

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIO IÓNICO UTILIZANDO ZEOLITA PARA  
EL ABLANDAMIENTO DE AGUA SUMINISTRADA POR EL POZO N°2 AL SISTEMA DE  
ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA – CESAR**



**AUTORES:**

NAIRED CÓRDOBA SILVA

KAROLINA PEÑA CASTRILLO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL & SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2021**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL ABLANDAMIENTO  
DE AGUA SUMINISTRADA POR EL POZO N°2 AL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA  
CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA – CESAR**

**AUTORES:**

NAIRED CÓRDOBA SILVA

KAROLINA PEÑA CASTRILLO

**DIRECTOR:**

HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA

**Msc. INGENIERÍA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL & SANITARIA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2021**

## DEDICATORIA

Nuestro proyecto está dedicado primeramente a Dios y luego a las personas que más han influenciado en nuestras vidas siendo nuestro soporte y guía con mucho amor y afecto lo dedicamos a: Jesualdo Córdoba, Rosiris Silva, Nalled Córdoba, Carlos Peña, Ana Castrillo y Daniela Peña. Los amamos.



### **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias Dios por no dejarme sola en este caminar, a mis padres Jesualdo Córdoba y Rosiris Silva, a mi hermana Nalled, a mi segunda madre Luz Marina Silva, a mis abuelos, tíos y primos, porque todos los días cada uno de ellos hacían lo posible para ayudarme, agradezco a el cuerpo de docentes en especial a Melissa Martínez y Hernando Oñate, a mi amiga Karolina Peña y sobre todo a las grandes personas que encontré en el camino universitario por tenerme paciencia, quererme y ayudarme a ser lo que hoy soy, Albeiro Gutiérrez de Piñeres, Luis Ángel Martínez y Guillermo Vega.

#### **Naired Córdoba Silva**

Principalmente agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí. Gracias a mis padres y hermana por todo su amor y esfuerzo para ayudarme a cumplir este gran logro, también agradecer a los docentes de la institución por sus enseñanzas y su dedicación en especial a Hernando Oñate y Melissa Martínez, gracias a mi amiga Naired Córdoba por su paciencia y entrega con este trabajo, gracias a Leonel Cotes, Yulibeth Barbosa que de una u otra manera contribuyeron a que esto fuese posible.

#### **Karolina Peña Castrillo**



## RESUMEN

El ablandamiento de agua es un proceso importante para remover la dureza, ya que un agua dura causa un alto riesgo de depósito de cal en las redes de distribución, lo que hace que las tuberías se taponen y que el jabón se disuelva con menos facilidad. El tratamiento más común que se utiliza para remover los iones de Ca y Mg, es el intercambio iónico.

En esta investigación se realizó un diseño y construcción de un prototipo ablandador, utilizando 4 montajes con diferentes alturas de lecho de resina para observar el comportamiento que tiene la Zeolita al permanecer en contacto con agua dura del pozo N°2 del municipio de Bosconia – Cesar, para evaluar la eficiencia de la Zeolita.

En los montajes N°1, N°2 y N°3 no se presentó un desgaste de la resina, por ende la dureza total dio como resultado 0 Mg/L CaCO<sub>3</sub> y la eficiencia al 100%, en el montaje N°4, a las 3 horas de trabajo del prototipo hubo un aumento en el valor de la dureza, dando como resultado 12 Mg/L CaCO<sub>3</sub> siendo una agua blanda con una eficiencia de 96,67% y a las 9 horas de funcionamiento un resultado de 170 Mg/L CaCO<sub>3</sub> y una eficiencia 52,78%.

Palabras claves: Dureza, Agua dura, Agua blanda, Zeolita, Ablandador.





**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



### **ABSTRACT**

Water softening is an important process to remove hardness, since hard water causes a high risk of limescale deposits in distribution networks, which makes pipes clogged and soap dissolves less easily. The most common treatment used to remove Ca and Mg ions is ion exchange.

In this research, a design and construction of a softener prototype was carried out, using 4 assemblies with different resin bed heights to observe the behavior that Zeolite has when remaining in contact with hard water from well No. 2 of the municipality of Bosconia - Cesar, to evaluate the efficiency of Zeolite.

In assemblies N ° 1, N ° 2 and N ° 3 there was no wear of the resin, therefore the total hardness resulted in 0 Mg / l CaCO<sub>3</sub> and the efficiency to 100%, in assembly N ° 4, At 3 hours of prototype work there was an increase in the hardness value, resulting in 12 Mg / l CaCO<sub>3</sub> being a soft water with an efficiency of 96.67% and at 9 hours of operation a result of 170 Mg / l CaCO<sub>3</sub> and an efficiency 52.78%.

Keywords: Hardness, Hard water, Soft water, Zeolite, Softener.



