[Mn]s	Ef (%)	
02-Sep	08:04	15.0	0.62	-31.91	0.319	-13.93	Después del retrolavado
02-Sep	09:05	15.0	0.32	31.91	0.220	21.43	Después del retrolavado
08-Sep	10:00	15.0	0.06	87.23	0.042	85.00	Después del retrolavado
08-Sep	11:01	15.0	0.58	-23.40	0.300	-7.14	Después del retrolavado
08-Sep	12:03	15.0	0.10	78.72	0.660	-135.71	Después del retrolavado
08-Sep	13:06	15.0	0.13	72.34	0.075	73.21	Después del retrolavado
08-Sep	14:01	15.0	0.30	36.17	0.157	43.93	Después del retrolavado
08-Sep	15:01	15.0	0.15	68.09	0.940	-235.71	Después del retrolavado
08-Sep	16:01	15.0	0.19	59.57	0.111	60.36	Antes de retrolavado
08-Sep	16:35	15.0	0.13	72.34	0.053	81.07	Después del retrolavado
09-Sep	07:00	15.0	0.22	53.19	0.114	59.29	Antes de retrolavado
09-Sep	07:40	15.0	0.24	48.94	0.116	58.57	Después del retrolavado

Respecto a la prueba realizada el día 08 de setiembre, donde se analizaron muestras horarias de agua tratada desde las 10 am hasta las 16:35 pm, se presenta a continuación una gráfica representando los resultados obtenidos.

Gráfico #3. Concentraciones efluentes de Fe y Mn versus cantidad de agua tratada



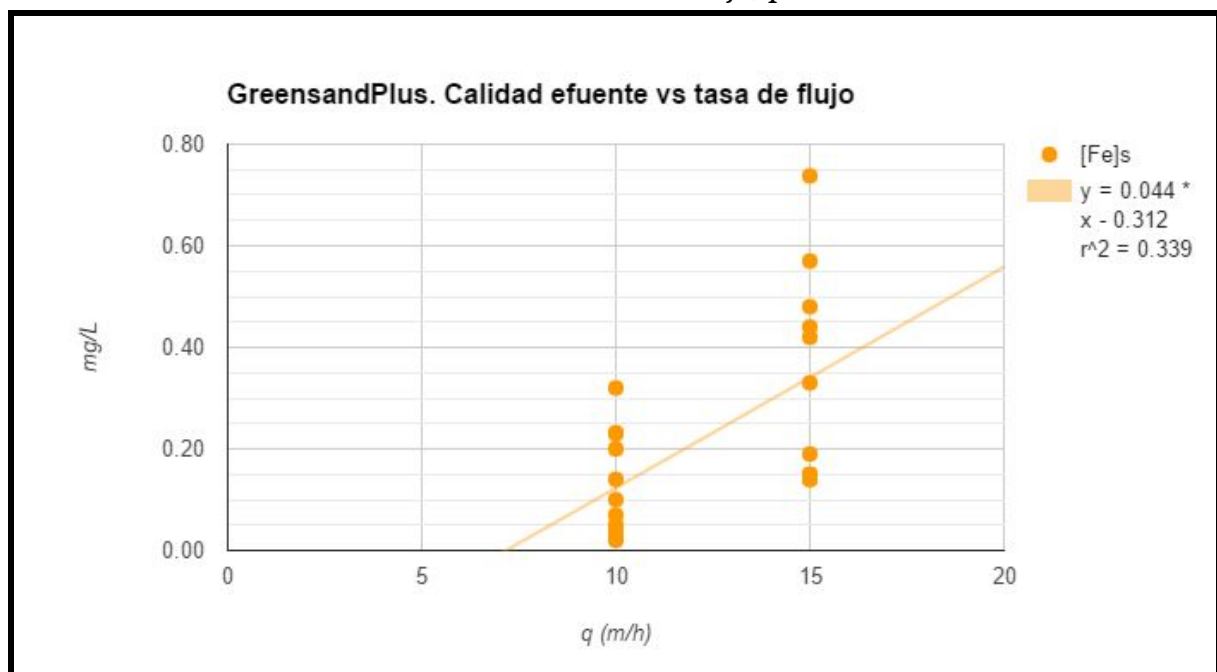
Del gráfico anterior, se observa que en los primeros metros cúbicos de agua tratada después de un retrolavado, el agua efluente presenta concentraciones elevadas para hierro y manganeso. Adicionalmente, para el resto de la prueba, la calidad del agua mejora pero no se obtienen valores aceptables constantes a través del tiempo. Puede interpretarse también que el proceso de retrolavado y enjuague en un sistema para remoción de hierro y manganeso por oxidación y filtración juega un papel muy importante en la calidad del agua efluente obtenida.

5. Selección del material y la tasa de filtración

Del apartado 4, se determina que el material filtrante que genera los mejores resultados para las condiciones de calidad de agua del sitio e hidráulicas del piloto, es el Greensand Plus. Una vez determinado el material con el mejor comportamiento entre los dos evaluados, se debe determinar la tasa de filtración óptima para los requerimientos de calidad de agua establecidos. Para poder obtener este resultado, se procedió a graficar los resultados de calidad de agua efluente para el material Greensand Plus contra las tasas de flujo utilizadas.

En el gráfico #4, se presenta el caso de calidad de agua efluente contra tasa de flujo para el parámetro hierro.

Gráfica #4. Efluente contra tasa de flujo, parámetro hierro

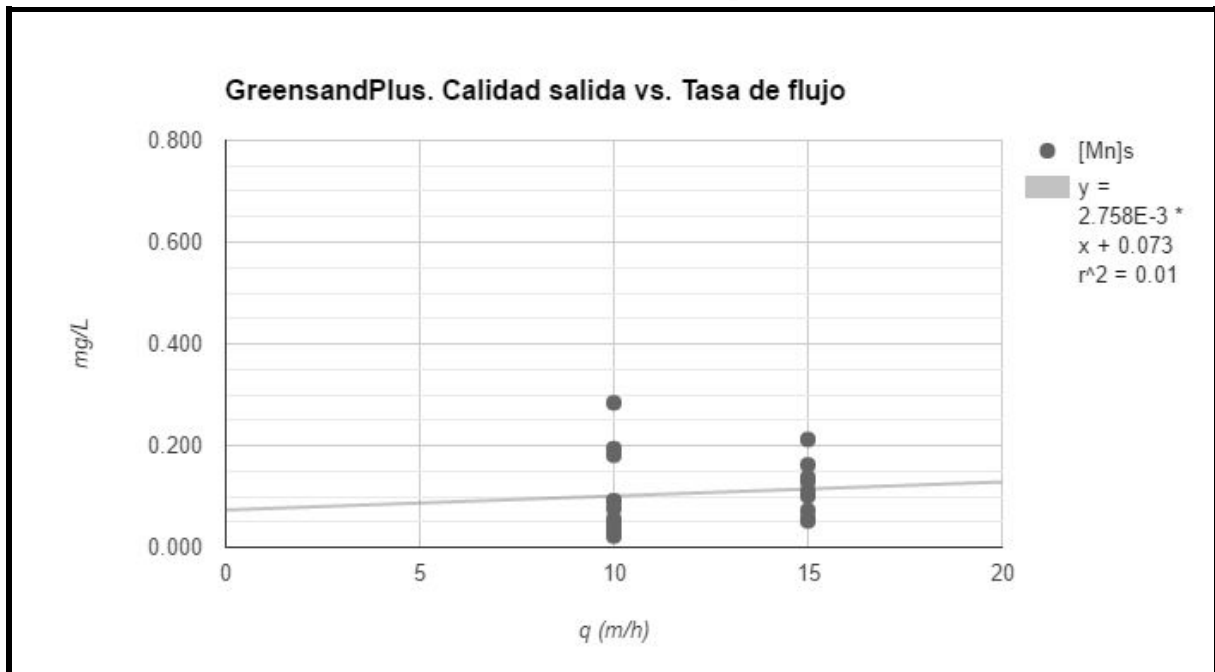


Como puede observarse, el comportamiento de los datos es muy variable. El valor promedio efluente esperado para las tasas de flujo de 10 y 15 m/h es de 0.13 y 0.35

mg/l, respectivamente. Este último valor no cumpliría con lo establecido para el hierro en el RCAP³.

Para el parámetro de manganeso, se procedió de igual manera, se graficó el valor efluente de concentración contra la tasa de flujo aplicada. En el siguiente gráfico se muestran los resultados obtenidos.

Gráfico #5. Efluente contra tasa de flujo, parámetro manganeso



Como puede observarse del gráfico anterior, para una tasas de flujo de 10 y 15 m/h el valor promedio esperado para la concentración de manganeso es de 0.101 y 0.114 mg/l.

Por los resultados obtenidos anteriormente, se recomienda utilizar una tasa de flujo de 10 m/h.

³ Reglamento para la Calidad de Agua. Decreto Ejecutivo 38924-S (2015)

6. Propuesta de pre-diseño

6.1. Sistema de potabilización

Se procede a realizar un prediseño básico del sistema de tratamiento, utilizando el material Greensand Plus y una tasa de flujo de 10 m/h, valores determinados en el apartado anterior. Con el fin de respetar y mantener de manera uniforme las dimensiones de los tanques presurizados ya existentes, se opta por trabajar con tanques presurizados de 1.22 m (48") de diámetro.

