Informe de Avance #4
Desarrollo de una propuesta "tipo punto de uso" para potabilización del agua en la comunidad de 4 Millas de Matina

Autores:

Ing. Rodolfo Araya Álvarez – Investigación Aplicada
Tec. Rafael Orozco Campos – Investigación Aplicada

1. Introducción

Como se mencionó en el informe de avance titulado: "Pruebas de tratabilidad para mejora de calidad de agua en 4 Millas", los principales contaminantes para el estudio, según los análisis de calidad de agua realizados por la Universidad Nacional (UNA) son los siguientes:

1. Turbiedad
2. Manganeso
3. Coliformes fecales
4. Plaguicidas

Adicionalmente, se indica en el mismo documento que, por solicitud del Ing. Andrés Sáenz, se tratará de desarrollar una metodología de remoción de estos contaminantes que se pueda utilizar como solución en cada vivienda, es decir una solución tipo "punto de uso". Este enfoque responde a los siguientes aspectos:

- La variedad de contaminantes presentes en el agua.
- La gran cantidad existente de pozos artesanales que abastecen las viviendas.
- La no existencia actual de un acueducto.

Para este documento de avance, se trabajó en el Laboratorio de Investigación en Tecnologías para el Tratamiento del Agua (LITTA); en el desarrollo de dos propuestas para potabilizar el agua. Estas dos propuestas pretenden ser una solución práctica y sencilla para tratar el agua, según los resultados obtenidos del informe mencionado anteriormente; para el cual, el acondicionamiento del agua con hidróxido de calcio y filtración de los sólidos suspendidos resultó ser la opción más sencilla y viable para remover la turbiedad y el manganeso del agua.

Las opciones evaluadas consistieron en:

1. Construcción de un prototipo de filtro para remover los sólidos generados al acondicionar el agua con hidróxido de calcio.
2. Evaluación de distintos polímeros para mejorar la floculación y sedimentación de los sólidos generados y finalmente filtrar el sobrenadante en una tela o paño de cocina convencional.

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

_____

Nº 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 **Nº Teléfono**: 2242-5487

Annette Henchoz Castro Firmado digitalmente por Annette Henchoz Castro Fecha: 2019.11.25 16:07:20 -06'00'

Firma: _____

2. Evaluación de alternativas

Con el fin de evaluar las alternativas mencionadas, se procedió a volver a la comunidad de 4 Millas de Matina para recolectar muestras de agua para desarrollar las pruebas. Se recolectaron aproximadamente 150 L de agua para el fin mencionado.

2.1 Prototipo para tratamiento del agua a través del acondicionamiento de pH con hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) y filtración de sólidos

Estas pruebas consistieron en construir un prototipo de sistema de tratamiento de punto de uso, en el cual se pudiera acondicionar el agua con hidróxido de calcio a un pH entre 8.5 y 9 para luego filtrar los sólidos de forma ascendente en una columna de diámetro igual a 4", compuesta por:

1. Una capa de grava de aproximadamente 20 cm para simular el efecto de floculador en medio poroso y sedimentador.
2. Una capa de arena fina, de aproximadamente 20 cm para simular el proceso de filtración.
3. Una capa de carbón activado granular, de aproximadamente 10 cm para la adsorción y remoción de contaminantes orgánicos (plaguicidas).

La velocidad o tasa de flujo del agua a través de los materiales mencionadas se ajustaría mediante una válvula en un valor de 2 m/h, lo cual generaría los siguientes tiempos de contacto de lecho vacío para cada uno de los materiales mencionados.

Cuadro #1. Tiempo de contacto de lecho vacío del agua con los materiales utilizados.

Material (granulometría)	Altura de medio (cm)	Tiempo de contacto de lecho vacío (min)
Grava (3 mm– 5 mm)	20	9
Arena (0.8 mm)	20	9
Carbón Activado Granular	10	4.5

De las pruebas realizadas, no se obtuvieron resultados satisfactorios para la remoción de hierro y manganeso (eficiencias cercanas al 30% para remoción de hierro); por lo cual se procedió a modificar el prototipo para mejorar la eficiencia de este. Se trabajó entonces, en elaborar un sistema compuesto de dos filtros en serie, siendo el primero un filtro de grava ascendente (FGA) y el segundo, un sistema de filtración descendente, ambos a una tasa de flujo de aproximadamente 2 m/h. El prototipo cuenta con una tubería de purga del FGA una vez se realiza la prueba. Las características del sistema evaluado se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro #2. Características del sistema de filtración en dos etapas evaluado

Filtro	Material (granulometría)	Altura de medio (cm)	Tiempo de contacto de lecho vacío (min)
Filtro de Grava Ascendente	Grava (3 mm– 5 mm)	50	15
Filtro descendente	Arena (0.8 mm)	50	15

En la siguiente figura, se presenta una fotografía del prototipo de tratamiento de agua, mediante el uso de un FGA y un filtro descendente.