**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS .....	16
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
4. MARCO REFERENCIAL .....	17
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
4.1.1 Antecedentes Internacionales .....	17
4.1.2 Antecedentes Nacionales .....	18
4.2 MARCO TEÓRICO .....	21
4.2.1 Origen de la Dureza del agua .....	21
4.2.2 Ablandamiento del Agua .....	23
4.3 MARCO CONCEPTUAL .....	30
4.4 MARCO CONTEXTUAL.....	32
4.4.1 Características Generales.....	33

4.4.2 Características Ambientales.....	33
4.4.3 Características Socioeconómicas .....	34
4.5 MARCO LEGAL .....	37
5. MARCO METODOLÓGICO .....	40
5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	40
5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	40
5.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	40
5.5 MUESTRA POBLACIONAL .....	41
5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO .....	41
5.6.1 FASE 1: Caracterizar los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, pH, SDT, Alcalinidad, Dureza y conductividad) del agua extraída del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.....	41
5.6.2 FASE 2: Diseñar y construir el prototipo de intercambio iónico para el ablandamiento del agua extraída del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.....	50
5.6.3 FASE 3: Evaluar la eficiencia de la remoción de la dureza de las aguas extraídas del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.....	56
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	69

CONCLUSIÓN.....92

RECOMENDACIONES.....93

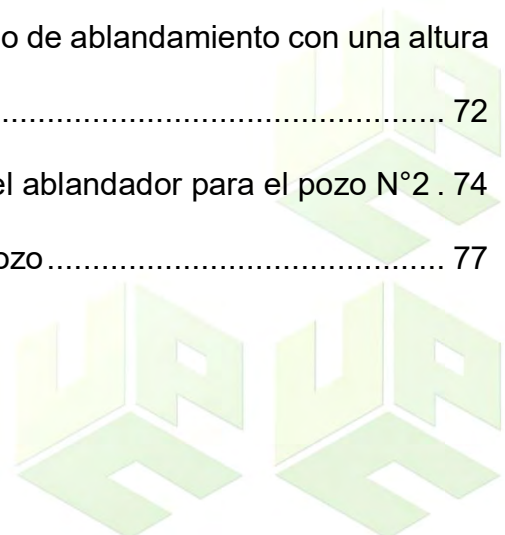
REFERENCIAS

ANEXOS



**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de la Dureza del Agua .....	22
Tabla 2. Niveles de la dureza de acuerdo a la WQA .....	28
Tabla 3. Sectores de distribución .....	36
Tabla 4. Requisitos normativos aplicables .....	37
Tabla 5. Pruebas de laboratorio que se relizaron .....	43
Tabla 6. Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°1 .....	56
Tabla 7 Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°2 .....	58
Tabla 8 Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°3 .....	58
Tabla 9 Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°4 .....	59
Tabla 10 Resultados de la caracterización de la muestra inicial .....	69
Tabla 11 Resultados de la operatividad del prototipo de ablandamiento con una altura de lecho de resina de 9,25 cm .....	72
Tabla 12 Proyección para el dimensionamiento del ablandador para el pozo N°2 .	74
Tabla 13 Costo – eficiencia para ablandador del pozo .....	77



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Esquema ablandador de agua Montaje N°1 .....	60
Figura 2 Esquema proceso de retrovado del agua Montaje N°1 .....	61
Figura 3 Esquema ablandador de agua Montaje N°2.....	62
Figura 4 Esquema proceso de retrovado del agua Montaje N°2 .....	63
Figura 5 Esquema ablandador de agua Montaje N°3.....	64
Figura 6 Esquema proceso de retrovado del agua Montaje N°3 .....	65
Figura 7 Esquema ablandador de agua Montaje N°4.....	66
Figura 8 Esquema proceso de retrovado del agua Montaje N°4 .....	67



**LISTA DE ILUSTRACIONES**

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Ciclo de una columna de intercambio iónico en tratamiento de agua .....	26
Ilustración 2. Municipio de Bosconia, Cesar. ....	33
Ilustración 3. Pozo N°2 y N°5 donde captan el agua de suministro de Bosconia, Cesar.	36



**LISTA DE IMÁGENES**

Imagen 1 Toma de muestra .....	42
Imagen 2 Rotulacion de la muestra.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 3 Titulacion de la muestra .....	49
Imagen 4 Prototipo ablandador .....	53
Imagen 5 Tanque de almacenamiento de 80 litros.....	53
Imagen 6 Tanque de recepcion para agua blanda de 30 litros .....	54
Imagen 7 Tanque de almacenamiento y recepcion para el regenerante de 12 L ....	54
Imagen 8 Mangueras plasticas transparentes de 0,5 cm .....	55
Imagen 9 Bomba peristaltica SP- ESTANDAR 2,5.....	55
Imagen 10 Resina de ablandamiento (Zeolita).....	55
Imagen 11 Montaje del prototipo ablandador .....	71
Imagen 12 Pozo N°2 .....	78
Imagen 13 Entrada al pozo N°2 .....	78
Imagen 14 Preparacion de solucion.....	78
Imagen 15 Titulacion de muestra .....	78
Imagen 16 Muestra con indicador naranja de metilo .....	78
Imagen 17 Acido sulfurico preparado al 0,02 N.....	78
Imagen 18 Muestra con indicador fenolftaleina .....	78
Imagen 19 Agregando fenolftaleina a la muestra .....	78
Imagen 20 Horno a 105C° .....	78
Imagen 21 Evaporacion de la muestra.....	78
Imagen 22 Montaje N°1 proceso de ablandamiento.....	78
Imagen 23 Captacion del efluente.....	78



Imagen 24 Comparacion de muestras de dureza total con agua cruda y agua blanda .....	78
Imagen 25 Comparacion de muestras de dureza calcica con agua cruda y agua blanda.....	78
Imagen 26 Determinacion de dureza.Muestra inicial y muestra titulada .....	78
Imagen 27 Montaje N°2 proceso de ablandamiento.....	78
Imagen 28 Montaje N°3 proceso de ablandamiento.....	78
Imagen 29 Montaje N°2 proceso de ablandamiento.....	78
Imagen 30 Proceso de regeneracion .....	78
Imagen 31 Limpieza de la Zeolita .....	78



