



INSTITUTO COSTARRICENSE DE
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

**Alternativas de potabilización para aguas
afectadas por una concentración de fluoruros
superior al valor máximo admisible
establecido para Costa Rica**

Fecha de entrega: 23 de enero de 2020

CONSECUTIVO DEL DOCUMENTO: **BP2020-AT2-II-IA-2**



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, **Eric Alonso Bogantes Cabezas**

N° Cédula: 5-251-0327

Dependencia: **Gerencia General**

Autorizo como 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 y Catálogo en línea (OPAC).

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

E-mail: gerenciageneral@aya.go.cr N° Teléfono: 2242-5090



Firma: _____

Firmado digitalmente
por ERIC ALONSO
BOGANTES CABEZAS
(FIRMA)
Fecha: 2021.06.16
17:21:24 -06'00'



Macroproceso:
Gestión Técnica

Proceso: Investigación
y Desarrollo

Subproceso: Investigación Aplicada

Fecha de
entrega: 23 de
enero de 2020

Nº de Versión:
01

Elaborado por:
Laura Hernández

Revisado por:
Andrés Lazo Páez

Aprobado por:
German Mora Rodríguez

Fecha de aprobación:
07/08/19

TABLA DE APROBACIONES DEL REGISTRO

Elaborado y revisado por:


ANDRES
LAZO PAEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por ANDRES LAZO
PAEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.01.14
12:05:14 -05'00'

Andrés Lazo Páez

Aprobado por:

German Mora Rodríguez

	Informe Técnico		Página 3 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020		N° de Versión: 01

RESUMEN EJECUTIVO

La atención a la calidad del agua conlleva la determinación de la concentración de sustancias disueltas y suspendidas. En el caso del ion fluoruro se trata de una sustancia disuelta que, al menos en Costa Rica, pocas veces se encuentra en valores superiores al máximo admisible que establece el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Usualmente, el fluoruro que es posible encontrar en agua subterránea tiene origen en los minerales que componen la corteza terrestre (WHO, 2017), y se han reportado valores de hasta 10 mg/L.

Este ion fue detectado en una naciente del sistema La Aurora, de Limón. Las concentraciones que han sido reportadas al día de hoy se ubican entre 2.18 y 3.29 mg F⁻/L. El presente documento contribuye a la búsqueda de soluciones para la afectación, la cual está a cargo de la UEN Administración de Proyectos de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Delegados (SGSD). Se estudiaron diversas posibilidades de tratamiento para el agente contaminante en cuestión, entre las cuales se identificaron: adsorción, membranas, intercambio iónico, coagulación – floculación, ablandamiento con cal, electrodiálisis reversa, y combinaciones de algunas de las anteriores.

Con base en el estudio bibliográfico se determinó que, preliminarmente, las alternativas más viables para tratamiento de fluoruros en el caso específico son: adsorción y filtración con membranas. Se estimó un costo directo de inversión y una proyección del costo de operación y mantenimiento asociado. A partir de esta información se plantearon las ventajas y desventajas de la implementación de cada alternativa, lo cual sirve como insumo al trabajo de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Delegados.




TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Justificación	7
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. Alcance.....	7
1.5. Limitaciones.....	8
2. METODOLOGÍA	9
2.1. Marco metodológico.....	9
2.2. Conformación del equipo	9
2.3. Actividades realizadas	9
3. RESULTADOS.....	9
3.1. Efectos sobre la salud por presencia de fluoruros en agua	9
3.2. Alternativas tecnológicas	10
3.3. Costos de inversión	14
3.4. Costos de operación y mantenimiento	15
4. CONCLUSIONES	18
5. RECOMENDACIONES	18
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
7. CONTROL DE CAMBIOS	20
8. APÉNDICES	21
9. ANEXOS.....	22

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Alternativas reportadas para tratamiento de fluoruros en aguas	11
--	----


	Informe Técnico		Página 5 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

Cuadro 2. Costo preliminar de inversión para la alternativa de adsorción sobre alúmina activada
14

Cuadro 3. Costo preliminar de inversión para la alternativa de filtración con membranas15

Cuadro 4. Costo preliminar de operación y mantenimiento para de adsorción sobre alúmina
activada16

Cuadro 5. Costo preliminar de operación y mantenimiento para la alternativa de filtración con
membranas17

	Informe Técnico		Página 6 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020		N° de Versión: 01


1. INTRODUCCIÓN

El sistema de La Aurora de Limón se ubica en el distrito Limón, del cantón central de la provincia de Limón. El abastecimiento de esta población está siendo valorado con el fin de que a futuro se pueda incrementar la producción de agua potable para la población. Todo corresponde a un sistema operado por una Asociación Administradora de Acueducto y Alcantarillado Sanitario (ASADA), quien recibe el apoyo de la SGSD.