Figura #1. Prototipo de sistema de filtración

Se procedió a realizar las pruebas mencionadas en varias ocasiones, obteniéndose los resultados que se presentan en los siguientes cuadros. Es importante mencionar que, para el acondicionamiento del pH, se utilizaron los resultados obtenidos del informe anterior, los cuales indican que se debe utilizar 0.2 gramos de hidróxido de calcio por cada litro de agua a tratar.

Para el desarrollo de las pruebas, se tomaron 20 L de agua cruda, se introdujeron en el bidón mostrado en la figura #1, se realizó una mezcla rápida, una floculación de aproximadamente 5 minutos y una sedimentación de aproximadamente 5 minutos también. Finalmente, el agua obtenida se pasó a través del sistema de filtración mencionado.

Cuadro #3. Resultados obtenidos del uso del prototipo de filtración. Prueba #1.

Parámetro	Agua cruda	Agua con $Ca(OH)_2$	Agua después del FGA	Agua tratada
pH	6.57	8.63	7.50	7.40
ORP (mV)	355	273	276	318
Cond. (μS/cm)	350	311	274	253
Mn (mg/L)	1.029	-	0.121	0.054
Fe (mg/L)	0.07	-	-	0.03
Dureza total (mg/L)	154	-	-	86

Cuadro #4. Resultados obtenidos del uso del prototipo de filtración. Prueba #2.

Parámetro	Agua cruda	Agua después del FGA	Agua tratada
pH	6.64	7.71	7.51
ORP (mV)	344	342	336
Cond. (μS/cm)	365	264	262
Mn (mg/L)	1.008	0.105	0.046
Dureza total (mg/L)	152	110	108

En el siguiente cuadro, se presentan los resultados obtenidos de la última prueba realizada con el sistema de filtración mencionado. Es importante indicar que el agua utilizada ya tenía varios días de haber sido traída al laboratorio, por lo cual parte del manganeso ya había precipitado y se encontraba como sólido suspendido o sedimentado en las pichingas. Se cree que, por esta razón, la concentración de manganeso del agua cruda es menor en esta prueba que en las anteriores. Adicionalmente; es posible que los óxidos de manganeso aporten a los valores de turbiedad y color del agua cruda.

Finalmente, en los resultados que se presentan en el siguiente cuadro, se muestran algunos parámetros de agua cruda y dos resultados del agua tratada, para dos muestras que se obtuvieron en distintos momentos del proceso de filtración.

Cuadro #5. Resultados obtenidos del uso del prototipo de filtración. Prueba #3.

Parámetro	Agua cruda	Agua tratada 1	Agua tratada 2
pH	6.43	7.48	7.42
Turbiedad (UNT)	3.24	0.52	1.12
Color (Upt-Co)	37	13	16
ORP (mV)	386	-	342
Cond. (μS/cm)	440	304	302
Mn (mg/L)	0.652	0.066	0.081
Dureza total (mg/L)	128	117	-

Como se evidencia de los resultados presuntivos obtenidos y mostrados en los cuadros anteriores, el sistema de filtración propuesto remueve adecuadamente el manganeso y la turbiedad del agua cruda. Para el caso del parámetro de color, se remueve un porcentaje importante del mismo, pero su valor en el agua tratada se encuentra muy cercano o superior al

valor máximo admisible (VMA = 15 UPt-Co) y superior al valor alerta (VA < 5 UPt-Co) establecido en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable (RCAP) vigente.