**LISTA DE GRÁFICOS**

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1. Relación entre pies cúbicos de ablandador, capacidad en granos y flujo normal en galones por minuto .....	29
Gráfico 2 Relación parámetros vs tiempo del Montaje N°4 .....	73



## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea en Colombia es un recurso que se está aprovechando como una fuente de uso primaria, como lo es para el municipio de Bosconia – Cesar. Los recursos hídricos subterráneos generalmente se les realizan tratamientos para remover la dureza empleando resina de intercambio iónico, ya que estas tienen un alto potencial para la eliminación de iones de Calcio y Magnesio.

Esta investigación tiene como finalidad el diseño y construcción de un prototipo ablandador de agua para el pozo N°2 del municipio de Bosconia – Cesar, utilizando como resina de intercambio iónico una Zeolita Natural, y así poder mejorar no solo las condiciones de vida de las personas que habitan en la cabecera municipal, previniendo y reduciendo la propagación de enfermedades debido a la falta de saneamiento, sino también mejorar las pérdidas de cargas que se presenta en las tuberías porque la cal que se deposita en el interior va produciendo incrustaciones que reducen el rendimiento de éstas.



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso vital y acceder a ella da garantía del desarrollo económico y social de una comunidad o población, sin embargo no es el caso para la cabecera del municipio de Bosconia, ubicado en el norte del departamento del Cesar, que carece del acceso al agua potable y de calidad, resaltando la presencia de iones de calcio y magnesio que la hacen una agua dura.

Aunque el impacto del agua dura en la salud no posee un panorama muy claro, las investigaciones hechas por la OMS apuntan que no hay evidencia científica que existan efectos adversos o benéficos en los humanos, sin embargo se ha estudiado la relación de la dureza del agua y cálculos renales. La *International Journal of Preventive Medicine* (revista médica) no encontró relación significativa, pero resultados suficientes para advertir del consumo de este tipo de agua a la población que ha sufrido la patología de litiasis urinaria (Pallav, 2013).

La presencia de iones de calcio y magnesio, así como en menor medida hierro, manganeso o el zinc influye en el sabor o en propiedades organolépticas. El agua con dureza inferior a los 100 mg/l puede corroer tuberías a largo plazo y agua con dureza superior a los 200 mg/l puede formar incrustaciones en tuberías o depósitos<sup>1</sup>. Otro efecto negativo de la precipitación de la cal es que tiene un efecto dañino en las maquinarias domésticas, como son las lavadoras<sup>2</sup>. También representa un gasto en el presupuesto del hogar debido al

---

<sup>1</sup> Basulto, Julio. Agua dura, ¿agua más sana? El consumo de aguas duras puede contribuir a cubrir las necesidades de calcio y magnesio del organismo. (2014). [Consultado vía web: <https://www.consumer.es/alimentacion/agua-dura-agua-mas-sana.html#:~:text=La%20OMS%20indica%20que%20las,osteoporosis%20y%20los%20eventos%20cardiovasculares.>]. [Publicado el día 17 de diciembre de 2014]. Recuperado el día 24 de julio de 2020.

<sup>2</sup> Lenntech. FAQ del ablandamiento del agua Preguntas y respuestas frecuentes. (2020). [consultado vía web: <https://www.lenntech.es/procesos/ablandamiento/preguntas-mas-frecuentes/faq-ablandamiento->

consumo más frecuente de productos de lavado como jabones, limpiadores, blanqueadores y detergentes, debido a que estas sustancias se disuelven con mayor dificultad en presencia de carbonatos<sup>3</sup>.

De acuerdo a documento de Evaluación Integral a la Empresa de Servicios Públicos de Bosconia EMPOBOSCONIA E.S.P.D., en donde se compilan reportes operativos y financieros declarados y vigilados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SUPERSERVICIOS (2017), se manifiesta que ante la falta de continuidad, los habitantes obtienen el agua a través de más de 30 puntos de ventas distribuidos en diferentes partes del municipio, recurso que proviene de Valledupar y que es almacenado y distribuido a un costo de \$1.500 a \$2.000 COP en canecas de 20 litros<sup>4</sup>.

Si bien, en Bosconia existe una fuente de abastecimiento de agua subterránea del recurso hídrico, cuya captación es realizada mediante dos pozos profundos (denominados pozo N°2 y N°5), pero el agua no es apta para el consumo humano debido a que es un agua salobre (agua dura), que no recibe tratamiento alguno y que presentó un índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) con un puntaje equivalente a 66% para el mes de abril del presente año, que se clasifica como un riesgo alto (Secretaría de Salud Departamental, 2021). Además, el acceso a esta agua no tratada y sin garantías de seguridad tiene un costo de \$18.000 COP mensuales, a la que los habitantes acceden para los quehaceres domésticos<sup>5</sup>.

---

[agua.htm#:~:text=El%20ablandamiento%20del%20agua%20es,durante%20el%20proceso%20de%20ablandamiento.\].](#) Recuperado el día 24 de julio de 2020.

<sup>3</sup> *Ibidem*.

