



INSTITUTO COSTARRICENSE DE
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

Alternativas de potabilización para mejora de la calidad de agua en Bagaces

Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020

CONSECUTIVO DEL DOCUMENTO: **BPI2020-AT4-II-IA-4**

VERSIÓN 01.



**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



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

Firma: _____



Macroproceso: Gestión Técnica	Proceso: Investigación y Desarrollo	Subproceso: Investigación Aplicada	Fecha de entrega: 31 de marzo 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 ANDRÉS LAZO
PAEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.03.31
12:03:59 -06'00'


Andrés Lazo Páez

Aprobado por:

**GERMAN
GUSTAVO
MORA
RODRIGUE
Z (FIRMA)**

Firmado
digitalmente por
GERMAN
GUSTAVO MORA
RODRIGUEZ
(FIRMA)
Fecha: 2020.03.31
14:31:05 -06'00'

German Mora Rodríguez

	Informe Técnico		Página 3 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo 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 arsénico 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. En el caso de Costa Rica, el arsénico que es posible encontrar en agua subterránea usualmente tiene origen en los minerales que componen la corteza terrestre (CCOA, 2014). En el país se han reportado valores de hasta varios cientos de microgramos por litro; aún bajo esta condición, la situación no se considera tan extrema como en otras latitudes donde los valores alcanzan dos o tres órdenes de magnitud más.

Este elemento químico ha sido detectado en la fuente que abastece el acueducto de Bagaces desde el año 2016, y su concentración típica se encuentra entre 8.4 y 10.9 µg/L. El valor promedio histórico de la fuente es de 9.5 µg/L. Es decir, la mayor parte del tiempo la concentración de arsénico cumple con el valor máximo admisible establecido para Costa Rica. Sin embargo, existen momentos puntuales durante el año en que se han detectado valores superiores al requerido; específicamente, en un 23% de las muestras valoradas por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA).

El comportamiento de la concentración de arsénico en la fuente no es controlable por parte del operador del sistema. Sin embargo, es fundamental tomar medidas que permitan el abastecimiento permanente de agua de calidad potable en la comunidad. El presente documento contribuye a la búsqueda de soluciones para la afectación. Debido a que otras áreas funcionales del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados tienen a cargo el análisis y solución integral de esta problemática, el análisis planteado por este medio sólo contempla alternativas para mejora de la calidad de agua de la fuente actual.

Se determinó que, preliminarmente, las alternativas más viables para tratamiento del agua de la fuente afectada son: coagulación-filtración, adsorción y filtración con

	Informe Técnico		Página 4 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

membranas. A partir de la información técnica recopilada se establecieron aspectos tales como: costos de inversión preliminares, costos de operación y mantenimiento, ventajas y desventajas de la implementación de cada alternativa. Esto sirve como insumo al trabajo de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos.


	Informe Técnico		Página 5 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020		N° de Versión: 01

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Antecedentes.....	7
1.2. Justificación	8
1.3. Objetivos.....	8
1.3.1. Objetivo General.....	8
1.3.2. Objetivos específicos	8
1.4. Alcance.....	9
1.5. Limitaciones.....	9
2. METODOLOGÍA	9
2.1. Marco metodológico.....	9
2.2. Conformación del equipo	9
2.3. Actividades realizadas	9
3. RESULTADOS.....	10
3.1. Alternativas tecnológicas	10
3.2. Selección tecnológica	16
3.3. Estrategia propuesta.....	20
4. CONCLUSIONES	21
5. RECOMENDACIONES	21
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
7. CONTROL DE CAMBIOS	25
8. APÉNDICES	26
9. ANEXOS.....	27

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1 Criterios de selección tecnológica del tratamiento para el caso en estudio.....	17
Cuadro 2 Índices obtenidos para selección tecnológica del tratamiento para el caso en estudio	19



	Informe Técnico		Página 6 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Comportamiento de la dilución de la naciente Bagaces, tratando solamente 5 L/s.....12

Figura 2 Comportamiento de la dilución de la naciente Bagaces, tratando solamente 7 L/s.....13

	Informe Técnico		Página 7 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020		N° de Versión: 01

1. INTRODUCCIÓN


El sistema bajo análisis corresponde al que abastece el casco central de Bagaces, entre algunos otros sectores. Se requiere buscar una solución temporal que permita eliminar la incertidumbre que genera la variabilidad en la concentración de arsénico en la fuente principal que abastece la comunidad. Todo corresponde a un sistema operado por la Región Chorotega (RCH) del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), quien recibe el apoyo de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos (SGSP).