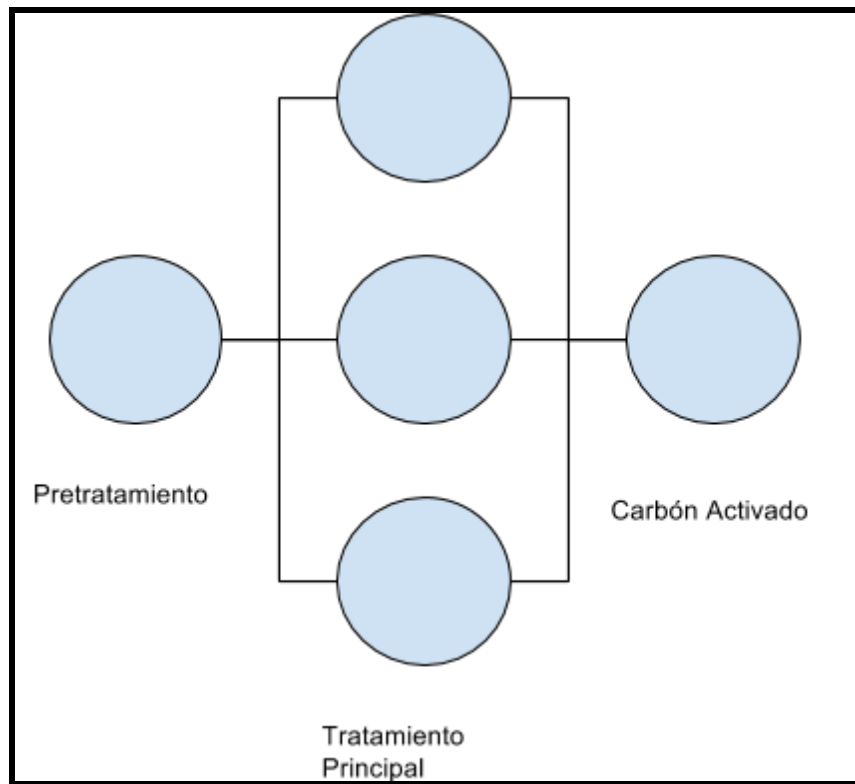
Utilizando la ficha técnica del material Greensand Plus (ver Anexo A), se presentan los siguientes cálculos.

6.1.1. Diámetro de los tanques presurizados

Se debe dimensionar una configuración del sistema de tratamiento, que permita obtener una tasa de filtración de aproximadamente 10 m/h. Como se mencionó anteriormente, se utilizará un diámetro de 1.22 m, para aprovechar los tanques presurizados existentes.

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, se propone utilizar una configuración del mismo de 1:3:1, como se muestra en la siguiente figura. Esta configuración se propone, pues la primera etapa, consistirá en la eliminación de la mayor cantidad de hierro posible, tal y como actualmente funciona el sistema, a una tasa de 30 m/h. La segunda etapa implica el funcionamiento en paralelo de tres tanques presurizados para la remoción de manganeso, a una tasa de 10 m/h y utilizando un material filtrante con contenidos de dióxido de manganeso. Finalmente, se utilizará una etapa de pulido con carbón activado, tal y como existe actualmente, a una tasa de 30 m/h.

Figura #1. Configuración de tratamiento propuesta



Para la verificación de la tasa de filtración a utilizar en el tratamiento principal, se procede de la siguiente manera.

$$Q = v \times A, \text{ ec. 6.1}$$

donde: Q : caudal por tanque presurizado (l/s)
 v : velocidad en m/h
 A : área transversal (m^2)

Para el cálculo del área se utiliza un diámetro (d) de 1.22 m, tal y como se indicó anteriormente.

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 = \frac{3.1415}{4} \times 1.22^2 = 1.17m^2 \quad \text{ec. 6.2}$$

Despejando el valor de velocidad, se obtiene:

$$Q = \frac{10 \times 3.6}{3} = v \times 1.17$$

$$v = \frac{12}{1.17} = 10.3 \text{ m/h}$$

De los cálculos anteriores, se verifica que la tasa de filtración del tratamiento principal cumple con los valores recomendados obtenidos en las pruebas realizadas.

6.1.2. Tiempo de contacto de lecho vacío (EBCT⁴)

Se define una altura de medio filtrante, que cumpla con las recomendaciones del fabricante en la ficha técnica. Se recomienda utilizar en esta etapa, solamente la arena recubierta con dióxido de manganeso, por lo que la misma debe ser superior a los 76 cm. Se selecciona entonces una altura de medio filtrante de 1.2 m.

Para el cálculo del EBCT, se utiliza la siguiente ecuación:

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{ec. 6.3}$$

donde: v: velocidad de filtración (m/h)
 d: altura de medio filtrante (m)
 t: EBCT (min)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se obtiene,

$$10,3 = \frac{1,2}{EBCT}$$

$$EBCT = \frac{1,2}{10,3} = 0,097 \text{ h} = 7 \text{ min}$$

El tiempo de contacto, EBCT, es de 7 min.

6.1.3. Altura de los tanques presurizados

Para el cálculo de la altura de los tanques presurizados, se utilizará una expansión del medio filtrante durante el retrolavado de 40%. Este valor es uno de los parámetros operativos recomendados en la ficha técnica del fabricante (ver Anexo A).

La altura del medio filtrante se expandirá durante el retrolavado, hasta alcanzar el siguiente valor.

$$h_{m. \text{ exp}} = h_{\text{ medio}} + h_{\text{ exp}} \quad \text{ec. 6.4}$$

donde: h_{m.exp}: altura del medio expandido (m)
 h_{medio}: altura del medio (m)
 h_{exp}: altura de expansión (m)

Se obtiene entonces,

⁴ Empty Bed Contact Time

$$h_{m. exp} = 1.2 + 1.2 \times 40\% = 1.68 \text{ m}$$

Del cálculo anterior, se requiere de al menos 1.68 m de altura de tanque, solamente para contener el material filtrante y lo que este se expande en un retrolavado. Sin embargo, los tanques deben poseer una altura adicional donde se ubicará el medio de soporte, las crepinas inferiores y la crepina superior. Las dimensiones exactas deben ser definidas en la etapa de diseño final.

La cantidad de material filtrante (arena recubierta con MnO_2), se obtiene al multiplicar la sección transversal del tanque presurizado por 1.2 m de altura de medio. De los datos anteriores se obtiene un total de aproximadamente 1400 litros de medio por tanque.

6.1.4. Retrolavado y enjuague

Según las recomendaciones de operación encontradas en la ficha técnica del material, específicamente en la gráfica de Expansión del lecho durante el retrolavado (*Bed Expansion During Backwashing*), para una temperatura aproximada de 27°C (80°F) y un porcentaje de expansión del 40%, se requiere de una tasa de retrolavado de 15 gpm/ft² (36.6 m/h).

Para poder realizar los retrolavados de los materiales filtrantes a la tasa de flujo indicada, se requiere realizar la operación por tanque a la vez, es decir, uno a la vez. El caudal necesario para realizar el retrolavado para cada tanque presurizado es el que se obtiene a continuación.

$$Q = v \times A, \quad \text{ec. 6.1}$$

donde: Q: caudal por tanque presurizado (l/s)
 v: velocidad en m/h
 A: área transversal (m²)

$$Q = 36.6 \times 1.17 = 42.82 \text{ m}^3/\text{h} = 11.9 \text{ l/s}$$

Se requiere de aproximadamente un caudal de 12 l/s para realizar el retrolavado de cada uno de los tanques presurizados. Según la ficha técnica del fabricante, se debe realizar esta operación hasta que el agua de residuo esté clara o durante 10 min, lo que ocurra primero.

6.1.4.1. Frecuencia de retrolavado

Según la experiencia práctica desarrollada por los operadores del sistema de potabilización de La Guaria, actualmente, se requieren de dos retrolavados al día. Aprovechando esta experiencia práctica, se propone que el sistema de pretratamiento, se retrolave dos veces al día.

Respecto al sistema de tratamiento para la remoción de manganeso (3 tanques presurizados), utilizando las recomendaciones del fabricante, se puede obtener la frecuencia de retrolavado utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Carga de contaminante (CC)} = 1 \times \text{mg/l Fe} + 2 \times \text{mg/l Mn} \quad \text{ec. 6.5}$$

Para el caso analizado, se supone, que la mayor parte del hierro se remueve en la primer etapa, obteniéndose la siguiente calidad de agua (estimada):

$$\begin{aligned} [\text{Fe}] &: 100 \mu\text{g/l} \\ [\text{Mn}] &: 280 \mu\text{g/l} \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación anterior, se obtiene:

$$CC = 1 \times 0.1 + 2 \times 0.28 = 0.66 \text{ mg/l}$$

Utilizando la siguiente equivalencia:

$$17.1 \text{ mg/l} = 1 \text{ grains/gallon}, \quad \text{ec. 6.6}$$

Se obtiene,

$$CC = 0.66/17.1 = 0.039 \text{ grains/gal}$$

Utilizando una capacidad estimada de 700 grains/ft² para el medio en cuestión, se obtiene la siguiente corrida:

$$\text{Corrida} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Concentración}} = \frac{700}{0.039} = 18158 \text{ gal/ft}^2$$

A una tasa de filtración de 10.3 m/h (4.2 gpm/ft²), se obtiene:

$$\text{Frecuencia, } t = \frac{18158}{4.2} = 4315.9 \text{ min} = 71 \text{ hrs} \quad \text{ec. 6.7}$$

Se recomienda verificar las frecuencias de retrolavado, una vez puesto en operación el sistema de tratamiento. Con el fin de ser conservadores con esta frecuencia de retrolavado, se propone que la misma se realice cada 48 horas y no cada 71 horas.