<sup>4</sup> Diario periódico Al Día. La industria del agua de contrabando en Bosconia. (2020). [Consultado vía web: <https://www.aldia.co/historias/la-industria-del-agua-de-contrabando-en-bosconia>]. [Publicado el día 17 de marzo de 2020]. Recuperado el día 24 de julio de 2020.

<sup>5</sup> *Ibid*.

Por todo lo anterior, las autoras diseñaron un prototipo de intercambio iónico para reducir los iones de carbonatos de calcio y magnesio del agua de pozo de Bosconia. Para alcanzar estos resultados se formularon la siguiente pregunta de investigación.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será la eficiencia de ablandamiento del agua subterránea captada en el pozo N°2, que tendrá el prototipo de intercambio iónico para el beneficio del sistema de abastecimiento de Bosconia – Cesar?

En función a las etapas metodológicas, se presentan las siguientes preguntas complementarias.

### **1.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será la calidad del agua captada en el pozo N°2 de acuerdo a sus características físicas y químicas?

¿Cuáles serán los elementos que integrarán los procesos del prototipo para el tratamiento del agua captada en el pozo N°2 mediante intercambio iónico y qué función cumplirán?

¿Qué recomendaciones complementarias se obtienen con los resultados de remoción de la dureza del agua captada en el pozo N°2 de Bosconia?



## 2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca reducir o eliminar las Sales de Calcio y Magnesio disueltas en el agua del mencionado pozo mediante el diseño y prueba controlada de un prototipo de intercambio iónico, utilizando los parámetros de distribución de agua existentes tales como caudal, hidráulica del sistema y características fisicoquímicas; las cuales serán llevadas y trabajadas a escala laboratorio y evaluadas de acuerdo a los requerimientos legales y otros requeridos y asociados al mismo.

Esta investigación se hace debido a la presencia de dureza moderada en el agua suministrada por el acueducto de Bosconia y en específico captada a través del pozo N°2, el cual es responsable de la alimentación del Tanque 1: Cerrito, del cual depende la distribución del agua a los sectores 1, 3 y 5 (este último es el corregimiento de Loma Colorada) (SUPERSERVICIOS, 2017); con aras de aplicar un método para determinar las dosis de respuesta que permita reducirlas o eliminar las sales que provocan un agua poco blanda.

El obtener un agua con características de poca o nada de dureza contribuye primeramente como información de soporte y apoyo para las decisiones a futuro que la Empresa de Servicios Públicos de Bosconia (EMPOBOSCONIA E.S.P.) tome al respecto para el bienestar de la comunidad en la prestación del servicio, así mismo, podría contribuir a la reducción del IRCA, por último fomenta el esparcimiento académico e investigativo en la línea del tratamiento del agua, la gestión de los recursos hídricos y el bienestar socio ambiental, a como preferencias del crecimiento económico enmarcado en el desarrollo sostenible.

Este proyecto es pertinente teniendo en cuenta que los resultados y los posibles usos a futuro contribuirían a Bosconia y su población, sumado que ya tiene características importantes como su ubicación estratégica, siendo paso obligado entre las ciudades costeras

y las otras regiones del país, habiendo un flujo socio económico relevante. Brindar garantías de seguridad hídrica y saneamiento básico serían el trasfondo de una transformación significativa a beneficio de todos.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Prototipo de Intercambio Iónico para el Ablandamiento de Agua Suministrada por el Pozo N°2 al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, pH, SDT, Alcalinidad, Dureza y conductividad) del agua extraída del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.
- Diseñar y construir el prototipo de intercambio iónico para el ablandamiento de las aguas provenientes del agua extraída del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.
- Evaluar la eficiencia de la remoción de la dureza de las aguas extraídas del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.



#### 4. MARCO REFERENCIAL

##### 4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

###### 4.1.1 Antecedentes Internacionales

Sánchez R. (2019) Diseñó un sistema de control para el proceso de ablandamiento de agua mediante resinas de intercambio iónico, para obtener el título de ingeniero químico de la universidad politécnica de Madrid. La metodología que emplearon fue la TFG, llevaron a cabo la valoración a pH 10 con Negro de Eriocromo T o NET como indicador. En presencia de iones metálicos la disolución presentará un color rosado y tornará a azul cuando ya todos los iones hayan reaccionado con el AEDT. Trabajaron con una resina de intercambio iónico y la regeneración la realizaron con HCl; de esta investigación se destacó el diseño de la columna de intercambio iónico.

Cervantes A. (2015) desarrolló el proyecto titulado Diseño y Construcción de un Ablandador de Agua mediante el empleo de Resinas de Intercambio Iónico para abastecer los Equipos Térmicos del laboratorio de Termodinámica, con el cual obtuvo su título como Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Saleniana, Quito – Ecuador. De este documento, metodológicamente dividido en cuatro capítulos, se rescata el nivel técnico e ingenieril aplicado en el diseño de la columna de intercambio iónico, así como formulaciones matemáticas de diseño que a nivel hidráulico, estructural y del proceso químico tienen una relación fuerte. Además, se presente en particular los métodos de selección de cada uno de los elementos que integran a nivel físico el intercambiador iónico, con sus criterios y ventajas respecto a otros elementos. Se corroboró la funcionalidad operativa del prototipo mediante la caída de presión, que no varió del 7%, valor objetivo esperado. En el proceso de regeneración de este prototipo se le suministró 10,4 galones con una concentración de 10% a una tasa de

1 galón por minuto. Mediante prueba piloto se corroboró que las aguas de caldera tienen la capacidad de reducir hasta en un 30% el paso de agua debido a las incrustaciones formadas en las tuberías. Esta tesis proporciona un marco integral para ser considerada de soporte y apoyo en el desarrollo de la propuesta del presente documento, por lo tanto, representa valor investigativo.