En fecha 30 de marzo del 2020, la Subgerente de Gestión de Sistemas Periféricos 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 la fuente afectada por la concentración de arsénico que supera la norma nacional. La intención es poder emplear el líquido tratado para consumo humano. La solicitud de asesoría técnica se formaliza el mismo día.

1.1. Antecedentes

La iniciativa de investigación surge como una necesidad de atención a una situación recurrente que también se ha presentado en otras zonas del país. Las principales afectaciones se encuentran actualmente en las zonas de Bagaces, Cañas y Los Chiles; se conocen otras pequeñas afectaciones pero que corresponden a un impacto poblacional menor. En la Región Chorotega, hoy en día se aborda la temática por medio de cuatro plantas potabilizadoras; tres de ellas ubicadas en las cercanías del casco central de Bagaces. Específicamente, se aplica el proceso unitario conocido como adsorción sobre dióxido de titanio para remover el arsénico presente en el agua hasta alcanzar las metas de calidad propuestas.

Ya existe un proyecto integral para la atención de esta problemática, el cual se encuentra a cargo de la UEN Programación y Control. No obstante, su finalización está

	Informe Técnico		Página 8 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

prevista para dentro de 18 a 24 meses, ya que está pendiente una actividad de refrendo por parte de la Contraloría General de la República, así como la licitación y construcción de los últimos componentes. Con este proyecto se estaría reemplazando la fuente afectada por arsénico por otra de mejor calidad.

Adicionalmente, durante el año 2019 la UEN Investigación y Desarrollo (ID) remitió a la SGSP un informe (UEN-ID-2019-00451) denominado: “*Alternativas para reducción del impacto del sílice en el desempeño de las plantas potabilizadoras para remoción de arsénico de Bagaces, Guanacaste*”. En el mismo se actualizaba el conocimiento relacionado con alternativas para remoción de arsénico, en términos de alcance y costo. Este documento se utiliza como base para el análisis que se realiza para el caso de Bagaces.

1.2. Justificación

El presente informe responde a la solicitud de asesoría técnica denominada: 2020-GTE-106-02-F1-04.


1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Establecer alternativas tecnológicas para el tratamiento del agua que abastece el casco central de Bagaces, cuya concentración de arsénico supera ligeramente el valor máximo admisible indicado por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer alternativas de remoción de arsénico presente en agua.
- Estimar los costos directos aproximados de inversión para sistemas de remoción de arsénico presente en agua: caso Bagaces centro.
- Estimar los costos directos aproximados de operación para sistemas de remoción de arsénico presente en agua: caso Bagaces centro.

	Informe Técnico		Página 9 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

1.4. Alcance

Este documento corresponde a un análisis preliminar de tecnologías disponibles para atender la calidad de agua afectada por arsénico. 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.

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.

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 arsénico. 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 del área solicitante, específicamente la Ing. Rosa González Palma de la Región Chorotega de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos.

2.3. Actividades realizadas

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


	Informe Técnico		Página 10 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020		N° de Versión: 01

3. RESULTADOS

3.1. Alternativas tecnológicas

Luego de revisar la información aportada por la Región Chorotega y el Laboratorio Nacional de Aguas, se establecieron algunos parámetros básicos para realizar el análisis solicitado:

- El caudal a tratar de la fuente afectada es: 17 L/s.
- Se busca cumplimiento sostenido del valor máximo admisible. No se toma como meta el generar agua con una concentración de arsénico inferior al límite de cuantificación o detección con que cuenta el LNA. Solamente, se busca cumplir con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de manera sostenida.
- Se consideran sólo los costos directos en las propuestas analizadas.
- Se supone la concentración de algunas especies químicas tales como: sílice, boro y azufre.
- Se supone el desempeño de las alternativas tecnológicas con base en literatura especializada.
- Se suponen rubros de operación y mantenimiento según criterio de la UEN ID.
- No se consideran aspectos complementarios importantes, tales como: terreno disponible, servidumbres, accesos, servicio eléctrico, colindancias, mejoras en el sitio de planta, disposición de un cuerpo receptor cercano, etc.
- No se consideran ensayos experimentales para verificar posibilidades de optimización de procesos.

	Informe Técnico		Página 11 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

- No se incluyen criterios de análisis económico, social o del entorno para la selección de alternativas.
- No se consideran mejoras propias de la optimización del funcionamiento del sistema existente, lo cual corresponde a la SGSP.