2.2 Evaluación de polímeros para mejorar la floculación y sedimentación de los flóculos

En un ensayo preliminar realizado con el fin de evaluar el uso de un material de filtración tipo paño o tela, algo que se pudiese encontrar de forma sencilla en los hogares de las personas, se observó y se determinó que el efecto de filtración de este material no era adecuado para el proceso de acondicionamiento de pH y filtración de los sólidos suspendidos generados. Por tal razón, se procedió a buscar en el mercado, polímeros para el tratamiento del agua, que pudiesen mejorar las condiciones de los sólidos suspendidos generados para el proceso en estudio. Las condiciones evaluadas, se engloban en la capacidad de formar flóculos de mayor tamaño y de mejor sedimentabilidad o velocidad de sedimentación de las partículas y contaminantes a remover.

Se procedió entonces a evaluar cuatro distintos polímeros encontrados en el mercado. En el siguiente cuadro se presenta un detalle de estos.

Cuadro #6. Polímeros utilizados para mejorar las propiedades del agua acondicionada.

Número	Nombre	Detalle
1	ACH	Hidroxicloruro de aluminio, coagulante.
2	Floculante Aniónico	Floculante a base de poliacrilamida de alto peso molecular y alta carga iónica.
3	Floculante Catiónico	Floculante a base de poliacrilamida de al peso molecular y alta carga iónica.
4	One Step	Coagulante/floculante para tratamiento del agua, siendo una mezcla de polímero, sulfato de aluminio y bentonita.

Se preparó una prueba que consistiera en el acondicionamiento del agua cruda con hidróxido de calcio, como se ha descrito anteriormente (0.2 gramos de $Ca(OH)_2$ por litro de agua) para luego evaluar de manera visual el funcionamiento de los polímeros en el agua, mediante una prueba de jarras. La prueba de jarras se desarrolló con los siguientes parámetros:

1. Mezcla rápida a 300 rpm durante 20 segundos
2. Floculación a 40 rpm durante 5 minutos
3. Sedimentación (0 rpm) durante 5 minutos
4. Filtración en paño o tela

Los parámetros de análisis visual utilizados fueron el tamaño del flóculo formado y la velocidad de sedimentación de estos. En todas las pruebas, se dejó una de las jarras sólo con el acondicionamiento de pH ($Ca(OH)_2$), con el fin de poder comparar adecuadamente el efecto de los polímeros. Los puntajes asignados se encontraron en el rango de 1 a 10, donde el mayor valor es el que genera el mejor resultado. En los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas.

2.2.1 Acondicionamiento de pH con $Ca(OH)_2$ y uso de ACH como ayudante de coagulación

Para el desarrollo de esta prueba, se preparó una solución de ACH al 0.5%, es decir se diluyeron mediante el uso de un agitador magnético, 5 000 mg de ACH en un litro de agua desionizada. Las dosis de este polímero utilizadas fueron de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L (ppm) de ACH. Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro #7. Resultados de la aplicación de ACH

Jarra	Dosificación		Volumen de solución preparada x agregar (ml)	Floculación	
	$Ca(OH)_2$ (mg/L)	ACH (mg/L)		Tamaño floc	Veloc. Sed
1	200	0	0	2	2
2	200	10	2	8	8
3	200	20	4	8	10
4	200	30	6	10	9
5	200	40	8	9	8
6	200	50	10	10	8

Como puede observarse de los valores obtenidos en la prueba, la dosis óptima de ACH para ser utilizada se encuentra entre 20 y 30 mg/L. Se tomó el sobrenadante del agua producida con la aplicación de 30 mg/L de ACH y se filtró en un paño de tela. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Cuadro #8. Resultados de la prueba con 30 mg/L de ACH

Filtración en paño de tela				
Turbiedad (UNT)	Mn (mg/l)	Dureza	Cond. (uS/cm)	pH
0.41	0.011	145	360	7.74

Como puede observarse, los valores presuntivos puntuales analizados y obtenidos, cumplen con los requerimientos del RCAP; es decir se genera una remoción importante de turbidez y de manganeso.

En las siguientes figuras, se da una representación gráfica de la prueba de jarras con ACH. Como puede observarse, al agregar el hidróxido de calcio al agua, se genera una suspensión debe ser acondicionada para que sea fácilmente sedimentable y filtrable.

Figura #2. Prueba de jarras con ACH

En la siguiente figura se aprecian los sólidos formados y que sedimentaron en la prueba con 30 mg/L de ACH, como puede observarse, son flóculos bien formados y sedimentables y el sobrenadante es agua bastante clara. El agua clarificada, se hace pasar por el paño que se muestra en la figura y que se coloca sobre un embudo y en un balón de 1 L.