Concepción Sánchez (2015) del Grupo de Ingeniería de Agua y Ambiente de la Universidad de Coruña publican en su revista INDITEX, un capítulo especial respecto al tema del Intercambio Iónico, integrado con cinco capítulos, de los cuales son de interés los relacionados a los procesos de intercambio iónico y el diseño de sistemas de intercambio iónico. En este documento se presenta de manera concisa una teoría completa de lo que es intercambio iónico, por aparte de ello expresa consideraciones de variables que pueden inmiscuir en el estudio como lo son la estandarización de unidades para el funcionamiento óptimo de la unidad de intercambio iónico. Es de interés que a partir de este libro se obtiene un listado de preguntas de los requerimientos, necesidades y expectativas de acuerdo a las preferencias que se quiere integrar en el sistema a diseñar. Esto es rescatable y de mucha utilidad en el momento que se materializó la confección y el diseño del prototipo escala laboratorio que se pretende construir de acuerdo a los lineamientos del presente documento.

#### **4.1.2 Antecedentes Nacionales**

Carrillo T, María P. (2020) desarrolló el proyecto denominado Desarrollo de una Propuesta de Mejora para la reutilización de agua en los procesos de calibración de Equipos Volumétricos en COLMETRIK SAS., para optar su título como Ingeniera Química de la Universidad de las Américas, cuyo objetivo era el aplicar una técnica de tratamiento terciario como lo es el intercambio iónico para eliminar componentes solubles en las aguas de lavado de los procesos de calibración de equipos volumétricos en la empresa COLMETRIK. Metodológicamente, centró su investigación en hacer un compendio informativo importante

relacionado a criterios que se deben tener en cuenta para seleccionar las alternativas de tratamiento del agua, así como las resinas de intercambio iónico, condiciones técnicas y operativas de las columnas de intercambio iónico y los elementos esenciales con los que debe contar para cumplir el objetivo de su investigación. Se trabajó con un caudal de 4,5 m<sup>3</sup>/h, lo que permitió la escogencia de un tanque de intercambio iónico propuesto en ETERNIT y quedó dimensionado entre los 500 a 1000 Litros, con una regeneración de resina LEWATIT Monopolus S108 H a una tasa de 0,621 m<sup>3</sup>/h y una resina LWATIT Monopolus M800 OH a una tasa de 0,261 m<sup>3</sup>/h. Los resultados de este tratamiento permitieron obtener Sólidos Suspendidos Totales inferiores a los 0,2 mg/L y una DBO5 inferior a los 0,2 mg/L, cumpliendo con los criterios expuestos en la ISO 3696:2004 (Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificación y métodos de ensayo). Sin embargo, no se cumplieron con las especificaciones de la resolución 1207 de 2014, por lo tanto, la autora realizó recomendaciones para el tratamiento de los BTX's y poder darle re utilidad al agua. La propuesta presentada a la empresa COLMETRIK S.A.S., le permite un beneficio económico del 38,03% presupuestado anualmente. De esta investigación se rescata, a parte que es un antecedente muy reciente; todas las formulaciones matemáticas de diseño que interfieren en el proceso de confección del prototipo de la presente propuesta, así como la experimentación funcional para el alcance de los resultados propuestos.

Duarte V. & Vizcaíno (2015) desarrollaron el proyecto titulado Estudio comparativo entre la implementación de la zeolita y la resina de intercambio iónico en la remoción de hierro y dureza en un agua sintética que simula el agua para uso industrial, para optar el título de Ingenieros Ambientales y Sanitarios en la Universidad de La Salle. Este estudio se basó en comparar la Zeolita como resina de intercambio iónico, basándose metodológicamente en cuatro etapas. Los resultados obtenidos por los autores permiten decir que ninguna de las resinas tuvo capacidad química para remover el hierro, a pesar que se redujeron las velocidades de carga, siendo las zeolitas menos capaces respecto a las resinas de

intercambio catiónico, además se agota un 20,78% más respecto a su valor original. En la experimentación es de resaltar que la prueba de remoción de dureza fue hecha para aguas duras elaboradas sintéticamente, entre los 30 a los 550 mg/l de esta característica. También se rescata el análisis del comportamiento hidráulico de la unidad de estudio, así como la validación estadística mediante el Análisis de Varianza (ANOVA), con variables resultado como lo fueron la eficiencia del tratamiento, la carga hidráulica y la concentración, encontrando que la hipótesis alternativa es significativa y mediante pruebas de efectos inter-sujetos, considerando las variables tratamiento, concentración y la combinación de estas dos estadísticamente significativas a un p-value de 0,000. Un modelo explicado a un  $R^2 = 0,505$  a un 95% de intervalo de confianza, corroborando que las resinas tienen mayor efecto que la zeolita, por su capacidad real de 108 g/L, la cual es mayor a los 62,22 g/l de la zeolita.