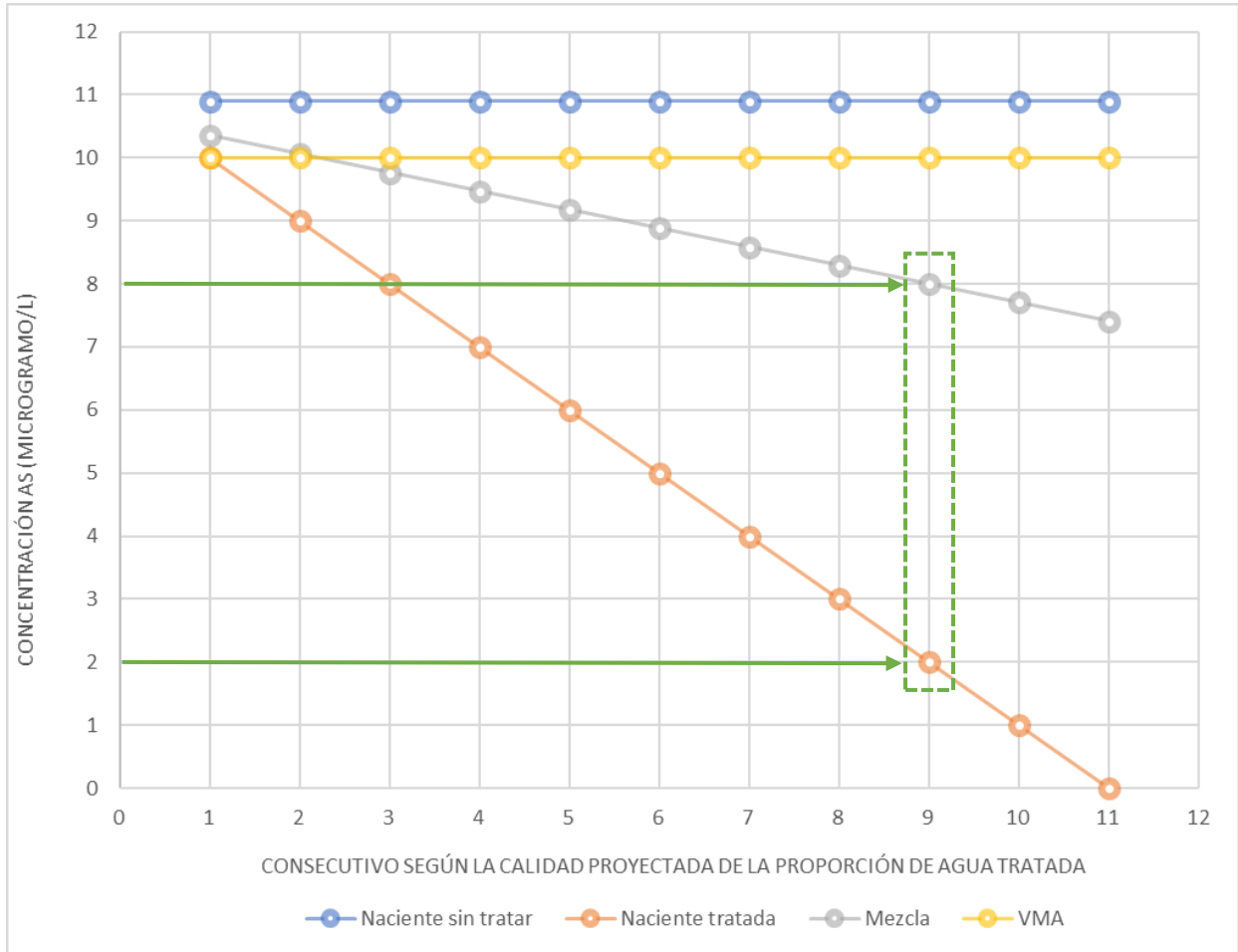
En segunda instancia, es importante anotar que todo proyecto de tratamiento de aguas debe considerar aspectos relacionados con sostenibilidad. Es por ello por lo que en este caso no se propone un tratamiento permanente para el caudal completo de la naciente Bagaces. En cambio, se busca valorar la posibilidad de tratamiento de una porción de la fuente de agua, durante la época climática más crítica. Ya es conocido que la fuente puede llegar a producir cerca de 27 L/s en invierno y puede bajar hasta cerca de 17 L/s en verano, con el correspondiente cambio en la concentración de arsénico.