Figura #3. Sólidos sedimentables para la prueba con 30 mg/L de ACH

2.2.2 Acondicionamiento de pH con $Ca(OH)_2$ y uso de floculante aniónico

Para el desarrollo de esta prueba, se preparó una solución de polímero al 0.05%, es decir se diluyeron mediante el uso de un agitador magnético, 500 mg de polímero aniónico en un litro de agua desionizada. Las dosis de este polímero utilizadas fueron de 0, 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 mg/L (ppm). Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro #9. Resultados de la aplicación de polímero aniónico

Jarra	Dosificación		Volumen de solución preparada x agregar (ml)	Floculación	
	$Ca(OH)_2$ (mg/L)	Aniónico (mg/L)		Tamaño floc	Veloc. Sed
1	200	0	0	2	4
2	200	0.5	1	7	4
3	200	1	2	5	4
4	200	1.5	3	5	4
5	200	2	4	5	4
6	200	2.5	5	5	4

Como los resultados preliminares obtenidos no fueron satisfactorios, se procede a seguir adicionando polímero (en cantidades de 2.5 mg/L por ensayo) a la jarra #6 hasta obtener una dosis de 7.5 mg/L; el resultado obtenido no mejora las condiciones de la prueba. Al comparar los resultados obtenidos de esta prueba con los obtenidos de la aplicación de ACH, se determina inicialmente (preliminarmente) que no es un polímero apto para esta agua y los procesos de floculación y sedimentación estudiados; por lo anterior, no se realizaron determinaciones de calidad para el mismo.

2.2.3 Acondicionamiento de pH con $Ca(OH)_2$ y uso de floculante catiónico

Para el desarrollo de esta prueba, se preparó una solución de polímero al 0.05%, es decir se diluyeron mediante el uso de un agitador magnético, 500 mg de polímero catiónico en un litro de agua desionizada. Las dosis de este polímero utilizadas fueron de 0, 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 mg/L (ppm). Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro #10. Resultados de la aplicación de polímero catiónico

Jarra	Dosificación		Volumen de solución preparada x agregar (ml)	Floculación	
	$Ca(OH)_2$ (mg/L)	Catiónico (mg/L)		Tamaño floc	Veloc. Sed
1	200	0	0	2	2
2	200	0.5	1	2	2
3	200	1	2	2	2
4	200	1.5	3	2	2
5	200	2	4	2	2
6	200	2.5	5	2	2

Como los resultados preliminares obtenidos no son satisfactorios, al igual que en la prueba anterior, se procede a seguir adicionando polímero (en cantidades de 2.5 mg/L por ensayo) a la jarra #6 hasta obtener una dosis de 7.5 mg/L. El resultado obtenido no mejora las condiciones de la prueba. Al comparar los resultados obtenidos de esta prueba con los obtenidos de la aplicación de ACH, se determina inicialmente (preliminarmente) que no es un polímero apto para esta agua y los procesos de floculación y sedimentación estudiados; por lo anterior, no se realizaron determinaciones de calidad para el mismo.

2.2.4 Acondicionamiento de pH con $Ca(OH)_2$ y uso de coagulante/floculante One Step

Para el desarrollo de esta prueba, se preparó una solución de polímero al 0.05%, es decir se diluyeron mediante el uso de un agitador magnético, 500 mg de polímero catiónico en un litro de agua desionizada. Las dosis de este polímero utilizadas fueron de 0, 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 mg/L (ppm). Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro #11. Resultados de la aplicación de polímero One Step

Jarra	Dosificación		Volumen de solución preparada x agregar (ml)	Floculación	
	Ca(OH)2 (mg/L)	Catiónico (mg/L)		Tamaño floc	Veloc. Sed
1	200	0	0	2	4
2	200	0.5	1	2	4
3	200	1	2	2	4
4	200	1.5	3	2	4
5	200	2	4	2	4
6	200	2.5	5	2	4

Como los resultados preliminares obtenidos no son satisfactorios, al igual que en las pruebas anteriores, se procede a seguir adicionando polímero (en cantidades de 2.5 mg/L por ensayo) a la jarra #6 hasta obtener una dosis de 10 mg/L; el resultado obtenido no mejora las condiciones de la prueba. Al comparar los resultados obtenidos de esta prueba con los obtenidos de la aplicación de ACH, se determina inicialmente (preliminarmente), que no es un polímero apto para esta agua y los procesos de floculación y sedimentación estudiados. Por lo anterior, no se realizaron determinaciones de calidad para el mismo.