Las frecuencias de retrolavado estimadas, de cada una de las etapas del sistema potabilizador, se detallan a continuación. Es importante mencionar que estas frecuencias deben ser verificadas y ajustadas en la etapa de operación del sistema.

Cuadro #14. Frecuencias estimadas de retrolavado

Proceso	Frecuencia
Pretratamiento	2 veces al día
Tratamiento	cada 48 hrs
Pulido	cada 48 hrs

6.1.4.2. Volúmenes de retrolavado

Al trabajar con una única tasa de retrolavado de 36.6 m/h y puesto que los diámetros de los tanques presurizados son los mismos, se puede obtener el volumen de agua necesario para realizar un retrolavado de cada tanque, suponiendo que el mismo se realiza durante 10 min (600 s).

$$V = Q \times t = 12 \times 600 = 7200 \text{ l} = 7.2 \text{ m}^3 \quad \text{ec. 6.8}$$

Según las frecuencias establecidas para realizar la operación de retrolavado, se detalla en el siguiente cuadro, los volúmenes y frecuencias de retrolavados en cada etapa de tratamiento.

Cuadro #15. Volúmenes y frecuencias de cada etapa de retrolavado

Etapas	Frecuencia	Volumen/tanque (m ³)
Pretratamiento	2 veces/día	7.21
Tratamiento	1 vez cada 2 días	7.21
Pulido	1 vez cada 2 días	7.21

6.1.4.3. Enjuague

Después de cada retrolavado, se debe realizar una etapa de enjuague de los materiales filtrantes. Según detalla la ficha técnica del fabricante, se debe realizar esta operación a la tasa normal de filtración y durante 3 minutos o hasta que el efluente sea aceptable. Se debe contar un sistema de válvulas que permita desviar

el agua generada en este proceso y pueda ser enviada al sistema de gestión de residuos o si su calidad lo permite a un cuerpo de agua cercano.

$$V_{\text{enjuague}} = v_{\text{filtr.}} \times A \times t \quad \text{ec. 6.9}$$

donde: V_{enjuague} : Volumen de enjuague (m^3)
 $v_{\text{filtr.}}$: Velocidad de filtración (m/h)
 A: área transversal (m^2)
 t: tiempo de enjuague (min)

En el siguiente cuadro, se presentan los volúmenes generados de aguas de enjuague para cada etapa de tratamiento.

Cuadro #16. Volúmenes de aguas de enjuague generadas en cada etapa

Etapa	Velocidad de filtración (m/h)	Volumen de enjuague (m^3)
Pretratamiento	30.8	1.8
Tratamiento (3 tanques)	10.3	1.8
Pulido	30.8	1.8

6.1.4.4. Gestión de residuos

Para la gestión de los residuos, se propone que las aguas de retrolavado sean almacenadas en tolvas para la sedimentación de los sólidos suspendidos sedimentables, los cuales serán luego dispuestos en lechos de secado para su deshidratación. El agua clarificada, será analizada para evaluar la posibilidad de que se pueda recircular al sistema de tratamiento, que deba tratarse adicionalmente o que pueda ser dispuesta en algún cuerpo de agua según los requerimientos de la legislación nacional.

Según los volúmenes y la frecuencia de retrolavado obtenidos, se procede a desarrollar una propuesta para calendarizar dicha actividad. Para obtener este resultado, se parte del hecho que se espera contar con un volumen lo más constante posible de generación de aguas de retrolavado y enjuague; lo anterior para aprovechar de la mejor manera la obras de gestión a desarrollar. En el siguiente cuadro se detallan los volúmenes de aguas residuales generadas y de agua clarificada o de sobrenadante(SN) para cada una de las siguientes etapas:

- E1: etapa de pretratamiento
- E2: etapa de tratamiento principal, 3 tanques: a, b, c.
- E3: etapa de pulido

Cuadro #17. Calendarización de los procesos de retrolavados, volúmenes de aguas de retrolavado y sobrenadante

Fecha	E1	E2a	E2b	E2c	E3	Σ Vol. (m ³)	SN (m ³)
01-ene.	18.02	7.81	7.81			33.64	33.61
02-ene.	18.02			7.81	9.01	34.84	34.80
03-ene.	18.02	7.81	7.81			33.64	33.61
04-ene.	18.02			7.81	9.01	34.84	34.80
05-ene.	18.02	7.81	7.81			33.64	33.61
06-ene.	18.02			7.81	9.01	34.84	34.80
07-ene.	18.02	7.81	7.81			33.64	33.61
08-ene.	18.02			7.81	9.01	34.84	34.80

La diferencia entre el volumen de agua total (Σ Vol. (m³)) y el agua de sobrenadante (SN (m³)), corresponde al volumen de lodo generado y que debe ser enviado a los lechos de secado.

Como puede observarse de la tabla anterior, el volumen de agua generado diariamente en las etapas de retrolavado y enjuague, es de aproximadamente 35 m³ y corresponde al lavado de la etapa de pretratamiento (E1, dos veces al día) y al lavado alternado (una vez cada dos días) de, ya sea dos unidades de tratamiento

principal (E2), o bien una unidad de tratamiento principal (E2) y la unidad de pulido (E3).

Se propone la utilización de 5 tolvas de 7 000 litros de capacidad o cualquier otra combinación de volúmenes y número de tolvas que permitan almacenar los 35 m³ de aguas residuales obtenidas y que operativamente sea ventajoso. A manera de ejemplo en el Anexo C, se presenta un ejemplo de este tipo de tolvas. Se recomienda que las tolvas mencionadas posean al menos las siguientes características:

- Fondo cónico que permite el vaciado total y dosificación de productos
- Material translúcido
- Tapa superior
- No genere color, olor o sabor al producto almacenado
- Certificado NSF 61 o similar para poder ser usado en agua potable

Lechos de secado

Para el dimensionamiento de los lechos de secado, se utiliza el modelo presentado por Veenstra (1999), en el documento titulado *Sludge Management*. En la sección 5.2.3 *Design of sludge drying beds*, se detalla el proceso de cálculo. El modelo en cuestión, representa un balance de masa de la humedad que ingresa al sistema y la que sale. Cabe indicar que el modelo es aplicable, cuando la evaporación domina el tiempo de secado requerido.

La humedad que debe evaporarse por unidad de área, está dada por la siguiente ecuación.

$$q_e = (1 - f_i) \cdot q_i + (1 - f_r) \cdot q_r - q_d \quad \text{ec. 6.10}$$

donde:

- q_e: humedad que debe evaporarse
- q_i: humedad inicialmente presente en el lodo
- q_r: humedad recibida vía lluvia
- q_d: humedad remanente en el lodo
- f_{i,r}: fracciones de q_i y q_r respectivamente, que drenan a través del lecho, por lo que (1 - f) son las fracciones de humedad que permanecen en el lodo

Se supone que todo el hierro y manganeso del agua se va a remover (conservador), teniendo en promedio lo siguiente:

[Fe, µg/l]: 470
[Mn, µg/l]: 280

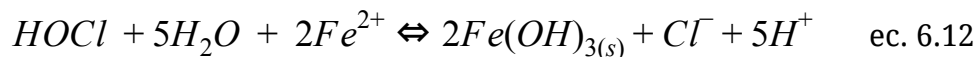
Se procede a calcular el flujo de masa (F) de hierro y manganeso que se remueve por hora, según su concentración (C).

$$F = Q \times C \quad \text{ec. 6.11}$$

$$F_{Fe} = Q \times [Fe] = 10 \text{ l/s} \times 470 \text{ } \mu\text{g/l} = 16.9 \text{ g/h}$$

$$F_{Mn} = Q \times [Mn] = 10 \text{ l/s} \times 280 \text{ } \mu\text{g/l} = 10.1 \text{ g/h}$$

Para la oxidación del hierro y manganeso utilizando cloro, se presentan las siguiente reacciones de oxidación (EPA, 2006):



Como por cada dos moles de hierro se producen dos moles de hidróxido de hierro (III) y por cada mol de manganeso se obtiene un mol de dióxido de manganeso, se puede obtener la cantidad de óxidos generados de la siguiente manera.

$$W_{molec. Fe} = 55.9 \text{ g/mol}$$

$$W_{molec. Mn} = 54.9 \text{ g/mol}$$

$$W_{molec. Fe(OH)_3} = 106.9 \text{ g/mol}$$

$$W_{molec. MnO_2} = 86.9 \text{ g/mol}$$

Por lo anterior, se procede a calcular los flujos máxicos de los óxidos de hierro y manganeso producidos.

$$F_{Fe(OH)_3} = F_{Fe} \times \frac{W_{molec. Fe(OH)_3}}{W_{molec. Fe}} = 16.9 \times \frac{106.9}{55.9} = 32.4 \text{ g/h} \quad \text{ec. 6.14}$$

$$F_{MnO_2} = F_{Mn} \times \frac{W_{molec. MnO_2}}{W_{molec. Mn}} = 10.1 \times \frac{86.9}{54.9} = 16.0 \text{ g/h}$$

Adicionalmente, se supone una concentración de sólidos suspendidos totales de 1 mg/l, que genera el siguiente flujo máxico.

$$F_{TSS} = Q \times TSS = 10 \text{ l/s} \times 1 \text{ mg/l} = 36 \text{ g/h} \quad \text{ec. 6.15}$$

El flujo máxico total de sólidos secos (DS) es de:

$$S = 32.4 + 16 + 36 = 84.4 \text{ g/h} \quad \text{ec. 6.14}$$

La producción de sólidos secos por año, sería la siguiente:

$$S = 84.4 \text{ g/h} = 739,344 \text{ kg/d}$$

Se supone que el agua sedimentada, posee una concentración de 6% de sólidos secos, como si fuese lodo primario (tabla #14.8, Tchobanoglous et al, 2003). Adicionalmente, se define que la concentración de sólidos secos después de la evaporación es de 30%.