Tal y como se observa en la Figura 1, si se tratan solamente 5 L/s de los 17 L/s que abastece la fuente en época crítica, el comportamiento de la mezcla de agua tratada con la que no se procesa es el que presenta la línea en color gris (etiqueta “mezcla”). Dependiendo de qué tan alta sea la concentración de arsénico en el agua tratada, así variaría la concentración en la mezcla final. Sería posible obtener valores finales que se ubican entre 7.4 y 10.4 microgramos por litro, partiendo de un análisis con la peor condición de calidad de agua reportada en los datos históricos de la naciente (10.9 µg/L).

Se considera que el comportamiento mostrado en la Figura 1 deja el sistema con una condición alta de vulnerabilidad, pues para lograr un nivel de máximo 8 µg/L en la mezcla, sería necesario contar con un agua tratada que permita obtener no más de 2 µg/L de manera permanente. Esto es una limitante tecnológica importante para considerar en el momento de escoger una metodología de tratamiento.

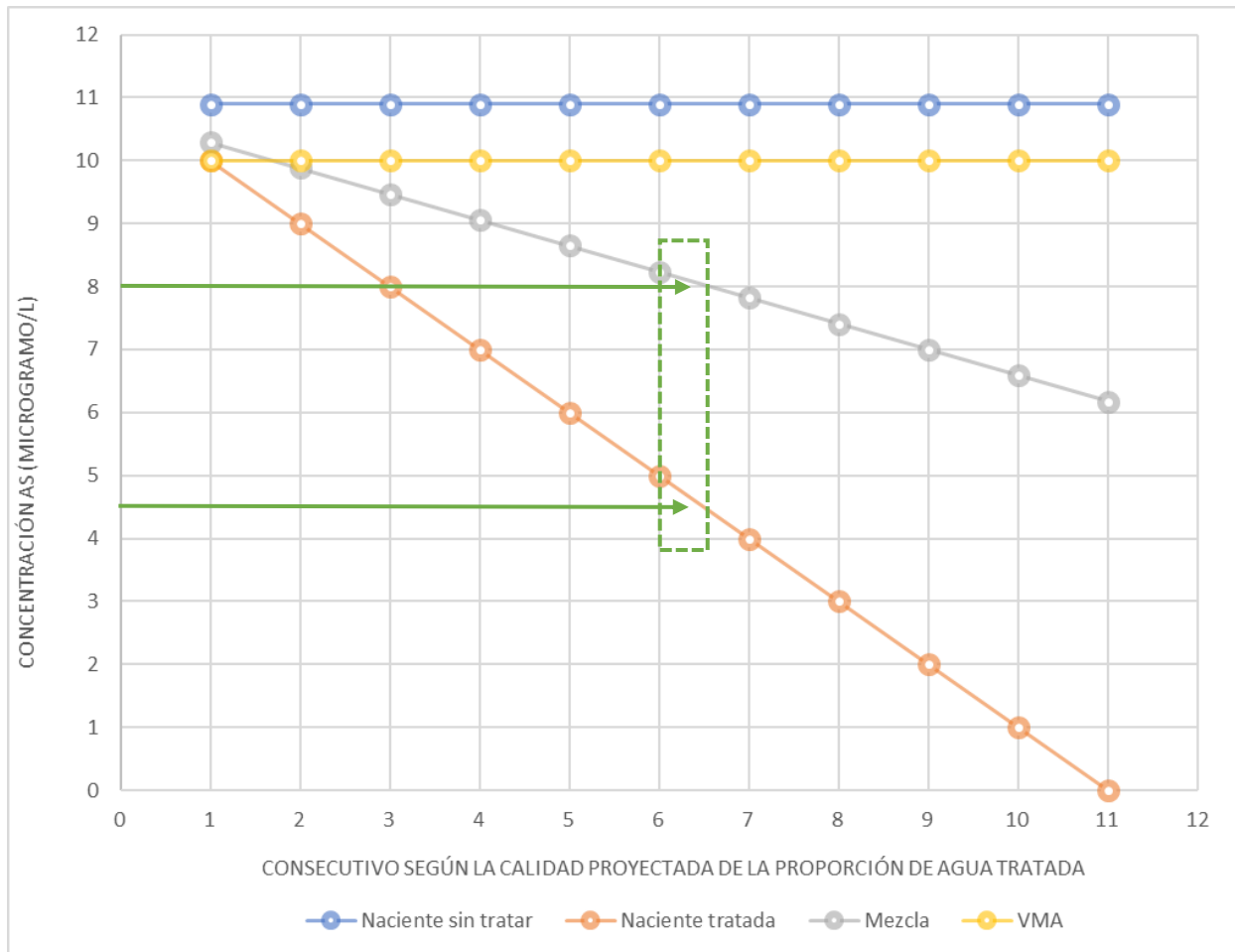


Figura 1 Comportamiento de la dilución de la naciente Bagaces, tratando solamente 5 L/s