Agamez C. (2014) desarrolló la investigación titulada diseño de un sistema de intercambio catiónico de lecho fijo para la potabilización de agua en el corregimiento de Malagana (Bolívar); para optar el título de Ingeniero Químico, en la Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena, con la finalidad de solucionar la problemática que está padeciendo la comunidad a causa de la mala calidad del agua. Esta investigación se llevó a cabo en 4 etapas; estas etapas fueron: ETAPA 1: se plantea el problema donde se delimita claramente el objeto de la investigación; se describe la problemática que padece la población de Malagana y las razones por las cuales se procedió a la realización del proyecto, explicando los beneficios que se derivan de él, al igual que se exhiben las metas trazadas por parte del autor. ETAPA 2: se exponen las bases teóricas o conceptos vinculados al tema de investigación donde se explica y describe detalladamente los procesos y metodologías llevadas a cabo en este proyecto, los estudios previos y tesis de grado realizadas anteriormente relacionadas al problema planteado, los marcos legales en los cuales se rige el proyecto y la definición de términos básicos que se manejan en el desarrollo de la tesis. ETAPA 3: se explican las técnicas y procedimientos utilizados para llevar a cabo el proyecto,

donde se indica y describe el grado de profundidad abordado para el tema en estudio, también se define la estrategia adoptada para responder al problema planteado, se especifica el tipo de muestreo, las fuentes de información y las técnicas de procesamiento y recolección de datos. ETAPA 4: se interpreta y analiza cada uno de los resultados obtenidos en el proyecto. El sistema de intercambio catiónico demandó un volumen de resina de 0,36 m<sup>3</sup> y una altura de lecho de 0,8 m el cual requirió una altura de la columna de 1,8 metros. Es rescatable de este proyecto la cantidad de agua de servicio que se debe tratar es de la cual demanda un tiempo de agotamiento de 6 horas, como el lecho de resina. Para descompactar el lecho de resina se requiere un caudal de retrolavado de 10 m<sup>3</sup>/h, cuyo flujo va en sentido contrario al ciclo de agotamiento. Durante la regeneración, se debe emplear 0,83 m<sup>3</sup> de solución acuosa de NaCl al 10% a un caudal de 1,2 m<sup>3</sup> durante 40 minutos. Para el lavado de esta sal, se debe utilizar agua tratada a un caudal descendente de 1,2 m<sup>3</sup>/h.

## 4.2 MARCO TEÓRICO

### 4.2.1 Origen de la Dureza del agua

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio; ambas expresadas como mg CaCO<sub>3</sub>/l<sup>6</sup>.

$$\text{dureza} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

Las aguas superficiales comúnmente contienen menos dureza que las aguas subterráneas. La dureza del agua subterránea se puede explicar por las formaciones geológicas en donde se almacena el agua (acuíferos). La presencia de carbonatos en suelos superficiales y en sedimentos aumenta la dureza en el agua superficial. De manera similar,

<sup>6</sup> Whitman Collage. Dureza del Agua. [consultado vía web: [https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns\\_software/DurezaDelAgua.pdf](https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns_software/DurezaDelAgua.pdf)]. Recuperado el día 30 de julio de 2020.

las formaciones de caliza en el subsuelo aumentan la dureza del agua subterránea. Los valores de dureza pueden variar desde unos pocos hasta cientos de mg CaCO<sub>3</sub>/l<sup>7</sup>.

La dureza del agua proviene de sales de cationes metálicos divalentes. Los principales cationes causantes de dureza son los cationes de calcio y magnesio, aunque el estroncio, hierro y manganeso también pueden contribuir a la dureza del agua<sup>8</sup>.

*Tabla 1. Clasificación de la Dureza del Agua*

Concentración (Ca + Mg)	Características
0 – 75 mg/l	Blanda
75 – 200 mg/l	Moderadamente dura
200 – 300 mg/l	Dura
> 300 mg/l	Muy Dura

*Fuente: Organización Mundial para la Salud, OMS.*

Es común comparar el valor de la alcalinidad en una muestra de agua con su valor de dureza; ambos son expresados en mg CaCO<sub>3</sub>/L. En el caso en que el valor de la dureza del agua sea mayor que el valor de la alcalinidad total, el valor de dureza que es igual al de la alcalinidad se denomina “dureza de carbonatos”<sup>9</sup>.

Dureza ≤ Alcalinidad → Dureza de Carbonatos

Dureza > Alcalinidad → Dureza de no – Carbonatos

Mientras que el exceso se conoce como la “dureza de no-carbonatos”. A su vez, cuando la dureza es igual a o menor que la alcalinidad total, toda la dureza es dureza de carbonatos y no habrá dureza de no-carbonatos en esa muestra<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> Ibídem.

<sup>8</sup> Ibídem.

<sup>9</sup> Ibídem.

<sup>10</sup> Ibídem.

#### **4.2.2 Ablandamiento del Agua**

El agua tratada a la salida de la planta no debe presentar propiedades corrosivas con respecto a las tuberías del sistema de distribución y del interior de las viviendas (MINVIVIENDA, 2013).

El agua ideal debe tener una dureza total entre 40 mg/l y 60 mg/l de equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), a un pH y alcalinidad que alcance las condiciones de saturación y una dureza de magnesio de no más que 36 mg/l para minimizar la formación de hidróxido de magnesio a temperaturas elevadas (MINVIVIENDA, 2013).