Con los resultados presentados anteriormente, se decide realizar una prueba a mayor escala para evaluar el uso del polímero ACH y la dosis de este que dieron los mejores resultados. El ensayo consistió en utilizar un recipiente donde se prepararon 10 L de agua del sitio (Abastecedor Galilea, 4 Millas de Matina) y se adicionó 0.2 g de $Ca(OH)_2$ y 30 mg de ACH por litro de agua, se realiza una mezcla rápida, floculación por 5 minutos y sedimentación por 5 minutos también. Finalmente, toda el agua se filtró en un paño de tela y se obtuvieron tres muestras de agua para analizar. Los resultados obtenidos de las pruebas son los que se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro #12. Resultados obtenidos de la prueba con ACH y paño para filtrar

Muestra	Turbiedad (UNT)	Manganeso (mg/L)	Color (UPt-Co)	Cond. (µ S/cm)	pH	Al (mg/L)
1	2	0.014	12	354	8.11	0.020
2	0.12	0.011	7	346	8.16	-
3	0.48	0.010	10	334	8.20	0.003

Puede concluirse de los datos presentados, que las determinaciones presuntivas y puntuales realizadas, todas menos el valor de pH, cumplen con el RCAP. Para pruebas posteriores se debe buscar la manera de optimizar el proceso o utilizar algún producto que pueda regular el pH a valores que se encuentren dentro del rango permitido por el RCAP. Para el caso del parámetro Color, el valor es superior al VA pero inferior al VMA.

2.3 Costos asociados a las alternativas estudiadas

2.3.1 Prototipo para tratamiento de agua mediante filtración en grava y arena

En este caso, la estimación de costos, se divide en dos rubros principales:

1. Costo de materiales para elaborar el prototipo
2. Costo de los productos químicos para acondicionar el pH

En el siguiente cuadro, se presentan los materiales y los costos de estos para construir el prototipo.

Cuadro #13. Costos de materiales para elaborar el prototipo

Material	Cantidad	Costo unitario (colones)	Costo total (colones)
Bidón plástico (pz)	1	30 000	30 000
Tubería de 4” (pz)	1/2	72 000	36 000
Tapón 4” (pz)	2	6 300	12 600
Tubería de ½” (pz)	1/2	6 400	3 200
Codo de ½” (pz)	5	190	950
Válvula de bola ½” (pz)	3	1 900	5 700
Adaptador macho ½” (pz)	5	160	800
Unión hembra ½” (pz)	4	440	1 760
Unión lisa ½” (pz)	2	150	300
Tapón hembra de ½” (pz)	1	140	140
Tee ½” (pz)	1	190	190
Unión transición ½” (pz)	1	2 500	2 500
Arena (m3)	0.006	272 500	1 500
Grava (m3)	0.006	272 500	1 500
Total materiales (colones)			97 140

Nota: Los costos de la tubería y accesorios se obtienen del sitio web de Construplaza. Los costos de la grava y arena se obtienen de la Dirección de Plantas Potabilizadoras de la GAM, AyA.

Se estima que de mano de obra se requiere de aproximadamente 30 mil colones, incluyendo las cargas sociales. El costo aproximado de la construcción del prototipo es de aproximadamente **130 000 colones.**

Respecto al costo de los insumos químicos, para este caso particular, se requiere solamente el costo del hidróxido de calcio. Según estimaciones de la UEN ID (Rojas Valladares, N; 2018), un saco de hidróxido de calcio de 20 kg de peso, cuesta aproximadamente $6.78. Según las determinaciones realizadas, se requieren de 200 mg de hidróxido de calcio por litro de agua a tratar, lo cual representa $0.0000678/L de agua a tratar, equivalente a **0.041 colones/L de agua** (tipo de cambio 1$ = 600 colones).

2.3.2 Uso de hidróxido de calcio y de hidroxicloruro de aluminio (polímero ACH)

Para la estimación de costos de esta alternativa, se consideran dos rubros:

1. Costo de materiales para desarrollo de la alternativa
2. Costo de insumos químicos para acondicionamiento del agua

En el siguiente cuadro, se presenta un desglose de los materiales requeridos para esta alternativa.