En fecha 09 de diciembre del 2019, el área de Formulación de Proyectos de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Delegados solicita (vía correo electrónico) apoyo a la UEN Investigación y Desarrollo, para determinar si se conocen tecnologías que se puedan utilizar para el tratamiento de una fuente afectada por elevada concentración de fluoruros. La intención es poder emplear el líquido tratado para consumo humano. La solicitud de asesoría técnica se formaliza cerca del 20 de enero del 2020, luego de un análisis preliminar del caso.

1.1. Antecedentes

La iniciativa de investigación surge como una necesidad que solamente tiene un precedente en la institución, el cual corresponde a la zona de Tierra Blanca. En ese sector, al día de hoy se aborda la temática por medio de una reducción del consumo de flúor por parte de la población. Específicamente, se atiende la situación a través del cambio en el tipo de insumos que adquieren los hogares, de forma tal que se reduzca la ingesta de flúor, el cual está presente en numerosos alimentos y otros implementos utilizados en la vida cotidiana. En este caso el análisis se enfoca únicamente a tratamiento de agua para consumo, con base en lo indicado en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (MINSA, 2015).

	Informe Técnico		Página 7 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020		N° de Versión: 01

1.2. Justificación

El presente informe responde a la solicitud de asesoría técnica denominada: 2020-GTE-106-02-F1-02.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General


Establecer alternativas tecnológicas para el tratamiento de aguas para consumo cuya concentración de fluoruros sea superior al valor máximo admisible indicado por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir la manera en que afectan la salud pública los fluoruros presentes en agua.
- Establecer alternativas de remoción de fluoruros presentes en agua.
- Estimar los costos aproximados de inversión para sistemas de remoción de fluoruros presentes en agua: caso naciente El Tigre (Wahope).
- Estimar los costos aproximados de operación para sistemas de remoción de fluoruros presentes en agua: caso naciente El Tigre (Wahope).

1.4. Alcance

Este documento corresponde a un análisis preliminar de tecnologías disponibles para atender la calidad de agua afectada por fluoruros. Se trata de un resultado preliminar y general, con base en bibliografía y en experiencia acumulada por la UEN Investigación y Desarrollo (ID), sin considerar ensayos con prototipos o formulación definitiva de alternativas, que pudieran ofrecer un resultado más detallado.

	Informe Técnico		Página 8 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

1.5. Limitaciones

La principal limitación para el desarrollo del producto documental es el tiempo disponible, pues no permite una recopilación detallada de información científica y comercial. Según indicación del cliente interno, no se realizó un análisis de otras potenciales formas de abastecimiento de la población.



2. METODOLOGÍA

2.1. Marco metodológico

El estudio se basa en un análisis de bibliografía especializada, la cual establece todo lo relacionado con alternativas tecnológicas para tratamiento de aguas con fluoruros. Posteriormente, se utiliza conocimiento adquirido por la UEN ID y datos comerciales preliminares para generar los insumos de costos requeridos por el área funcional solicitante.

2.2. Conformación del equipo

Únicamente participa personal del área funcional Investigación Aplicada en conjunto con el personal de la unidad solicitante.

2.3. Actividades realizadas


Las actividades realizadas corresponden únicamente a trabajo de oficina descrito en la sección 2.1.

3. RESULTADOS

3.1. Efectos sobre la salud por presencia de fluoruros en agua

Según WHO (2017), el flúor es un elemento muy común en la corteza terrestre, y se presenta en forma de fluoruros en diversos minerales, tales como: fluorita, criolita, fluorapatita. De todas las matrices de agua encontradas en la naturaleza, el agua subterránea es la que muestra las mayores concentraciones. En áreas con presencia reconocida de esta especie química se pueden llegar a medir 10 mg/L, o incluso valores mayores. Prácticamente todos los alimentos contienen trazas de flúor, e incluso toda la vegetación contiene fluoruro que es absorbido del suelo y del agua.