Por medio del ablandamiento del agua debe reducirse el contenido de minerales disueltos, particularmente calcio y magnesio que son los mayores impulsores de la dureza del agua, otros iones que pueden producir dureza son el hierro, manganeso, estroncio, bario, zinc y aluminio, de cualquier modo, estos iones no están presentes en cantidades significantes (MINVIVIENDA, 2013).

##### **4.2.2.1 Beneficios del Ablandamiento**

Los beneficios que deben obtenerse con el ablandamiento del agua son los siguientes (MINVIVIENDA, 2013):

- a. Control del crecimiento biológico.
- b. Un ligero grado de remoción de trazas orgánicas.
- c. Economía de jabón y detergentes.
- d. Mejor lavado de ropa y utensilios domésticos.
- e. Disminución de incrustaciones en artefactos domésticos.
- f. Mejor cocción y preparación de alimentos.
- g. Si se opera en forma correcta, puede prevenir la corrosión.
- h. Incremento en la eficacia de la filtración.

El proceso de ablandamiento debe utilizarse cuando las condiciones del agua se encuentren fuera de lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007, expedida por los entonces Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o la norma que la modifique o reemplace (MINVIVIENDA, 2013).

#### **4.2.2.2 Intercambio Iónico**

Es la operación unitaria que permite la separación de especies iónicas disueltas mediante su transferencia desde la fase líquida a un material intercambiador sólido, en el que sustituyen a otros iones del mismo signo eléctrico, que a su vez pasan a la fase líquida (Sánchez Ruiz, 2015).

Muchas de las aplicaciones del intercambio iónico tienen por objeto la eliminación de una determinada especie iónica de una solución líquida, dando como resultado su separación específica y su concentración en la fase sólida (Sánchez Ruiz, 2015).

En el campo del tratamiento de aguas, los usos más habituales del intercambio iónico son los siguientes (Sánchez Ruiz, 2015):

- Ablandamiento de aguas.
- Desmineralización de aguas.
- Eliminación de alcalinidad.
- Eliminación de cationes de metales pesados disueltos en aguas de proceso.
- Eliminación de aniones de ácidos fuertes tales como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ).
- Eliminación de amonio a bajas temperaturas.

##### **4.2.2.2.1 Procesos del Intercambio Iónico**

El ciclo de una columna de intercambio iónico en tratamiento de agua incluye las etapas siguientes (François de Dardel, 2019):



a. **Agotamiento (saturación):** El agua bruta pasa a través del lecho de resina y la satura poco a poco, hasta el punto final donde la fuga iónica alcanza un valor predeterminado.

b. **Esponjamiento:**

Antes de la regeneración se contra lava el lecho por un flujo ascendiente:

- Para des compactar el lecho
- Para eliminar materias en suspensión y partículas de resina acumuladas en la superficie del lecho

La expansión del lecho debe ser entre 50 y 100 % y dura de 5 a 15 minutos.

El esponjamiento no se debe hacer antes de cada regeneración en caso de una regeneración en contracorriente (flujo inverso) de manera que no se desordenen las capas del lecho. Solo cuando aumenta la pérdida de carga de manera excesiva se hace tal esponjamiento, o cada 30 ciclos.

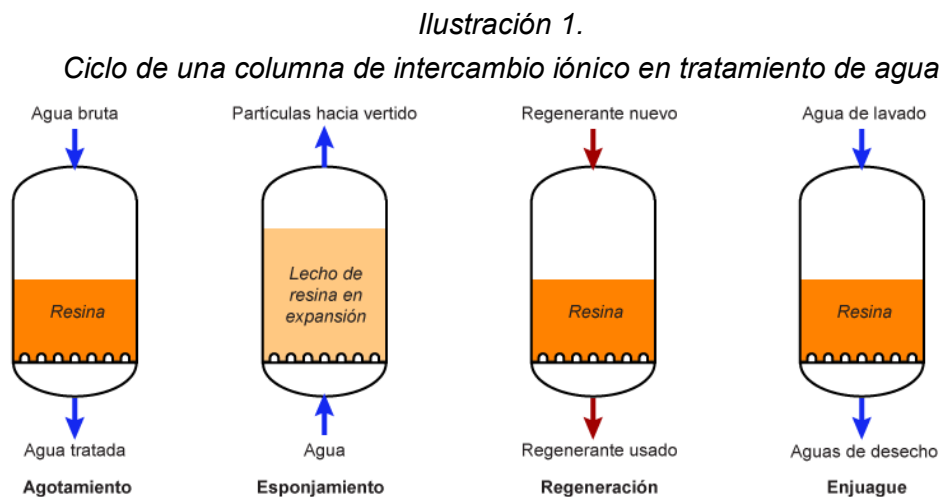
c. **Regeneración:** La solución re generante se introduce en la columna con caudal bajo. El tiempo de regeneración es en general de 20 a 60 minutos. Detalles del proceso de regeneración se encuentran en una página separada.

d. **Enjuague:** El lavado de la resina después de regenerar se hace en dos etapas:

- Desplazamiento o lavado lento. La solución regenerante se desplaza con agua hasta eliminar la mayor parte del regenerante. El caudal es bajo, lo mismo que la solución de regeneración.
- Lavado final rápido. Para eliminar las últimas trazas de regenerante se hace un lavado final rápido al caudal de producción hasta que la calidad del agua de salida alcance las especificaciones del agua tratada.