Cuadro #14. Costos de materiales para elaborar alternativa

Material	Cantidad	Costo unitario (colones)	Costo total (colones)
Bidón plástico	1	30 000	30 000
Tela de algodón	1	5 000	5 000
Total (colones)			35 000

Respecto al costo de los insumos químicos, para este caso particular, se requiere obtener el costo del hidróxido de calcio. Según estimaciones de la UEN ID (Rojas Valladares, N; 2018), un saco de hidróxido de calcio de 20 kg, cuesta aproximadamente $6.78. Según las determinaciones realizadas, se requieren de 200 mg de hidróxido de calcio por litro de agua a tratar, lo cual representa $0.0000678/L de agua a tratar, equivalente a **0.041 colones/L de agua** (tipo de cambio 1$ = 600 colones). Para el caso del ACH, se requiere de 30 mg de ACH por litro de agua; según estimaciones de la UEN ID (Lazo Páez, A; 2018), el costo del ACH es de $1.24/kg; según lo anterior, el costo del ACH para tratar 1 L de agua es de aproximadamente $0.0000372/L de agua, equivalente a 0.022 colones/L de agua (tipo de cambio $1 = 600 colones). **En total, se requiere de aproximadamente 0.064 colones en insumos químicos para tratar un litro de agua**.

2.3.3 Sistema comercial de filtración de sedimentos, carbón activado y membrana de ósmosis inversa

Con el fin de contar con una referencia comercial de un sistema de punto de uso que pudiese remover los contaminantes en estudio, se realizó un estudio de mercado que identificó una alternativa que podría ser viable (ver Anexo #1). La alternativa estudiada, posee una producción diaria máxima de aproximadamente 190 L (50 galones por día) y está compuesta por:

1. Filtro de sedimentos: para eliminar partículas o sólidos suspendidos del agua.
2. Medio de adsorción en carbón activado: para remoción de olor y sabor del agua.
3. Filtración por membranas de ósmosis inversa de baja presión: para remover hasta 98% de sólidos disueltos del agua (según ficha técnica del fabricante).
4. Desinfección con lámpara de rayos Ultravioleta (UV)

Este sistema de tratamiento debe ser alimentado con una presión de al menos 30 psi (21.1 mca), lo cual hace necesario para el caso de 4 Millas de Matina el uso complementario de un sistema de bombeo, pues se considera que ninguna de las viviendas cuenta con la presión requerida de 30 psi. Adicionalmente, se debe tener presente, que existe una alta probabilidad de que se deba

cambiar frecuentemente los cartuchos o los materiales filtrantes; lo anterior, por la alta concentración de manganeso en el agua cruda, el cual se encuentra soluble y es posible que quede retenido en la membrana de ósmosis inversa y no en el filtro de sedimentos.

El costo preliminar de un sistema como el descrito, es de al menos 240 000 colones. Es importante mencionar que esta alternativa debe ser probada o evaluada antes de ser recomendada y en este caso, se utiliza solamente para tener una idea de una tecnología que podría funcionar, sus implicaciones, limitaciones y costos.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de utilizar este sistema de tratamiento para el acueducto de 4 Millas de Matina.

Cuadro #15. Ventajas y desventajas del uso del sistema comercial de filtración por ósmosis inversa

Ventajas	Desventajas
Remueve sedimentos o partículas	Requiere de reemplazo de materiales filtrantes (filtros y membranas)
Remueve gran cantidad de sólidos disueltos	Requiere de reemplazo del carbón activado
Remueve contaminantes orgánicos e inorgánicos. Podría remover plaguicidas (debe evaluarse)	Requiere de un sistema de bombeo para generar la carga necesaria para atravesar las membranas de ósmosis inversa
Puede utilizar desinfección por UV	No cumple requerimiento de cloro residual en el agua tratada
No requiere de adición de productos químicos	La membrana de ósmosis inversa puede verse afectada o ser afectado su desempeño al existir manganeso disuelto y en las concentraciones encontradas.
Fácil operación	Costo importante de operación y mantenimiento

La frecuencia de reemplazo de los materiales filtrantes y adsorbentes de esta alternativa debe ser investigada mediante pruebas a escala real para la calidad del agua a tratar.