La producción de lodos por año, se calcula de la siguiente manera:

$$Q_s = \frac{S}{6\%} = \frac{739.344}{6\%} = 12\,319 \text{ kg/año} \quad \text{ec. 6.15}$$

Se utilizan los siguientes valores para las fracciones que drenan del lecho (Veenstra, 1999) .

$$f_i = 76\%$$

$$f_r = 73\%$$

$$f_e = 60\%$$

La altura de lodo aplicada al lecho se supone en 200 mm, lo que representa 200 kg/m².

Con los datos anteriores obtenemos:

$$q_i = 200 \text{ kg/m}^2 \times (1 - 6\%) = 188 \text{ kg/m}^2 \quad \text{ec. 6.16}$$

Para obtener la humedad remanente en el lodo después del secado, se procede de la siguiente manera.

$$SS = 6\% \times 200 \text{ kg/m}^2 = 12 \text{ kg/m}^2$$

Este valor será un 30% una vez seco el lodo, por lo que:

$$\frac{SS}{30\%} = \text{total de lodo} = 40 \text{ kg/m}^2$$

De este último valor, un 70% corresponde a la humedad remanente en el lodo.

$$40 \text{ kg/m}^2 \times 70\% = q_d = 28 \text{ kg/m}^2$$

Mediante el modelo de deshidratación de Veenstra (1999), y considerando que los lechos serán techados ($q_r = 0$) obtenemos la humedad que debe evaporarse:

$$q_e = (1 - f_i) \times q_i + (1 - f_r) \times q_r - q_d \quad \text{ec. 6.10}$$

$$q_e = (1 - 76\%) \times 188 - 28 = 17.1 \text{ kg/m}^2$$

Para obtener el tiempo de secado, se aplica la siguiente ecuación:

$$T = \frac{q_e}{f_e \times E_w} \quad \text{ec. 6.17}$$

donde: q_e : humedad que debe evaporarse
 f_e : factor de reducción de la evaporación
 E_w : tasa de evaporación

La tasa de evaporación (E_w), se obtiene de un estudio del IMN, se utiliza un valor promedio para el país de 3.2 mm/día. El factor de reducción (f_e), se utiliza como 60% (Tchobanoglous et al, 2003).

$$T = \frac{q_e}{f_e \times E_w} = \frac{17.1}{0.6 \times 3.2} = 9 \text{ días}$$

Dimensiones de los lechos de secado

Según Tchobanoglous (2003), en la tabla 14-44 para un tipo de lodo primario y químicamente precipitado que ha sido digerido previamente, se utiliza una tasa de carga de sólidos (*sludge loading rate*, $\text{kg DS/m}^2/\text{yr}$) que se encuentra entre 100 y 160 (kg sólidos secos / $\text{m}^2 \cdot \text{año}$).

La producción de sólidos secos por año, se obtuvo anteriormente con el siguiente valor:

$$S = 739,344 \text{ kg/d}$$

Al utilizar los dos datos máximos y mínimos del rango mencionado, se obtiene un área necesaria para los mismos, que se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro #18. Áreas para lechos de secado

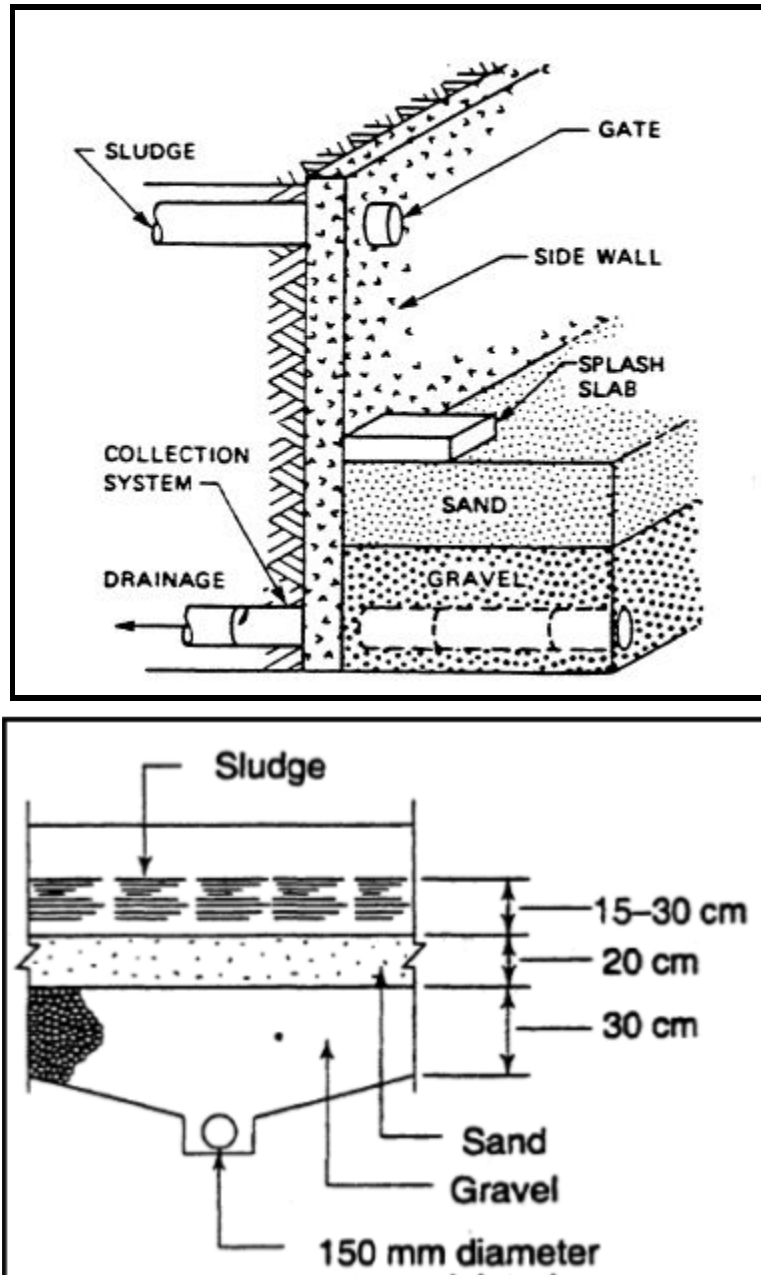
SLR ($\text{kg/m}^2/\text{año}$)	100	160
Área (m^2)	7.39	4.62

Se propone la utilización de lechos de secado con divisiones (celdas) que permitan, simultánea y separadamente, la aplicación de lodos frescos y el secado del lodo. Considerando bloques de concreto de dimensiones típicas (0.40 x 0.20 x 0.15 m), y con el fin de optimizar el uso de la mampostería, se propone utilizar celdas modulares con superficie útil de 0.81 m^2 . Esta superficie resulta de utilizar hiladas

de tres bloques de longitud, tanto a lo ancho como a lo largo. Cada una de estas celdas tendría una capacidad de 0.16 m^3 (altura útil: 0.2 m).

Se selecciona utilizar 6 secciones de 0.81 m^2 para los lechos de secado, esto genera un área total de 4.86 m^2 , lo cual estaría dentro de lo recomendado por la literatura. Se recomienda que la altura útil del lecho de secado para esparcir el lodo debe ser de entre 15 y 30 cm. La capa de arena, deberá ser de 20 cm de espesor y estar soportada por una capa de grava de aproximadamente 30 cm. A través de la capa de grava, se debe colocar un tubo de drenaje de 15 cm de diámetro, con una pendiente de 1 en 150 hacia el caja de recolección de percolado. En la siguiente figura se presenta un detalle de la sección transversal típica de un lecho de secado.

Figura #2. Detalle sección transversal lecho de secado. Tomado de: Veenstra (1999)



7. Presupuesto Preliminar

Se procedió a realizar un estimado de los costos de los componentes principales del sistema de tratamiento, los cuales incluyen equipamiento y accesorios para las etapas de tratamiento principal y gestión de residuos. No incluye obras civiles, como las estructuras soporte de las tolvas de sedimentación. En el siguiente cuadro se desglosan estos costos.

Cuadro #19. Estimación de costos de las mejoras a la planta potabilizadora

#	Rubro	Unidades	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)	Fuente
1	Tanque presurizado (48"x72")	unidad	3	\$20,400	\$61,200	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
2	Colector en Acero Inox	unidad	1	\$20,000	\$20,000	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
3	Crepinas Inferiores	unidad	1	\$800	\$800	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
4	Crepina superior	unidad	1	\$300	\$300	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
5	Medio para remoción (etapa tratamiento principal)	bolsa 1 ft3	156	\$226	\$35,256	Cotización Limón
7	Grava de soporte	bolsa 1/2 ft3	99	\$85.00	\$8,415	Estimado
8	Válvulas de bypass	unidad	1	\$600	\$600	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
9	Válvula Mariposa	unidad	12	\$200	\$2,400	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
10	Válvulas de aire	unidad	3	\$150	\$450	Ofertas Bagaces P Turbina - p28
11	Manómetros	unidad	10	\$43	\$429	Estimado
12	Tolvas sedimentación 7000 L	unidad	5	\$1,700	\$8,500	Rotoplas
13	Lechos de secado	unidad	1	\$2,500	\$2,500	Estimado
14	Tubería PVC, pintura y otros accesorios	10% del subtotal	-	\$4,520	\$12,985	Supuesto
				TOTAL (dólares)	\$153,835	
				Tipo de cambio (col/\$)	555	
				TOTAL (colones)	¢85,378,669	

Es importante destacar que estos datos representan una estimación preliminar de costos de los componentes principales del sistema; el presupuesto detallado debe obtenerse luego de contar con el diseño definitivo.