Referencia: Elaboración propia

Figura 2 Comportamiento de la dilución de la naciente Bagaces, tratando solamente 7 L/s



Referencia: Elaboración propia


Si se opta por tratar 7 L/s de la naciente (Figura 2), sería posible lograr alcanzar concentraciones más bajas del elemento en la mezcla. Sería posible lograr 8 µg/L en la mezcla si el agua de la porción tratada tiene una concentración entre 4 y 5 µg/L. Aunque se mantiene un reto tecnológico importante, se considera que es una meta de tratamiento más factible con tecnologías más convencionales. Incluso, si el agua tratada lograra llegar a una concentración de 2 µg/L, la mezcla ofrecería un escenario más seguro (7 µg/L). Es común que los equipos portátiles de medición de arsénico tengan una

	Informe Técnico		Página 14 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020		N° de Versión: 01

desviación de uno o dos microgramos por litro, si se comparan con técnicas de laboratorio como ICP-MS; por ello, el valor de 7 µg/L es bastante más apropiado para operación.

Finalmente, según Cotruvo (2015), Reinsel (2015), EPA (2003) y Meyers (1999), las alternativas más comunes de tratamiento son:

- a) Coagulación filtración: considera el uso de cloruro de hierro III (FeCl_3) para generar hidróxidos metálicos afines a las moléculas que contienen el arsénico. Posteriormente, se remueve todo el sólido suspendido por medio de filtración rápida, generando un lodo residual que arrastra gran parte del arsénico que inicialmente se encontraba presente en el agua. Conlleva una cierta pérdida de producción por operaciones de retrolavado y gestión de lodos.
- b) Ósmosis inversa: considera el uso de membranas de baja presión para desmineralizar el agua. Posteriormente, se emplea un punto de mezcla con agua cruda que permita equilibrar la composición del agua. No presenta generación de lodo residual, aunque sí conlleva una pérdida de parte del caudal tratado, por la naturaleza del sistema.
- c) Precipitación química: considera el proceso de ablandamiento con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), en el cual la partícula de cal arrastra las moléculas que contienen el arsénico, las cuales se remueven posteriormente por medios físicos en forma de lodo residual. Conlleva una cierta pérdida de producción por operaciones de retrolavado y gestión de lodos.
- d) Adsorción: considera el uso de un medio adsorbente para retener las moléculas que contienen el arsénico, a diferencia de los procesos de intercambio iónico, que retienen iones. El material cuenta con una vida útil que depende de la calidad del agua. No presenta generación de lodo residual. Conlleva una cierta pérdida de producción por operaciones de retrolavado.


	Informe Técnico		Página 15 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020		N° de Versión: 01

- e) Intercambio iónico: considera el uso de una resina de intercambio aniónico tipo base fuerte, donde se lleva a cabo regeneración con bases fuertes. Conlleva una cierta pérdida de producción por operaciones de regeneración.

Con el fin de fortalecer la experiencia adquirida al día de hoy, tanto por la Región Chorotega como por la UEN ID, se realizaron algunas consultas adicionales que permitieran pre-seleccionar mejor una tecnología apta para los sistemas de potabilización con remoción de arsénico. Los principales aspectos analizados fueron:

- Según Romero (2019), el manejo de grandes volúmenes de residuos con condiciones que podrían catalogarse como residuo peligroso no es viable para sistemas de agua con producción continua y abastecimiento poblacional. Adicionalmente, el volumen requerido de regenerante para estas operaciones unitarias encarece significativamente este tipo de procesos, bajo las condiciones indicadas. Por lo tanto, de las alternativas anteriormente indicadas, se descarta la “opción e”.
- Considerando la opción c, durante el año 2019 se probó en el Laboratorio de Investigación de Tecnologías de Tratamiento de Agua la remoción de sílice con hidróxido de calcio (precipitación química). Se añadieron dosis entre 200 y 400 mg/L, determinadas para propósitos de procesos de ablandamiento con cal. Para las condiciones experimentales utilizadas, no fue posible obtener remociones significativas de sílice por medio de esta operación, pese a alcanzar valores de pH superiores a 11. Se obtuvo una remoción de arsénico de hasta 80%.