En adición a lo anterior, WHO (2017) indica también que el fluoruro es ampliamente utilizado en preparaciones dentales, tales como: tabletas, enjuagues bucales, pastas de dientes, barniz, o aplicaciones en gel. En muchos países también se agrega a la sal de

	Informe Técnico		Página 10 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

mesa o hasta la misma agua potable, para promover protección contra caries. Desde el punto de vista epidemiológico WHO (2017) indica que la ingesta muy alta de flúor (por cualquier medio) podría llevar a un incremento del riesgo de fluorosis dental e incluso un deterioro más severo.

3.2. Alternativas tecnológicas

Luego de una reunión con el área de Formulación de Proyectos de la SGSD, se establecieron algunos parámetros básicos para realizar el análisis solicitado:

- Caudal a tratar: 7 L/s.
- Consideración sólo de costos directos.
- Suposición de la concentración de algunas especies químicas tales como: sílice, boro y azufre.
- Suposición del desempeño de las alternativas tecnológicas con base en literatura especializada.
- Suposición de rubros de operación y mantenimiento según criterio de la UEN ID.
- No se consideran aspectos complementarios importantes, tales como: terreno disponible, servicio eléctrico, colindancias, disposición de un cuerpo receptor cercano, etc.
- No se consideran ensayos experimentales para verificar posibilidades de optimización de procesos.
- No se incluyen criterios de análisis económico, social o del entorno para la selección de alternativas.



En segunda instancia, se documentaron aspectos generales de las diversas alternativas reportadas por la literatura para remoción de fluoruros (Cuadro 1). Según lo indicado por los diversos autores (EPA, 2014; Lawler, 2013; Sollo, 1978), el tratamiento de fluoruros corresponde a operaciones y procesos unitarios ampliamente conocidos por el AyA. Sin embargo, al día de hoy la UEN ID no cuenta con prototipos desarrollados en esa temática.


Cuadro 1. Alternativas reportadas para tratamiento de fluoruros en aguas

#	Alternativa	Descripción	Desempeño
1	Adsorción sobre alúmina activada	Este producto se emplea con buenos resultados bajo un pH de 8.2, donde la superficie presenta una carga neta positiva. El mejor desempeño se da para pH entre 5.5. y 6.0, y es importante aclarar que en pH menor a 5.0 es posible disolver el medio. Se recomienda entre 5 y 7.5 min de tiempo de contacto, con una profundidad del medio de 0.9 - 1.5 m. El medio se puede regenerar con NaOH al 1%. Las interferencias son: arsénico, selenio, iones inorgánicos (fosfatos) y moléculas orgánicas (DOC).	500 - 700 BV a pH afluente cercano a 6.6 <u>Recomendado por EPA</u>
2	Filtración con membranas	Se produce agua desmineralizada por el paso a través de una membrana, por aplicación de una presión superior a la osmótica. Se genera un rechazo de agua con contaminantes concentrados, el cual se debe disponer adecuadamente.	83 - 98% <u>Recomendado por EPA</u>
3	Intercambio iónico	Se realiza utilizando resinas de intercambio aniónicas - base fuerte, con grupos funcionales de amonio cuaternario. Sobre estos grupos, el ion cloruro es reemplazado por iones fluoruro. Se emplea regeneración con salmuera. El proceso se afecta por la presencia de interferencias como: fosfato, arsénico, sulfato, carbonato y alcalinidad. EPA no recomienda este método por su poca selectividad y altos costos derivados del manejo del equipo y la salmuera.	Desempeño sin reporte <u>No recomendado por EPA</u>