8. Subproductos de la Desinfección

Como se detalló en el documento “Diagnóstico Preliminar Sistema de Potabilización La Guaria”, se realizó un análisis de Carbono Orgánico Total (COT), Carbono Orgánico Disuelto (COD) y de Absorbancia Específica de UV (SUVA) como parte de los trabajos de investigación preliminares para determinar la presencia y concentraciones de algunos Subproductos de la Desinfección (DBPs), como los trihalometanos (THM).

En el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos:

Cuadro #20. Resultados de COT y SUVA del agua cruda del pozo de La Guaria

Muestra	COT (mg/l)	DOC (mg/l)	SUVA (L/(mg-m))
La Guaria	0.42 ± 0.04	0.62 ± 0.04	1.08 ± 0.07

Como se había mencionado, siendo el SUVA menor a 2, podría inferirse que es posible que una alta fracción de la materia orgánica sea hidrofílica no húmica, con baja absorbancia UV, baja demanda de cloro y al ser el valor de COT < a 2.0 mg/l, existe un bajo potencial de formación de THM (Office of Environmental Enforcement).

Como parte de los trabajos realizados, se procedió a identificar un laboratorio que pudiera realizar las determinaciones de algunos de los Subproductos de la Desinfección. En la búsqueda realizada, se contactó al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional. Se le solicitó realizar una cotización por las determinaciones de algunos compuestos específicos. En el Anexo D, se presenta el detalle de la cotización enviada por la Universidad Nacional. El Laboratorio de Análisis Ambiental, indicó que los compuestos que pueden analizar son:

1. Bromoformo
2. Dibromoclorometano
3. Bromodiclorometano
4. Cloroformo

Según el Laboratorio de Análisis Ambiental de la UNA, se recomienda realizar el muestreo en al menos 4 sitios definidos de red (véase el Anexo D). Respecto al costo de los muestreos, en la oferta (Anexo D) presentada, se indican los rubros y costos asociados.

Aún y cuando los valores de SUVA y COT indican que existe un bajo potencial de formación de THM, se recomienda realizar los análisis específicos estos compuestos,

para determinar efectivamente su concentración y la necesidad de optimizar el sistema de tratamiento en cuanto a este aspecto.

9. Conclusiones y recomendaciones

1. Se recomienda realizar un lavado completo del sistema de conducción, almacenamiento y distribución de agua potable de La Guaria, con el fin de eliminar los óxidos de hierro y manganeso acumulados en el acueducto. La frecuencia de esta labor debe ser determinada por el área operativa según los requerimientos de calidad y la experiencia del operador.
2. Se recomienda elaborar el Manual de Operación y Mantenimiento del sistema de tratamiento. Este documento deberá ser ampliamente conocido por todos los operadores del sistema La Guaria, y una copia deberá permanecer en la planta potabilizadora para su consulta detallada.
3. Se recomienda desarrollar un programa de mantenimiento preventivo del sistema potabilizador que incluya la revisión de las crepinas, el material filtrante, manómetros, dosificadores, medidores de caudal y cualquier otro que se considere necesario.
4. Se recomienda la implementación de una bitácora para el registro diario de los principales parámetros, maniobras y sucesos operativos. Este documento deberá permanecer en la planta potabilizadora. También puede pensarse en un sistema digital de registro (hoja de cálculo, cliente de captura y consulta, servicio en la nube, etc.), ya sea a través de una computadora instalada en sitio o bien aparato(s) móvil(es), como teléfonos inteligentes, tabletas, etc. En este caso, deberá asegurarse el acceso permanente a él por parte del personal operativo, tanto para entrada de datos, como para consulta. Se debe monitorear en sitio al menos los siguientes parámetros: presiones de entrada y salida del sistema, caudal, pre-cloración (dosificación de cloro, ORP y/o cloro libre), cloro residual, pH, hierro, manganeso, y cualquier otro que se considere necesario para el buen funcionamiento del sistema.
5. Se recomienda la adquisición del equipo necesario para la medición de los parámetros detallados en el punto anterior y la capacitación en su uso para el personal operativo del sistema potabilizador. Es importante destacar que se deben estudiar las hojas de seguridad de los reactivos químicos para los análisis de agua y se debe dotar de equipo de seguridad a los operadores para realizar las pruebas respectivas. La disposición de los residuos sólidos y líquidos generados de las pruebas, debe realizarse según las regulaciones del país y lo indicado en las hojas de seguridad de los reactivos.
6. Se recomienda la configuración de tratamiento propuesta: pretratamiento con un tanque presurizado con el material seleccionado, tratamiento con tres tanques presurizados en paralelo y el material seleccionado y finalmente el

postratamiento con un tanque presurizado con carbón activado granular, según se detalla en el apartado 6. El diseño definitivo del sistema potabilizador debe basarse en las recomendaciones detalladas en la sección 6.

7. Se recomiendan las frecuencias de retrolavado indicadas en el apartado 6, además; se debe incluir la etapa de enjuague del medio filtrante después de cada retrolavado y antes de enviar el agua al tanque de almacenamiento. Las frecuencias de retrolavado deberán validarse y ajustarse durante la operación del sistema.
8. Se recomienda realizar las obras de gestión de residuos detalladas en el apartado 6.1.4.4, que incluyen las tolvas de sedimentación y los lechos de secado.
9. El presupuesto preliminar es de aproximadamente US\$154 mil. Este valor sólo incluye las obras detalladas en el apartado 7, y deberá adecuarse una vez realizado el diseño final.
10. Los tanques presurizados deben estar diseñados para soportar una presión superior a la de trabajo y deberán contar con las aberturas (manholes) y dimensiones adecuadas de las mismas para minimizar la complejidad de la tarea de reemplazo de materiales filtrantes. Adicionalmente, en el diseño definitivo se debe valorar la inclusión de un rebombeo con el fin de minimizar las presiones de trabajo, ya que las actuales son elevadas.
11. La caseta operativa deberá contar con las dimensiones adecuadas para la correcta operación del sistema potabilizador. Debe existir una altura suficiente para las maniobras de carga y descarga de los materiales a los tanques presurizados.
12. Se recomienda realizar las pruebas de calidad indicadas en el apartado 8. Subproductos de la Desinfección, con el fin de definir si se requieren modificaciones adicionales al proceso de tratamiento. Los resultados de estas pruebas, también permitirán definir si el paso de postratamiento existente (carbón activado) es necesario.
13. Se recomienda realizar una evaluación del material existente, contenido en el tanque de postratamiento (carbón activado), con el fin de determinar su capacidad adsorbente residual.

10. Referencias

- Crittenden, J. C., Montgomery Watson Harza, & Wiley InterScience. (2012). *MWH's water treatment principles and design*. Hoboken, N.J.: John Wiley and Sons.
- Earth Tech, Inc. (2007). *Pilot Study Report. Iron and Manganese Removal Well N°8 and Well N° 20. Dennis Water District*. www.inversand.com/wordpress/files/pilot.pdf
- Hoffman, G., Lytle D., Sorg T, Chen A, Wang L. *Design Manual. Removal of Arsenic from Drinking Water Supplies by Iron Removal Process*. U.S. Environmental Protection Agency.
- MINSA (2015). *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. Decreto Ejecutivo 38924-S. Publicado por la Imprenta Nacional en el Diario Oficial La Gaceta N° 170 del 01-sep-2015.
- MINAET (2007). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*. Decreto Ejecutivo 33601-S-MINAE. Publicado por la Imprenta Nacional en el Diario Oficial La Gaceta N° 55 del 19-abr-2007.
- Office of Environmental Enforcement. *EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products*. Advice Note No. 4. Version 2. Desinfection By-Products in Drinking Water.
- Ramirez, P. (1982). Estudio Meteorológico de los Veranillos en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Meteorológico Nacional.
- Tchobanoglous, G. Burton, F. Stensel, D. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. Fourth Edition. Metcalf & Eddy, Inc.
- Turbina (2014). “*Modificación unilateral para Acueducto de la ciudad de Bagaces*”. Oferta para Contratación Directa Autorizada #2013CDA-00002-PRA. “*Diseño, suministro, puesta en marcha, operación y transferencia tecnológica de sistemas de remoción de arsénico para acueductos situados en las provincias de Guanacaste y Alajuela*”. 12 de agosto de 2014.
- Veenstra, S. (1999). *Sludge Management*. Lecture Notes.
- World Health Organization (2011). *Guidelines for Drinking - Water Quality*. Fourth Edition. Geneva, Suiza. WHO.

11. Anexos

11.1. Anexo A.



Inversand Company
SINCE 1988

226 Atlantic Avenue, P.O. 650 • Clayton, NJ 08312
 Phone 856-881-2345 Fax 856-881-6859
 Email: info@inversand.com • www.inversand.com

GREENSANDPLUS™ TECHNICAL DATA

GREENSAND^{plus}™

Performance Media for Water Filtration

Removes iron, manganese, hydrogen sulfide, arsenic and radium.

GreensandPlus™ is a black filter media used for removing soluble iron, manganese, hydrogen sulfide, arsenic and radium from groundwater supplies.

The manganese dioxide coated surface of GreensandPlus acts as a catalyst in the oxidation reduction reaction of iron and manganese.