De acuerdo con los criterios documentados, el análisis posterior se centra propiamente en las siguientes alternativas: a, b, c y d. Es importante anotar que también se conoce acerca de la posibilidad de tratar el agua dentro del acuífero, por medio de técnicas que replican el funcionamiento de procesos de tratamiento, pero dentro del espacio donde se ubica y fluye el agua subterránea. Sin embargo, por la poca experiencia disponible en el

	Informe Técnico		Página 16 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

país para este tipo de aplicación y debido a limitantes de índole regulatorio, no se consideran dentro de las valoraciones posteriores que se realizan.

3.2. Selección tecnológica

Un ejercicio de selección tecnológica requiere de la postulación de los criterios para valoración de la conveniencia de uso de una determinada alternativa. Asimismo, cualquiera de estas herramientas cuenta con un componente de subjetividad propio de la formulación de este tipo de esquemas. Por ello, en este caso se toma como referencia lo establecido por EPA (2003) así como algunos criterios propios (Lazo, 2019) que comúnmente se valoran en proyectos institucionales de infraestructura. Es importante anotar que se varían los criterios considerados inicialmente por el autor en el estudio del año 2019, debido a que en este caso se presentan las siguientes nuevas condiciones:

- Búsqueda de una tecnología con capacidad de proporcionar una calidad de agua estable a lo largo del tiempo, sin importar cambios menores en la composición de la fuente.
- Tratamiento parcial de una fuente, para buscar alcanzar un grado apropiado de dilución.
- Adaptación de la tecnología a diferentes condiciones de sitio.
- Bajo requerimiento de mano de obra para operación normal.

En el caso específico de Bagaces, se proponen los criterios de valoración que se muestran en el Cuadro 1. EPA (2003) propone que algunos aspectos a considerar en valoración de este tipo de tecnologías, aparte del desempeño, son: pérdida de agua, limitantes de calidad de agua cruda, cantidad de lodo generado, requerimiento de post-tratamiento, y facilidad de operación. Adicionalmente, a nivel específico de la gestión de AyA, se modificaron algunos y se adicionaron otros criterios, tal como es el caso de la inversión inicial requerida y el costo de operación y mantenimiento.



A continuación, para cada criterio se muestra el valor aproximado correspondiente a cada aspecto, con la salvedad de que los costos de inversión directa se tomaron de información de mercado histórica recopilada por la UEN ID. De hecho, incluyen el manejo de residuos cuando corresponda. Sin embargo, éstos deben ser actualizados por medio de un estudio de mercado.

Cuadro 1 Criterios de selección tecnológica del tratamiento para el caso en estudio


#	Alternativa	Inversión directa estimada (US\$)	Costo unitario diferenciado (US\$/m ³)	Pérdida de agua (%)	Cantidad lodo generado (kg/d)	Requerimiento mano de obra (h/d)	Estabilidad de la concentración (1 a 5, 1 mejor)
A	Coagulación - filtración	250,000	0.26	0.02	15	12	4.0
B	Ósmosis inversa	190,000	0.42	0.20	0	6	1.0
C	Precipitación química	250,000	0.33	0.02	181	12	4.0
D	Adsorción	292,000	0.59	0.02	0	6	2.0

Referencia: Elaboración propia

Específicamente, la alternativa a) y la c) conllevan un componente fuerte de gestión de residuos, por tratarse de un aspecto inherente a los procesos unitarios que las conforman. En el caso de las opciones b) y d) se considera que cualquier efluente generado contará con una condición de calidad satisfactoria eventual para vertido a un cuerpo receptor. Las características de esos efluentes se pueden actualizar al momento de realizar el estudio de mercado propuesto.

En cuanto al comportamiento de los criterios, es importante anotar que el monto de inversión directa que se anotó no contempla otros costos asociados a los procesos de compra institucionales, u algunos relacionados con mejoras de las condiciones específicas de los sitios donde se podría instalar la opción de tratamiento. Además, el costo unitario de tratamiento que se anota se considera como “diferenciado” por considerar los costos que más influyen en operación y mantenimiento; es decir, aquellos que son comunes a todas las alternativas no se incluyen en el índice. En este caso, los valorados son:

- Energía eléctrica.

	Informe Técnico		Página 18 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

- Consumo de productos químicos.
- Transporte y disposición de residuos.