#	Alternativa	Descripción	Desempeño
4	Coagulación – floculación	Consiste en una modificación del método tradicional con sulfato de aluminio, que ha permitido reportar que al aplicar 200 mg/L de esta sal, es posible obtener 60% de reducción de fluoruro. Esto permitiría cumplir la norma nacional si el agua cruda tuviera máximo 1.7 mg/L. El agua cruda en este caso tiene concentraciones mayores a 2 mg/L. Existe potencial problema de generar niveles altos de aluminio residual. No recomendada por EPA debido a las altas dosis de aluminio.	< 60% <u>No recomendado por EPA</u>
5	Ablandamiento con cal / carbonato de sodio	Aumenta el pH hasta valores superiores a 10, resultando en el arrastra del fluoruro como una función de la cantidad removida de magnesio. Se basa en coprecipitación con Hidróxido de Magnesio. Sólo se recomienda para aguas con bajo contenido de fluoruro y alto contenido de magnesio que requiera ablandamiento.	
6	Tecnología “Nalgonda”	Se emplea una sal de aluminio y cal, seguidas por mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración para remover fluoruro. Se basa en atracción electrostática del fluoruro al hidróxido de aluminio. Requiere una dosis mucho más alta de aluminio que el proceso tradicional de remoción de turbiedad. No recomendada por EPA.	Desempeño sin reporte <u>No recomendado por EPA</u>
7	Electrodialisis reversa	Una corriente eléctrica para separar contaminantes iónicos del agua cruda, a través de membranas semi-permeables. La polaridad de los electrodos se invierte periódicamente para causar el cambio en el movimiento de los iones; esto elimina la necesidad de acondicionamiento químico. Se puede presentar pérdida de agua entre un 5 y un 30%. Existen reportes que indican remociones de fluoruro adecuadas, hasta valores de 0.21 mg/L a partir de calidades de 3 mg F/L.	> 90% <u>No estudiado por EPA</u>

Referencia: EPA, 2014; Lawler, 2013; Sollo, 1978


	Informe Técnico		Página 13 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

Antes de analizar la información tabulada en el Cuadro 1 es importante determinar cuál es la condición de tratamiento que se busca. El agua en cuestión, de acuerdo con lo indicado por los análisis 06597-2014, 05768-2015 y 09204-2019, cuenta con un pH ligeramente básico, siendo el valor siempre inferior a 8.0. Es un agua con una condición de dureza baja y no presenta incumplimiento de otros parámetros correspondientes a los niveles N1, N2 y N3. El valor de sodio y el de sulfatos que se registra sí sobrepasa el valor alerta establecido, aunque no se alcanza el valor máximo admisible y todo muestra un comportamiento estable en el tiempo.

Una vez determinados los puntos anteriores, es posible estimar un valor promedio de la concentración de fluoruros que asciende a 2.68 mg/L, mientras que el valor máximo documentado corresponde a 3.29 mg/L. Si se toma como referencia el valor máximo admisible establecido para la temperatura del agua de la fuente bajo análisis, se tiene una meta final de concentración de fluoruros de 0.7 mg/L. En virtud de lo anterior, la eficiencia mínima aceptable para el proceso de tratamiento que se seleccione es de prácticamente un 80%.

Antes de considerar la aplicación de una herramienta multicriterio para seleccionar las tecnologías más apropiadas, es posible realizar un descarte preliminar de opciones con base en dos criterios: a) desempeño mínimo aceptable, y b) recomendación EPA. A partir de estos elementos, las opciones que más se ajustan a las condiciones de proyecto son las indicadas como 1, 2 y 7 (Cuadro 1). Por lo tanto, el análisis subsiguiente se orienta únicamente a profundizar en el conocimiento de esas tres opciones.

Debido al grado de madurez tan bajo que presenta en el mercado mundial y local la electrodiálisis reversa, se procedió a realizar consultas telefónicas con proveedores locales de bienes y servicios en el área de tratamiento de aguas. Se consultó acerca de las posibilidades de uso de esta opción tecnológica para el caso en estudio. La respuesta de solamente uno de tres proveedores consultados fue que la tecnología sí aplica para

	Informe Técnico		Página 14 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

el proyecto en cuestión; sin embargo, se realizaría consulta a la fábrica en el exterior para obtener más detalles e incluso el costo respectivo.

Luego de prácticamente tres semanas de haber tramitado la consulta, no se había obtenido respuesta; por lo tanto, la alternativa 7 fue descartada para el presente análisis. En consecuencia, debido a que el descarte inicial permitió delimitar el estudio a dos opciones de tratamiento, las secciones subsiguientes se desarrollan para la alternativa 1 y la 2 (Cuadro 1).