The silica sand core of GreensandPlus allows it to withstand waters that are low in silica, TDS and hardness without breakdown.

GreensandPlus is effective at higher operating temperatures and higher differential pressures than standard manganese greensand. Tolerance to higher differential pressure can provide for longer run times between backwashes and a greater margin of safety.

Systems may be designed using either vertical or horizontal pressure filters, as well as gravity filters.

GreensandPlus is a proven technology for iron, manganese, hydrogen sulfide, arsenic and radium removal. Unlike other media, there is no need for

extensive preconditioning of filter media or lengthy startup periods during which required water quality may not be met.

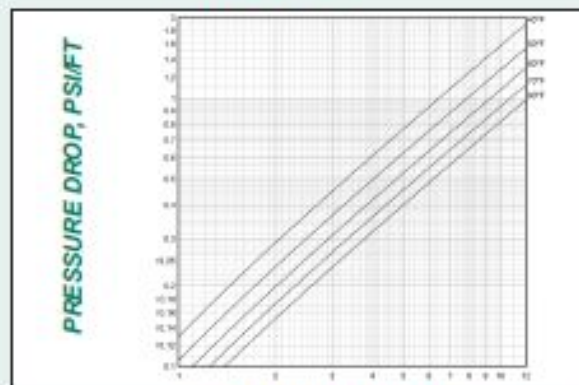
GreensandPlus is an exact replacement for manganese greensand. It can be used in CO or IR applications and requires no changes in backwash rate or times or chemical feeds.

GreensandPlus has the WQA Gold Seal Certification for compliance with NSF/ANSI 61.

REACH Registration
01-2119452801-43-0020
for import to the EU.

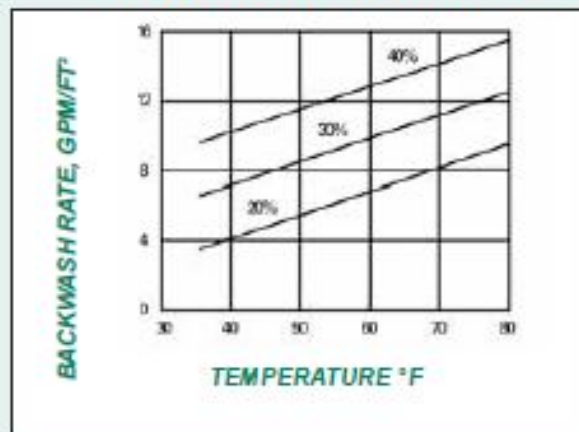
Packaging is available in 1/2 cubic foot bags or 1 metric ton (2,205 lbs) bulk sacks.

GREENSANDPLUS PRESSURE DROP (CLEAN BED)



FLOW RATE (GPM/FT²)

BED EXPANSION DURING BACKWASHING



BACKWASH RATE, GPM/FT²

TEMPERATURE °F

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Physical Form

Black, nodular granules shipped in a dry form

Apparent Density

88 pounds per cubic foot net (1410.28 kg/m³)

Shipping Weight

90 pounds per cubic foot gross (1442.31 kg/m³)

Specific Gravity

Approximately 2.4

Porosity

Approximately 0.45

Screen Grading (dry)

18 X 60 mesh

Effective Size

0.30 to 0.35 mm

Uniformity Coefficient

Less than 1.60

pH Range

8.2-8.5 (see General Notes)

Maximum Temperature

No limit

Backwash Rate

Minimum 12 gpm/sq. ft. at 55°F (29.4 m/hr @ 12.78°C) (see expansion chart)

Service Flow Rate

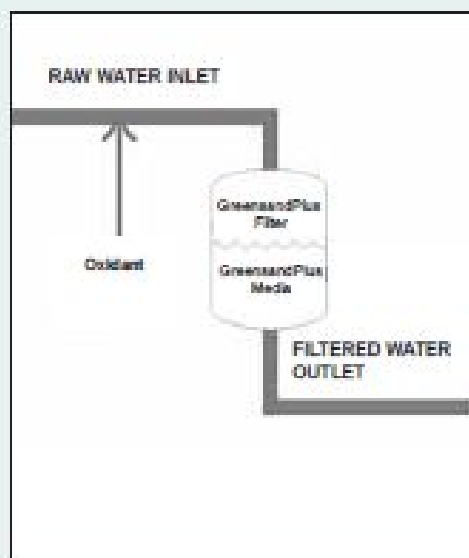
2 -12 gpm/sq. ft (4.9m/hr - 29.4 m/hr)

Minimum Bed Depth

15 inches (381 mm) of each media for dual media beds or 30 inches minimum (762 mm) of GreensandPlus alone.

METHOD OF OPERATION CO

GreensandPlus: Catalytic Oxidation (CO)



Catalytic Oxidation (CO) operation is recommended in applications where iron removal is the main objective in well waters with or without the presence of manganese. This method involves the feeding of a predetermined amount of chlorine (Cl₂) or other strong oxidant directly to the raw water before the GreensandPlus Filter.

Chlorine should be fed at least 10-20 seconds upstream of the filter, or as far upstream of the filter as possible to insure adequate contact time. A free chlorine residual carried through the filter will maintain GreensandPlus in a continuously regenerated condition.

For operation using chlorine, the demand can be estimated as follows:

$$\text{mg/L Cl}_2 = (1 \times \text{mg/L Fe}) + (3 \times \text{mg/L Mn}) + (8 \times \text{mg/L H}_2\text{S}) + (8 \times \text{mg/L NH}_3)$$

SUGGESTED OPERATING CONDITIONS

Bed Type

Dual media: anthracite 15-18 in. (381 mm - 457 mm) and GreensandPlus 15-24 in. (381 mm - 610 mm)

Capacity

700-1200 grains of oxidized iron and manganese/sq.ft. of bed area based on oxidant demand and operation to iron break through or dp limitations.

Backwash

Sufficient rate using treated water to produce 40% bed expansion until waste water is clear, or for 10 minutes, whichever occurs first.

Air/Water Scour

Optional using 0.8-2.0 cfm/sq. ft. (15 m/hr - 7 m/hr) with a simultaneous treated water backwash at 4.0-4.5 gpm/sq. ft. (9.8 m/hr - 11.03 m/hr).

Raw Water Rinse

At normal service flow rate for 3 minutes or until effluent is acceptable.

Flow Rate

Recommended flow rates with CO operation are 2-12 gpm/sq. ft. (4.9 m/hr - 29.4 m/hr). High concentrations of iron and manganese usually require lower flow rates for equivalent run lengths. Higher flow rates can be considered with very low concentrations of iron and manganese. For optimizing design parameters, pilot plant testing is recommended. The run length between backwashes can be estimated as follows:

What is the run length for a water containing 1.7 mg/L iron and 0.3 mg/L manganese at a 4 gpm/sq. ft. service rate:

Contaminant loading

$$\begin{aligned} &= (1 \times \text{mg/L Fe}) + (2 \times \text{mg/L Mn}) \\ &= (1 \times 1.7) + (2 \times 0.3) \\ &= (2.3 \text{ mg/L or } 2.3/17.1 = 0.13 \\ &\quad \text{grains/gal. (gpg)}) \end{aligned}$$

At 1,200 grains / sq. ft. loading \div 0.13 gpg = 9,230 gal./sq. ft.

At 4 gpm / sq. ft. service rate $9,230/4 = 2,307$ min.

The backwash frequency is approximately every 32-38 hours of actual operation.

The Intermittent regeneration (IR) operation is available for certain applications. Contact your Inversand representative for additional information.

GENERAL NOTES

pH

Raw waters having natural pH of 6.2 or above can be filtered through GreensandPlus without pH correction. Raw waters with a pH lower than 6.2 should be pH-corrected to 6.5-6.8 before filtration. Additional alkali should be added following the filters if a pH higher than 6.5-6.8 is desired in the treated water. This prevents the possible adverse reaction and formation of a colloidal precipitate that sometimes occurs with iron and alkali at a pH above 6.8.

Initial Conditioning of GreensandPlus

GreensandPlus media must be backwashed prior to adding the anthracite cap. The GreensandPlus backwash rate must be a minimum of 12 gpm/sq. ft. @ 55°F.

After backwashing is complete, the GreensandPlus must be conditioned. Mix 0.5 gal. (1.9 L) of 6% household bleach or 0.2 gal (0.75 L) of 12% sodium hypochlorite for

Initial Conditioning of GreensandPlus

every 1 cu. ft. (28.3 L cu. m) of GreensandPlus into 6.5 gallons (25 L) of water.

Drain the filter enough to add the diluted chlorine mix. Apply the diluted chlorine to the filter being sure to allow the solution to contact the GreensandPlus media. Let soak for a minimum of 4 hours, then rinse to waste until the "free" chlorine residual is less than 0.2 mg/L. The GreensandPlus is now ready for service.

REFERENCES

USA

- American Water Company, CA
- San Jacinto, CA
- City of Tallahassee, FL
- Adedge Technologies, Inc., Buford, GA
- City of Mason City, IL
- City of Goshen, IN
- City of Hutchinson, KS
- City of Burlington, MA
- Dedham Water Co., MA
- Raynham Center, MA
- Northbrook Farms, MD
- Sykesville, MD
- Tonka Equipment Company, Plymouth, MN
- City of New Bern, NC
- Onslow County, NC
- Hungerford & Terry, Inc., Clayton, NJ
- Fort Dix, NJ
- Jackson Twsp. MUA, NJ

Radium and Arsenic Removal Using GreensandPlus

The GreensandPlus CO process has been found to be successful in removing radium and arsenic from well water. This occurs via adsorption onto the manganese and/or iron precipitates that are formed. For radium removal, soluble manganese must be present in or added to the raw water for removal to occur. Arsenic removal requires iron to be present in or added to the raw water to accomplish removal. Pilot plant testing is recommended in either case.