Conclusiones

1. El acondicionamiento del pH y posterior proceso de filtración es una alternativa viable para remover hierro y manganeso del agua.
2. El valor meta de pH para una adecuada precipitación y remoción de estos metales por filtración deber ser igual o superior a 8.5.
3. Un sistema de acondicionamiento de pH y filtración en múltiples etapas (filtro de grava ascendente y filtración descendente en arena) puede lograr remover adecuadamente el manganeso del agua de la comunidad de 4 Millas de Matina.
4. Para las opciones de potabilización planteadas, se debe prestar atención y monitoreo al valor de color en el agua tratada. Lo anterior pues, podría ser posible que en algún momento se incumpla con este parámetro; adicionalmente debe existir un monitoreo continuo de los parámetros estudiados (manganeso y turbidez).

5. El acondicionamiento del pH y posterior filtración en un paño o tela, no es una opción segura para la remoción de turbiedad, color y manganeso.
6. El acondicionamiento del pH, el uso de un polímero como el ACH y una posterior filtración en un paño o tela, puede ser una opción viable para remover turbiedad y manganeso del agua.
7. El uso de un sistema de filtración en múltiples etapas, requiere de un cuidadoso ajuste del caudal a tratar mediante el uso de válvulas; lo cual podría complicar su aplicación.
8. La implementación de un sistema de tratamiento mediante el uso de membranas de ósmosis inversa, requiere de una presión mínima de operación de 30 psi.
9. El sistema de tratamiento para remoción de turbiedad y manganeso más económico es el uso de hidróxido de calcio y ACH y posterior filtración en un paño o tela.

Recomendaciones

1. No se recomienda beber ni utilizar para la preparación de alimentos el agua de 4 Millas (sin tratar) de Matina.
2. Realizar una evaluación sanitaria, de los sistemas individuales para la gestión de las aguas residuales, utilizados por los habitantes de la comunidad de 4 Millas de Matina.
3. Continuar con la evaluación de las alternativas estudiadas para remoción de hierro y manganeso y complementar con operaciones o procesos para la remoción de plaguicidas.
4. Evaluar el uso de carbón activado granular y en polvo para la remoción de plaguicidas; se recomienda que exista un tiempo de contacto inicial del material con el agua de aproximadamente 4 minutos.
5. Evaluar las alternativas estudiadas con el apoyo del Laboratorio de Optimización de Plantas Potabilizadoras del LNA y realizar los análisis de la calidad del agua de las pruebas con el LNA.
6. Evaluar utilizar cloro como desinfectante para el agua tratada, luego de remover el manganeso y cualquier otro contaminante de las aguas, como los plaguicidas.
7. Evaluar el proceso de acondicionamiento del pH, floculación, sedimentación y filtración para la remoción de hierro y manganeso del agua, en otros acueductos donde se presenten estos contaminantes.
8. Evaluar el uso de ácido cítrico (natural o artificial) o alguna otra sustancia para disminuir el pH del agua tratada.
9. Evaluar la calidad del agua tratada mediante análisis completos en el LNA, con el fin de determinar que los productos químicos utilizados, no agreguen contaminantes al agua.
10. Revisar la normativa existente para el uso de polímeros en agua para consumo y verificar que la aplicación que se ha estudiado de estos para esta situación, se realice según las recomendaciones de la misma.
11. Evaluar el tipo de residuos generados en el proceso de potabilización del agua para la comunidad de 4 Millas de Matina.
12. Identificar la manera en que debe ser tratado y dispuesto el residuo generado en el proceso de potabilización.

13. Cualquier alternativa de punto de uso que se desee implementar para la comunidad de 4 Millas de Matina, requiere de una capacitación de operación y mantenimiento del sistema para los usuarios y de un monitoreo frecuente de la calidad del agua por un laboratorio acreditado. Adicionalmente, se debe contar con recursos económicos para la compra de productos químicos y reemplazo de materiales o filtros utilizados.
14. Se requiere de más pruebas y evaluaciones para el desarrollo o evaluación de un sistema o tecnología de punto de uso efectivo y de fácil uso, para poder ser recomendado a la comunidad de 4 Millas de Matina.