3.3. Costos de inversión

Con el fin de estimar los costos de inversión, se emplea información de precios analizados por la UEN ID, los cuales se han ido validando y actualizando conforme se ejecutan proyectos de inversión en el campo de tratamiento de aguas. Esta información se complementa también con recomendaciones para estimaciones de costos de diversa índole para la elaboración de presupuestos preliminares (Peters & Timmerhaus, 1991). De acuerdo con los cálculos realizados el costo directo preliminar de inversión para la alternativa 1 es el que se muestra en el Cuadro 2; el caso de la alternativa 2 se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Costo preliminar de inversión para la alternativa de adsorción sobre alúmina activada

Item	Concepto	Costo
1	Medidor de caudal (afluente y efluente PP)	\$16,000
2	Filtro en línea autolimpiante para arenas	\$13,000
3	Módulo de tratamiento (incluye manejo de retrolavados), referencia proyecto As	\$295,000
4	Sistema para desinfección final	\$30,000
5	Almacenamiento y dosificación de acondicionador de lodos	\$18,000
6	Bomba para percolados	\$9,000
7	Lecho de secado	\$360
8	Equipo de monitoreo presuntivo	\$10,000
9	Tubería y valvulería	\$7,827
10	Caseta tratamiento	\$33,000
11	Caseta cloración	\$15,500



Item	Concepto	Costo
12	Instalación eléctrica general	\$78,272
	Total	\$525,959

Referencia: Elaboración propia

Cuadro 3. Costo preliminar de inversión para la alternativa de filtración con membranas


Item	Concepto	Costo
1	Medidor de caudal (afluente y efluente PP)	\$16,000
2	Filtro en línea autolimpiante para arenas	\$13,000
3	Módulo de tratamiento (incluye manejo de retrolavados)	\$170,000
4	Sistema para desinfección final	\$30,000
5	Equipo de monitoreo presuntivo	\$10,000
6	Tubería y valvulería	\$4,780
7	Caseta tratamiento	\$33,000
8	Caseta cloración	\$15,500
9	Instalación eléctrica general	\$47,800
	Total	\$340,080

Referencia: Elaboración propia

Debido a la indicación de la parte interesada, no se realiza un análisis financiero porque esa tarea estará a cargo del área de Formulación de Proyectos. Como parte del insumo de la UEN ID sólo se consideraba la estimación de los datos para que esa unidad de trabajo pueda realizar todo el trabajo complementario de su competencia. Sin embargo, es importante anotar que hay que considerar que la opción 2 sólo permite aprovechar cerca de 5 L/s pues se genera un rechazo por el principio de funcionamiento de la filtración por membranas. Es posible incrementar ligeramente este rendimiento con el uso de agentes químicos anti-incrustantes, pero para ello se requiere realizar pruebas prácticas.

3.4. Costos de operación y mantenimiento

Para la estimación de los costos de operación y mantenimiento, se generó una serie de criterios basados en experiencia propia del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). La metodología en cuestión ya ha sido validada por medio de

	Informe Técnico		Página 16 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

ejercicios desarrollados como parte de algunos proyectos de inversión, incluso considerando valores aportados por contratistas de muy alto nivel técnico.


En el caso de la alternativa con alúmina activada, se considera que prácticamente la mitad del costo operativo se debe a consumo de energía eléctrica para bombear el agua a través de tanques de adsorción. En segunda instancia, el monitoreo de la calidad del agua consume cerca del 20% de los recursos. La mano de obra, para supervisión y control del sistema conlleva cerca del 15% del gasto operativo. En total, se estima un costo de tratamiento de aproximadamente 30 centavos de dólar por metro cúbico tratado, lo cual es un costo bajo si se compara con estándares industriales. No obstante, se recomienda la eventual realización de un estudio tarifario para asegurar los recursos al ente operador del sistema.