USA

- Churchill County, NV
- Suffolk County Water Authority, NY
- City of Urbana, OH
- Roberts Filter Group, Darby, PA

International

- Watergroup, Saskatoon, SK Canada
- BI Pure Water, Surrey, BC Canada
- Sydney, Nova Scotia, Canada
- PT Beta Pramesta, Jakarta, Indonesia
- PT Beeflo Prima, Jakarta, Indonesia
- Eurotrol, Milanese, Italy
- Gargon Industrial, Mexico City, Mexico
- River Sands Pty. Ltd., Queensland, Australia
- Filtration Tech, Auckland, New Zealand
- Alamo Water Poland, Izabeln, Poland
- Aquatrol Company, Moscow, Russia
- Impulse Group, St. Petersburg, Russia
- Brenntag Nordic, Taby, Sweden
- EcoFilter Technology, Liechtenstein



The manufacturing of GreensandPlus is an ongoing, 24/7 process to ensure the highest quality water treatment media.

REACH Registration
01-2119452901-43-0020
for import to the EU.

Distributed by:



Inversand Company

226 Atlantic Avenue • P.O. Box 650
Clayton, NJ 08312 USA
T: 856-881-2345 • F: 856-881-6859

E: info@inversand.com • www.inversand.com

Disclaimer: The information and recommendations in this publication are true and reliable to the best of our knowledge. These recommendations are offered in good faith but without warranty or liability for consequential damage as conditions and method of use of our products are varied and beyond our control. We suggest the user determine the suitability and performance of our products before they are adopted on a commercial scale.

11.2. Anexo B



BETAQUÍMICA, S.A.

Especificación Técnica-MTDS

Revisión:1 Fecha: 00.00.00

Paginas: 1/4

Documento5

AQUA MANDIX DISEÑO

AQUA-MANDIX: PARÁMETROS DE DISEÑO

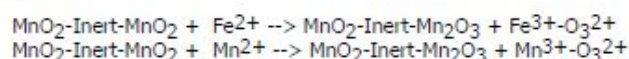
- **Funcionamiento**

AQUA-MANDIX es un dióxido de manganeso MnO_2 con una concentración del 75-80%. La presencia del oxígeno en el producto soporta la eliminación de Fe y Mn de forma catalítica.

En general, AQUA-MANDIX se adiciona en la superficie de los filtros de arena. Debido a la elevada densidad del producto, mayor que la arena filtrante, este penetra dentro de los filtros situándose, al cabo de aproximadamente 3-4 lavados, en una franja entre los 500-700 mm de profundidad. Esta operativa estratifica el lecho en 3 diferentes zonas:

- una primera capa de arena filtrante,
- una segunda capa de AQUA-MANDIX,
- una tercera de arena.

La primera capa de arena tiene como función retener las partículas y flocos, donde se elimina parte de Fe. La capa de AQUA-MANDIX, libre de contaminación de partículas, se mantiene activa para realizar la acción catalítica y retener así el Fe y Mn.



La tercera capa de arena garantiza el pulido final del efluente.

El Fe^{3+} y el Mn^{3+} queden retenidos en la superficie del AQUAMANDIX compartiendo átomos de O del mismo AQUAMANDIX y posiblemente del O_2 disuelto del agua (esta segunda reacción es la que tiene lugar en la deposición/oxidación del Fe en medios filtrantes no activos). El Mn_2O_3 formado es insoluble. Debido a esta operativa la eliminación máxima de Fe y Mn, en especial de Mn, no se logra hasta un cierto número de horas de funcionamiento que justifiquen los 3 contra lavados del filtro.

- **Comportamiento hidráulico**

AQUA-MANDIX de granulometría 0,5-1,0 mm por su densidad se comporta hidráulicamente como la AQUA-SAND de 0,4-0,8 mm.

Es importante ajustar el corte granulométrico de la arena filtrante al estándar de AQUA-SAND 0,4-0,8 mm ó 0,7-1,2 mm para garantizar el funcionamiento descrito.

Esta información es sólo orientativa. BETAQUÍMICA, S.A. no garantiza resultados ni asume responsabilidad en caso de patentes o aplicaciones legalmente autorizadas.



BETAQUÍMICA, S.A.

Rambla Jaume Sabat 4, 2ª Planta

08172 Sant Cugat del Vallés

Barcelona – Spain

Tel. + 34 93 589 1242

Fax. + 34 93 589 2888

Web: www.betaquimica.com

**Especificación Técnica-MTDS**

Revisión:1 Fecha: 00.00.00

Paginas: 2/4

*Documento5***- Puesta en marcha**

AQUA-MANDIX contiene un cierto porcentaje de polvo que no puede ser eliminado en el proceso de producción. Para eliminar este polvo antes de su entrada en funcionamiento se recomienda lavar el producto antes de introducirlo en el filtro o bien realizar en lavado a contracorriente del filtro de arena con AQUA-MANDIX durante 30 minutos a una velocidad de 25 m/h.

- Regeneración

AQUA-MANDIX no necesita ser regenerado debido a su elevada pureza y a su funcionamiento catalítico. Al realizar el lavado contracorriente queda por así decirlo "regenerado" por la combinación siguientes mecanismos:

- El contra lavado de agua aporta O₂ disuelto que sustituye los grupos O₃ compartidos del AQUAMANDIX.
- También hay algún efecto menor de regeneración que pueden producir algunos óxidos retenidos en el mismo AQUAMANDIX o en los granos de arena adyacentes.

- Capacidad

La capacidad de retención del AQUA-MANDIX es función del volumen del material. Una estimación realista de la capacidad de eliminación es de 1 a 2 kg de Fe y Mn por m³ de AQUA-MANDIX.

Existen condicionantes (turbidez elevada, cloro libre, amoníaco, H₂S, etc.) que pueden hacer disminuir esta capacidad por interferir la capacidad catalítica del material.

Se recomienda que el contenido en materia orgánica no sea supere 1,5-2 p.p.m de oxidación al permanganato.

- Criterios de diseño

Nivel máximo de contaminantes a eliminar (ver NOTA 1)

Fe: hasta 5 mg/l.

Mn: hasta 1 mg/l.

Concentraciones superiores: a estudiar en función de la calidad del agua a tratar.

Esta información es sólo orientativa. BETAQUIMICA, S.A. no garantiza resultados ni asume responsabilidad en caso de patentes o aplicaciones legalmente autorizadas.



BETAQUIMICA, S.A.
 Rambla Jaume Sabat 4, 2ª Planta
 08172 Sant Cugat del Vallés
 Barcelona – Spain
 Tel. + 34 93 589 1242
 Fax. + 34 93 589 2888
 Web: www.betaquimica.com



Especificación Técnica-MTDS

Revisión:1 Fecha: 00.00.00

Paginas: 3/4

Documento5

- Pretratamiento

1. **Ajuste de pH ideal 7,8 para eliminación de Mn, mínimo 7 unidades.** Un método efectivo y sencillo para el ajuste de pH es la aireación del efluente a tratar consiguiendo la reducción del CO₂ disuelto en el agua (causante del bajo pH) y al mismo tiempo favorecer el incremento de oxígeno disuelto (favorece la acción catalítica del AQUA-MANDIX). En caso de concentraciones elevadas en Fe se aconseja trabajar a pH de 7,0 a 7,2.
2. **Aireación del agua a tratar.** En caso de existencia amoniaco y H₂S en el agua a tratar para lograr un adecuado nivel de saturación de O₂ en el agua.
3. **Oxidación en el caso que el Fe y Mn se presenten en combinación con compuestos orgánicos.** El método más efectivo es la dosificación de cloro hasta un máximo de 0,2-0,3 p.p.m de cloro para romper los complejos órgano metálicos que pueden existir.

- Parámetros de diseño del filtro

1. **Velocidad de filtración (ver NOTA 2):** hasta 15 m/h. Recomendada: 10 m/h.
2. **Altura de lecho:** mínimo 1.200 mm. de arena filtrante + el % de Aqua-mandix correspondiente.
3. **Granulometría de la AQUA-SAND:** 0,4-0,8 mm o similar.
4. **Contra lavado (ver NOTA 3):** 25 m/h (20-25% expansión del lecho) durante 30 min. Si hay constancia que el agua a tratar esta fuertemente contaminada es recomendable aumentar la velocidad de lavado a 35 m/h durante 15 min.

Es recomendable lavar el filtro una vez al día si el contenido de Fe y Mn es elevado.

1. **Espacio libre:** mínimo 400 mm.

- Tabla de cálculo para la eliminación del Fe y Mn

10% de AQUA-MANDIX:	hasta 5 p.p.m de contenido en Fe
10% de AQUA-MANDIX:	hasta 0,25 p.p.m de contenido en Mn
20% de AQUA-MANDIX:	de 0,25-0,50 p.p.m de contenido en Mn
30% de AQUA-MANDIX:	de 0,50-1 p.p.m de contenido en Mn

- Calidad del agua obtenida: contenido en Fe y Mn (ver NOTA 1)

Fe: menos de 0,1 mg/l.
Mn: menos de 0,05 mg/l.

- Puesta en marcha

Lavar el material fuera del filtro

Lavar el filtro a contracorriente a la velocidad de 25 m/h durante 30 min.