Anexo #1. Sistema de filtración de sedimentos, adsorción y ósmosis inversa

SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

HidroClear®

VENTAJAS DEL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA HIDROCLEAR

- Produce agua baja en minerales, ofreciendo protección contra contaminantes como nitratos, cobre, plomo, radio, arsénico y fluoruros entre otros
- Elimina contaminantes orgánicos e inorgánicos y otros dañinos para la salud, gracias a su combinación de diferentes pasos de filtración
- Produce agua que por su bajo contenido en minerales absorbe mejor el sabor de bebidas como agua de frutas, té, café y otras
- Usando agua de ósmosis inversa se obtienen hielos más cristalinos
- Cumple con certificación NSF, **lo que asegura su calidad**

5 PASOS QUE ASEGURAN LA CALIDAD DEL AGUA

1. FILTRO DE SEDIMENTOS
   Elimina los sedimentos en el agua como pueden ser partículas de tierra y arena, dejando el agua clara
2. FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO
   Elimina el tan molesto cloro en el agua, reduciendo los malos sabores que éste provoca
3. DESINFECCIÓN UV
   (Opcional en algunos modelos)
   Mediante la exposición del agua a la luz ultravioleta se asegura que el agua esté **libre de bacterias y virus**
4. MEMBRANA
   Elimina en promedio un 98% de los sólidos disueltos en el agua
5. POST FILTRO DE CARBÓN
   Mejora su sabor

MODELOS Y ACCESORIOS DISPONIBLES

MODELO	DESCRIPCIÓN
FMROS-50	Sistema de ósmosis inversa de 185 litros por día (50 GPD)*
UniClear Total 50	Sistema de ósmosis inversa de 185 lts x día (50 GPD)* + Desinfección UV
CDP 6800	Bomba booster para ósmosis inversa de 185 litros por día (50 GPD)*
TAS-114-19-EP1	Transformador para bomba CDP 6800 en 115V / 60 Hz
PSW-240	Interruptor de presión para bomba CDP 6800 (conexión ¼")
CDP 8800	Bomba booster para ósmosis inversa de 370 litros por día (100 GPD)*
ZWKit	Kit para conversión a unidad cero desperdicio
ERP-1000	Bomba para agua de producto (permeado) no requiere electricidad

* La producción de agua indicada es nominal por lo que debe tomarse sólo como referencia. La producción real de agua está sujeta a las condiciones de operación, calidad de agua y ambiente de cada equipo.

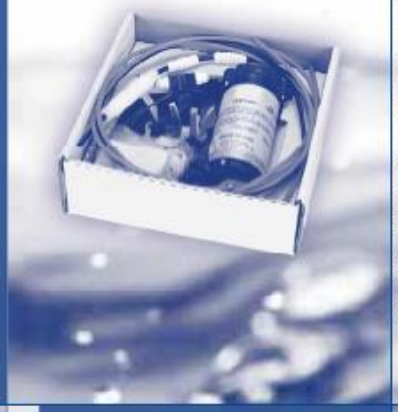
SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

HidroClear

EQUIPO OPCIONAL

- Bomba booster para reforzar la presión del agua de entrada (sugerida en aplicaciones donde la presión es menor a 25-30 PSI)
- Interruptor de presión para control de bomba booster
- Control para protección por bajo nivel de agua (sugerido para protección de la bomba booster)
- Bomba de permeado de alta eficiencia (no requiere eléctricidad)
- Kit ZW (cero desperdicio) que evita tirar el agua de recahazo al drenaje
- Sistema de desinfección UV

- Kit ZW para conversión a sistema cero desperdicio



MATERIAL INCLUIDO QUE FACILITA LA INSTALACIÓN

- Incluye las conexiones más comunes para colocar el sistema debajo de una tarja
  - Llave de ganso dispensadora
  - Kit de conexión a drenaje
  - Kit de conexión entre los componentes del sistema
- Manual de instalación en español

EQUIPO ESTÁNDAR QUE SE INCLUYE EN TODOS LOS MODELOS

- Tanque precargado plástico (4 galones) para almacenamiento de agua
- Filtro de sedimentos (5 micras)
- Filtro de carbón activado en bloque
- Postfiltro en línea de carbón activado
- Membrana tipo TFC (capacidad según el modelo)
- Llave para abrir/cerrar los portafiltros

- Bomba de permeado (No requiere electricidad)

- Bomba booster para refuerzo