Otros costos relacionados con operación y mantenimiento se consideran comunes a todas las alternativas, y por tanto no se incluyen en la comparación (costo de mano de obra, desinfección, monitoreo, supervisión, vigilancia, imprevistos, etc). El eventual requerimiento de repuestos y accesorios no se incluye, debido a que la mayoría no requiere de cambio de piezas durante los primeros dos años de operación. Esto según la experiencia documentada en sistemas tanto públicos como privados. A solicitud de algún área técnica, sería posible realizar un análisis más detallado, con proyección a varios años de operación.

En el caso de la pérdida de agua, se consideran valores típicos para sistemas de filtración rápida (alternativas a, c, y d) y de rechazo en agua salobre (alternativa b). Las cantidades de lodo generado se estiman de manera preliminar como una masa materia seca derivada de la adición de ciertos insumos al agua. La estabilidad de la concentración se calificó según las capacidades reales de cada tecnología, bajo criterio experto de personal de AyA. Específicamente, es importante anotar que, aunque la adsorción presenta una buena estabilidad de la calidad del efluente, su naturaleza conlleva el agotamiento progresivo del medio adsorbente. Esto influye en que no se pueda sostener un solo valor deseado de concentración de arsénico en la salida durante toda la operación, lo cual afecta cualquier propuesta de dilución.

Ahora bien, los resultados del Cuadro 1 se transformaron en índices, para poder generar una ponderación que permita validar los supuestos planteados. Se compara cada valor, con el mínimo obtenido para la categoría. Los resultados se muestran en el Cuadro 2.



Cuadro 2 Índices obtenidos para selección tecnológica del tratamiento para el caso en estudio


#	Alternativa	Inversión directa estimada (US\$)	Costo unitario diferenciado (US\$/m ³)	Pérdida de agua (%)	Cantidad lodo generado (kg/d)	Requerimiento mano de obra (h/d)	Estabilidad de concentración	TOTAL
A	Coagulación - filtración	0.8	1.0	1.0	0.0	0.5	0.3	59%
B	Ósmosis inversa	1.0	0.6	0.1	1.0	1.0	1.0	79%
C	Precipitación química	0.8	0.8	1.0	0.0	0.5	0.3	55%
D	Adsorción	0.7	0.4	1.0	1.0	1.0	0.5	76%

Referencia: *Elaboración propia*

Según los resultados obtenidos, el orden de preferencia de las alternativas propuestas es el siguiente:

1. Ósmosis inversa.
2. Adsorción.
3. Coagulación – filtración.
4. Precipitación química.

Tal y como ya lo establece la EPA de los Estados Unidos, la coagulación-floculación y la adsorción son las metodologías más utilizadas para atender reducción de la concentración de arsénico en agua. Esto también coincide con el análisis realizado por el AyA en años anteriores. No obstante, en este caso, la ósmosis inversa emerge como una alternativa para el proyecto propuesto de dilución de aguas. El caso de esta última opción se vio favorecido significativamente en términos de: estabilidad de la concentración y la inversión directa inicial; incluso a pesar de contar con criterios algo desfavorables en términos de pérdida de agua y costo unitario diferenciado. Se debe recordar que este es un caso particular.

	Informe Técnico		Página 20 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020		N° de Versión: 01

3.3. Estrategia propuesta

Para poder implementar la opción de tratamiento valorada como más viable se propone realizar las siguientes actividades:

- Cotizar un módulo transportable de tratamiento, bajo el principio de ósmosis inversa, para (al menos) 7 L/s de la naciente Bagaces. Al mismo tiempo, verificar con las diversas casas comerciales la posibilidad de que se pueda tratar agua (según necesidad) de las siguientes fuentes:
 - Pozo Bagaces.
 - Pozo Quintas don Miguel.

De esta manera, el equipo de tratamiento se podría alternar entre las fuentes mencionadas para dar robustez operativa al acueducto y en general a la Región Chorotega. Claramente, cada fuente contará con condiciones de calidad de agua que podría afectar el desempeño, tanto favorable como desfavorablemente.

- Determinar los requerimientos técnicos mínimos, para la eventual instalación de un equipo de este tipo.
- Determinar los requerimientos comerciales a considerar para la eventual adquisición de un equipo de este tipo.
- Cotizar una propuesta de capacitación para el personal operativo de la Región Chorotega, que acompañe la adquisición del equipo.
- Estimar el monto total requerido para la adquisición del equipo en cuestión.
- Solicitar a la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos la elaboración de un cartel de compra para el equipo en cuestión, valorando incluso la posibilidad de adquisición bajo las condiciones establecidas en:
 - Decreto Ejecutivo 42227-MP-S: Emergencia por Coronavirus.