Cuadro 4. Costo preliminar de operación y mantenimiento para de adsorción sobre alúmina activada

Item	Concepto	Costo
1	Mano de obra	¢523,673
2	Cargas sociales	¢219,943
3	Energía eléctrica	¢1,596,198
4	Productos químicos	¢10,806
5	Monitoreo	¢698,250
6	Profesional para control operativo	¢150,000
7	Imprevistos	¢150,000
8	Total mensual (¢)	¢3,348,871
9	Unitario mensual (¢/m³)	¢182
	Unitario mensual (\$/m³)	\$0.30

Referencia: Elaboración propia

En el caso de la alternativa con membranas, se considera que cerca de un 63% del costo operativo se debe a consumo de energía eléctrica para bombear el agua a través de los equipos de tratamiento. En segunda instancia, el monitoreo de la calidad del agua consume cerca del 12% de los recursos. La mano de obra, para supervisión y control del sistema conlleva cerca del 10% del gasto operativo. En total, se estima un costo de tratamiento de aproximadamente 50 centavos de dólar por metro cúbico tratado, lo cual

	Informe Técnico		Página 17 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

es un costo bajo si se compara con estándares internacionales para agua salobre (incluso a pesar de la escala). No obstante, también se recomienda la eventual realización de un estudio tarifario para asegurar los recursos al ente operador del sistema.

Cuadro 5. Costo preliminar de operación y mantenimiento para la alternativa de filtración con membranas

Item	Concepto	Costo
1	Mano de obra	¢523,673
2	Cargas sociales	¢219,943
3	Energía eléctrica	¢3,463,969
4	Productos químicos	¢267,078
5	Monitoreo	¢682,250
6	Profesional para control operativo	¢150,000
7	Imprevistos	¢150,000
8	Total mensual (¢)	¢5,456,912
9	Unitario mensual (¢/m³)	¢296
	Unitario mensual (\$/m³)	\$0.49

Referencia: Elaboración propia



4. CONCLUSIONES

- Las alternativas más recomendadas para tratamiento de fluoruros, con base en los supuestos del estudio, son: adsorción sobre alúmina activada y filtración con membranas.
- El costo de inversión preliminar para un caudal de 7 L/s, en el caso de adsorción sobre alúmina activada, se encuentra cercano a los \$526,000.
- El costo de inversión preliminar para un caudal de 7 L/s, en el caso de filtración con membranas, se encuentra cercano a los \$340,000. Esto considera que el rechazo cumple la calidad para vertido a un cuerpo receptor.
- El costo preliminar de operación y mantenimiento para un caudal de 7 L/s, en el caso de adsorción sobre alúmina activada, se encuentra cercano a los \$0.30.
- El costo preliminar de operación y mantenimiento para un caudal de 7 L/s, en el caso de filtración con membranas, se encuentra cercano a los \$0.50.

5. RECOMENDACIONES

- Estudiar el origen de la concentración documentada de sodio y sulfatos en el agua de la fuente en cuestión.
- Verificar la condición de calidad de agua según se sugiere en el Compendio de Productos 2018 de la Comisión de Potabilización.
- Valorar la inclusión de la alternativa de electrodiálisis reversa para futuros análisis de tecnologías para tratamiento de aguas, siempre y cuando cuente con un grado de madurez suficiente en el país.
- Realizar un diseño final detallado y un estudio tarifario previo, antes de la instalación de cualquier alternativa de tratamiento en una ASADA.




6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Environmental Protection Agency (EPA). *Design manual: removal of fluoride from drinking water supplies by activated alumina*. Cincinnati: Office of Research and Development, Water Supply and Water Resources Division. (2014)
- Lawler, D., et al. *Fluoride removal in small water systems: a coagulation approach*. Texas: University of Texas. (2013)
- Ministerio de Salud de Costa Rica (MINSA). *Reglamento para la calidad del agua potable y sus reformas*. San José: Gobierno de Costa Rica. (2015)
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. *Plant design and economics for chemical engineers*. New York, McGraw-Hill. (1991)
- Sollo, F., et al. *Fluoride removal from potable water supplies*. Washington D.C.: U.S. Department of the Interior: Office of Water Research and Technology. (1978)
- World Health Organization (WHO). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: World Health Organization. (2017).




7. CONTROL DE CAMBIOS

N° Versión	Justificación de los cambios	Descripción de los cambios

	Informe Técnico		Página 21 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

8. APÉNDICES

	Informe Técnico		Página 22 de 22
	Fecha de entrega: 23 de enero de 2020	N° de Versión: 01	

9. ANEXOS