Esta información es sólo orientativa. BETAQUIMICA, S.A. no garantiza resultados ni asume responsabilidad en caso de patentes o aplicaciones legalmente autorizadas.



BETAQUIMICA, S.A.

Rambla Jaume Sabat 4, 2ª Planta

08172 Sant Cugat del Vallés

Barcelona – Spain

Tel. + 34 93 589 1242

Fax. + 34 93 589 2888

Web: www.betaquimica.com

**Especificación Técnica-MTDS**

Revisión:1 Fecha: 00.00.00

Paginas: 4/4

Documento5

- Contraindicaciones

El rendimiento del AQUA-MANDIX se reduce notablemente en caso de la existencia de turbidez elevada, cloro libre por encima de 0,5 p.p.m, amoníaco y H₂S en el agua a tratar. En caso de duda consultar para ajustar el diseño del pretratamiento y equipo de filtración.

- Comentarios adicionales

Uso del producto en aguas potables: en referencia a esta aplicación existen varias instalaciones entre las que destacan las de *Gelderland y Antwerp* en Bélgica que distribuyen agua potable a la población

NOTA 1: En el caso de un aumento de concentración de Fe y Mn cabría distinguir si esta se produce de forma marginal y progresiva o de forma significativo y repentino. En este segundo caso el tiempo de reacción es prácticamente nulo y la operativa habitual de funcionamiento (ciclo de filtrado y contra lavado) del filtro podría no ser suficiente para mantener la calidad del agua de salida. Por el contrario si la variación es progresiva a corto y medio plazo no se observaría ninguna disminución de la calidad del agua de salida y se podrían tomar las medidas oportunas para su efecto a largo plazo (aumento del volumen de AQUAMANDIX, añadir una prefiltración efectiva, etc.). También se ha de matizar que un aumento de Fe es menos crítico que un aumento de Mn para el funcionamiento del filtro.

NOTA 2: El uso de AQUAMANDIX en filtros a presión es ampliamente empleado. Un incremento de un 5 % del volumen previsto de material suele ser aconsejable en el caso que las velocidades de filtración excedan los 15 m/h.

NOTA 3: Para el correcto contra lavado ("regeneración") del material en servicio suele ser necesario un tiempo superior a los 10-15 minutos. Los 30 min indicados en la nota técnica dan un margen de seguridad suficiente como para prevenir cualquier disfunción en diseños u operaciones de filtración (aguas extremadamente turbias o cargadas) no estrictas.

En función del nivel de turbiedad del agua, en el caso que esta sea extremadamente turbia se puede combinar el lavado de aire / agua a razón de 60 m/h de aire y 10 m/h de agua con un tiempo total de 5 min lavado combinado y otros 5 min de lavado con agua.

Esta información es sólo orientativa. BETAQUÍMICA, S.A. no garantiza resultados ni asume responsabilidad en caso de patentes o aplicaciones legalmente autorizadas.



BETAQUÍMICA, S.A.
 Rambla Jaume Sabat 4, 2ª Planta
 08172 Sant Cugat del Vallés
 Barcelona – Spain
 Tel. + 34 93 589 1242
 Fax. + 34 93 589 2888
 Web: www.betaquimica.com

11.3. Anexo C

Tolvas

Especificaciones Técnicas

- Fabricados con HDPE, 100% virgen de una sola pieza.
- Fondo cónico que permite el vaciado total y dosificación de productos.
- Material graduado y translúcido.
- Almacenamiento de sólidos, líquidos y más de 300 sustancias químicas.
- Ideal para almacenamientos de granos y tratamiento de aguas residuales.
- No genera color, olor ni sabor al producto almacenado.
- Sellado hermético por lo que no produce humedad.
- Mantiene la temperatura y evita la formación de fauna nociva.
- No requieren mantenimiento.
- Capacidades desde 600 L hasta 14,000 L y fondos cónicos con distintos ángulos de 15°, 45° y 60°.

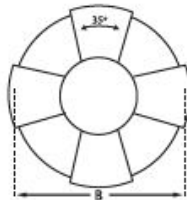
Cuadro de capacidades

Descripción	Altura	Diámetro	Ø Salida	Ø Tapa	Ángulo
TOL - 600 L	1.55 m	0.98 m	0.25 m	18°	45°
TOL - 1300 L	1.87 m	1.10 m	0.25 m	18°	45°
TOL - 3000 L	1.45 m	2.00 m	0.25 m	18°	15°
TOL - 7000 L	2.55 m	2.40 m	0.25 m	18°	45°
TOL - 14000 L	4.18 m	3.05 m	0.25 m	18°	60°

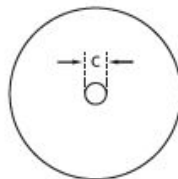


Vista superior

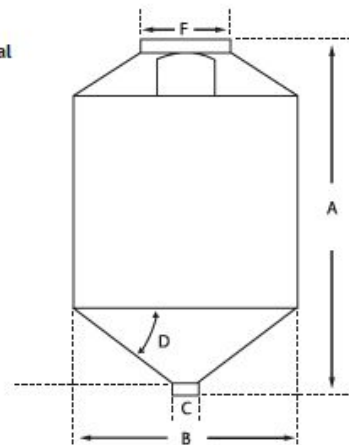
Las Tolvas de 600 y 1300 L no poseen "hombros" en su estructura



Vista inferior



Vista frontal



11.4. Anexo D

 UNIVERSIDAD NACIONAL COSTA RICA	UNIVERSIDAD NACIONAL ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL	 Pág.1de2 Consecutivo:267		
PGC-001 HE-03 COTIZACIÓN DE SERVICIOS Versión: 002 Fecha de implementación: 16/03/2016				
Número de Cotización: 267 Fecha: 10/08/2016 Cliente Físico/Razón Social: ICA YA Cédula Física/Jurídica: 4-0000-42138 Nombre de la persona contacto: Jorge Merizalde Dobles Teléfono: 2242-5256 Fax: N.A E-mail: jmerizalde@aya.go.cr Dirección: Pavas, Costa Rica				
En atención a su solicitud, el Laboratorio se complace en presentarle la cotización de servicios que se detalla a continuación:				
Item	Cantidad	Descripción del Servicio	Precio Unitario	Total
1	4	Análisis de agua que incluye: Bromoformo Dibromoclorometano Bromodichlorometano Cloroformo	₡45.000,00	₡180.000,00
			Subtotal	₡180.000,00
			Descuento 0%	0,00
			Muestreo	120.000,00
			Refrendo	0,00
			Reporte Operacional	0,00
			Otros Gastos Administrativos 0%	0,00
			TOTAL	₡300.000,00
<p>Plaza de Entrega: 8-15 días hábiles posteriores a la fecha de ingreso de las muestras. La entrega de reportes de resultados se hace contra la cancelación de los servicios.</p> <p>Forma de pago: Contado 50% adelantado y 50% contra entrega de reportes resultados (efectivo, cheque, en la caja de la FUNDAUNA; depósito a la cuenta 100-01-004-010272-9/CC15100410010102725 del BNCR a nombre de la FUNDAUNA, cédula jurídica 3-006-324743). Favor indicar en el detalle el número de factura que cancela o bien la leyenda "Proyecto 056802-0100".</p> <p>Vigencia: 30 días hábiles</p> <p>Entrega de resultado: El Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) toda vez cancelado el servicio, remitirá los Reportes de Resultados en formato digital a la dirección electrónica registrada por el cliente. Los reportes de resultados originales deberán ser retirados por el cliente en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Ambiental. En caso de que el cliente requiera la remisión de los reportes originales, estos podrán ser enviados, previa validación de que la dirección se encuentra en las rutas establecidas por Correos de Costa Rica. Para tal efecto, deberá solicitarlo vía correo electrónico, especificando la dirección exacta (provincia, cantón, distrito, otras señas) y cancelar el costo adicional según la zona.</p>				
<p>Notas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 El Laboratorio de Análisis Ambiental no se hace responsable para la representatividad de la muestra tomada por el cliente. 2 El cliente debe asegurar todas las condiciones requeridas para el muestreo. En el caso de que estas no se cumplan y no se pueda realizar el muestreo, el cliente deberá cancelar el rubro indicado como "muestreo" en la presente oferta de servicios. 3 En el caso del muestreo de emisiones, se adjunta las condiciones mínimas requeridas para el sitio de muestreo. 4 Los análisis solicitados se realizaran de acuerdo con los Métodos de Análisis que se detallan a continuación: 				
<p>* PMA 045 VOCs en agua, método modificado basado en: ASTM D8520-06. "Standard Practice for the Solid Phase Micro Extraction (SPME) of Water and its Headspace for the Analysis of Volatile and Semi-Volatile Organic Compounds".</p>				



UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA

UNIVERSIDAD NACIONAL
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL



PGC-001 HE-03 COTIZACIÓN DE SERVICIOS
Versión: 002 Fecha de implementación: 16/03/2016

Pág.2de2
Consecutivo:267

- 5 La clasificación de los métodos según el alcance de acreditación debe leerse de la siguiente manera:
* Método acreditado (ver alcance en www.eca.or.cr)
** Método no acreditado
- 6 El Laboratorio de Análisis Ambiental informa que se subcontratarán los análisis que se detallan a continuación:
Microbiológicos
Mercurio
Plaguicidas
- 7 En caso de presentarse alguna duda con respecto a la información contenida en esta cotización favor comunicarse con el Director del Área.

Cualquier consulta o información adicional que requiera, no dude en comunicarse, para el personal del Laboratorio será un placer atenderle.

Dr. Jorge Herrera Murillo
Coordinador
Laboratorio de Análisis Ambiental