- Decreto Ejecutivo 38642-MP-MAG: Emergencia por sequía en cantones de la provincia de Guanacaste.
- Solicitar a la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos asegurar la logística de operación de la solución propuesta, considerando entre otros aspectos, terreno para colocación de la unidad de tratamiento, servidumbres, accesos, alimentación eléctrica, entre otros.


Este proceso podría contar con acompañamiento por parte de la UEN Investigación y Desarrollo, pero se requiere de una persona de la SGSP que asuma el rol de líder de proyecto.

4. CONCLUSIONES

- Con el fin de satisfacer criterios para dilución de la fuente Bagaces, se puede indicar que la tecnología de ósmosis inversa es la más apropiada.
- Es necesario tratar al menos 7 L/s, para poder diluir de manera satisfactoria la fuente Bagaces.
- La alternativa de ósmosis inversa conlleva un costo directo preliminar de inversión cercano a los \$200,000, y un costo operativo diferenciado cercano a 0.42 \$/m³.
- La solución propuesta podría no sólo atender la problemática de la naciente Bagaces, sino también otras cercanas.

5. RECOMENDACIONES

- Se debe promover estabilidad técnica para el acueducto Bagaces, mientras se concreta la construcción del proyecto integral basado en la fuente denominada Epifanía, el cual se encuentra proyectado para finalizar en dos años.
- La UEN ID está realizando un estudio que permita actualizar costos y las condiciones técnicas y comerciales de la alternativa tecnológica pre-seleccionada. Una vez que esté listo, se incorporará a esta versión de informe.


	Informe Técnico		Página 22 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

- Validar este producto con la Región Chorotega y la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos, previo a realizar el estudio de mercado propuesto.
- Determinar si cerca de cada ubicación propuesta existe un cuerpo de agua de caudal permanente, para vertido de cualquier efluente producto del proceso de potabilización.
- Verificar con las autoridades del Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente y otras entidades pertinentes, si se requiere de algún tipo de permiso ambiental o de salud para la propuesta de operación temporal de este tipo de soluciones de tratamiento.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comisión Científica Origen Arsénico (CCOA). *Investigación geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica sobre el origen del arsénico en la zona de Cañas-Bagaces y alrededores*. Bagaces: Grupo de trabajo inter-institucional – AyA, UCR, SENARA, MINAE. (2014)
- Cotruvo, J. (2015) *Contaminant of the month: silica and silicates*. [En línea]. Disponible en: <https://www.watertechonline.com/contaminant-of-the-month-silica-and-silicates/> [Accesado 03 Junio 2019]
- Environmental Protection Agency (EPA). *Arsenic treatment technology evaluation handbook for small systems*. Ohio: Office of Water. (2003)
- Hoffman, G. *Design manual: removal of arsenic from drinking water supplies by iron removal process*. 1a edición. Columbus: Environmental Protection Agency. (2006)
- Lazo, A. *Alternativas para reducción del impacto del sílice en el desempeño de las plantas potabilizadoras para remoción de arsénico de Bagaces, Guanacaste*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: UEN Investigación y Desarrollo. (2019)
- Meyers, P. *Behavior of silica in ion exchange and other systems*. New Jersey: ResinTech Inc. (1999)
- Ministerio de Salud (MINSa). *Reglamento para la calidad del agua potable*. San José: Gobierno de Costa Rica. (2015)
- Pennisi, N. *Water quality ranges*. Newark: Graver Technologies. (2015)
- Peters et al. *Plant design and economics for chemical engineers*. 5ª edición. New York: McGraw-Hill Higher Education. (2003)


	Informe Técnico		Página 24 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

- Reinsel, M. (2015) *Arsenic removal technologies: a review*. [En línea]. Disponible en: <https://www.wateronline.com/doc/arsenic-removal-technologies-a-review-0001> [Accesado 15 Mayo 2019]
- Romero, L. (2019) *Sistemas de tratamiento con sales de hierro para remoción de arsénico*. (Comunicación personal, 31 Mayo 2019).
- 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 26 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

8. APÉNDICES

	Informe Técnico		Página 27 de 27
	Fecha de entrega: 31 de marzo de 2020	N° de Versión: 01	

9. ANEXOS