*Lavado en recirculación.* Puesto que la salinidad del agua saliendo del sistema en esta fase final de lavado es generalmente muy baja, más baja que la del agua bruta, se hace este lavado final muchas veces en recirculación. De tal manera, se reduce el consumo de agua de servicio y la carga iónica sometida a las resinas durante esta fase.

Los procesos se representan en la siguiente ilustración.



*Fuente: Fraçois de Dardel, 2019*

#### **4.2.2.2. Resinas de Intercambio Iónico**

Las resinas de intercambio iónico son materiales sintéticos, generalmente son esferas de tamaños que varían entre 0,5 – 1 mm de diámetro, son empleadas para diferentes usos<sup>11</sup>.

Están formadas por una matriz polimérica a la que se le han unido una gran cantidad de radicales polares, ácidos o bases. Cuando el agua pasa a través de la resina, ésta toma iones del agua (sodio, cloruro, calcio, magnesio, etc.) y cede una cantidad equivalente en

<sup>11</sup> VERLEK INGENIERÍA S.A.S.-COLOMBIA: Industria Química. Tecnología para el control ambiental. Resinas de Intercambio Iónico – Catiónicas y Aniónicas. [Consultado vía web: <https://verlek.com/resinas/#:~:text=INSUMOS%20E2%80%93%20RESINAS%20INTERCAMBIO%20IONICO%20E2%80%93%20CATIONICAS%20Y%20ANIONICAS&text=Resinas%20an%C3%B3nicas%20de%20base%20fuerte,sulfatos%2C%20nitros%20y%20cloruros>]. Recuperado el día 31 de julio de 2020.

cuanto a carga de protones o de hidroxilos. Las resinas de intercambio iónico pueden ser de los siguientes tipos<sup>12</sup>:

**Resinas catiónicas de ácido fuerte:** eliminan los cationes intercambiando sodios o protones.

- **Resinas catiónicas de ácido débil:** eliminan los cationes asociados con bicarbonatos.
- **Resinas aniónicas de base fuerte:** eliminan todos los aniones. Se utilizan para eliminar carbonatos y silicatos.
- **Resinas aniónicas de base débil:** eliminan con gran eficiencia los aniones de ácidos fuertes (sulfatos, nitratos y cloruros).

#### **4.2.2.2.3. Metodología para cálculo de Ablandador**

A continuación, en base a recomendaciones de VERLEK<sup>13</sup>, distribuidor de las empresas Lewatit y Amberlite, productoras de resinas iónicas; se presenta el método de cálculo de suavizante (ablandador) para intercambio catiónico y aniónico.

**Paso 1.** Conversión a unidades de granos por galón (gpg)

$$\text{gpg} = \frac{\text{Dureza} \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{l}}}{17,1 \text{ ppm}}$$

Dónde, la unidad “ppm” significa “partes por millón” y 1 mg/l equivale a 1 ppm.

**Paso 2.** Clasificar la dureza. De acuerdo a la Asociación de la Calidad del Agua de los Estados Unidos (WQA, por sus siglas en inglés).

<sup>12</sup> Ibídem.

<sup>13</sup> VERLEK INGENIERÍA S.A.S.-COLOMBIA. Industria Química. Tecnología para el control ambiental. Resinas de Intercambio Iónico – Catiónicas y Aniónicas. [Consultado vía web: <https://verlek.com/2020/01/15/calculo-suavizador-resina-cationica/>]. [publicado el día 15 de enero de 2020]. Recuperado el día 31 de julio de 2020.

Tabla 2.

Niveles de dureza de acuerdo a la WQA

Granos por galón (gpg)	Clasificación
< 1 gpg	Suave
1 – 3,5 gpg	Ligeramente dura
3,5 – 7,0 gpg	Moderadamente dura
7,0 – 10,5 gpg	Dura
> 10,5 gpg	Muy Dura
> 30 gpg	Extremadamente dura

Fuente: Asociación de Calidad de Agua de Estados Unidos, WQA.

*\*estos valores y clasificaciones se pueden relacionar con la normativa aplicable en el país.*

*\*de acuerdo al WQA, la medida es por unidades físicas denominadas granos.*

Cuando el agua es muy dura, por ejemplo agua de 50 o 100 granos es posible que la dureza de salida no baje a niveles cercanos a 3 granos/galón. En este caso la resina no logra retirar toda la dureza del agua y por lo tanto se debe de buscar pasar el agua más lento para dar más tiempo de contacto con la resina y/o regenerar con más cantidad de sal<sup>14</sup>.

**Paso 3.** Sustancia regeneradora. La resina de intercambio catiónica es la que permite suavizar el agua (disminuir la concentración de dureza). Esto se hace cambiando los iones de calcio ( $\text{Ca}^+$ ) / magnesio ( $\text{Mg}^+$ ) por sodio ( $\text{Na}^+$ ) conforme el agua pasa por la resina. Una vez que esta resina se satura de calcio/magnesio y se agota el sodio se debe regenerar la resina con una solución de agua con sal ( $\text{NaCl}$  /  $\text{KCl}$ ) conocida como salmuera<sup>15</sup>.

Las cantidades de sal por cantidad de granos removidos se presentan a continuación<sup>16</sup>:

<sup>14</sup> Ibídem.

<sup>15</sup> Ibíd.

<sup>16</sup> Ibíd.

- 6 libras de sal = 20000 granos (Ahorra sal pero se regenera con más frecuencia).

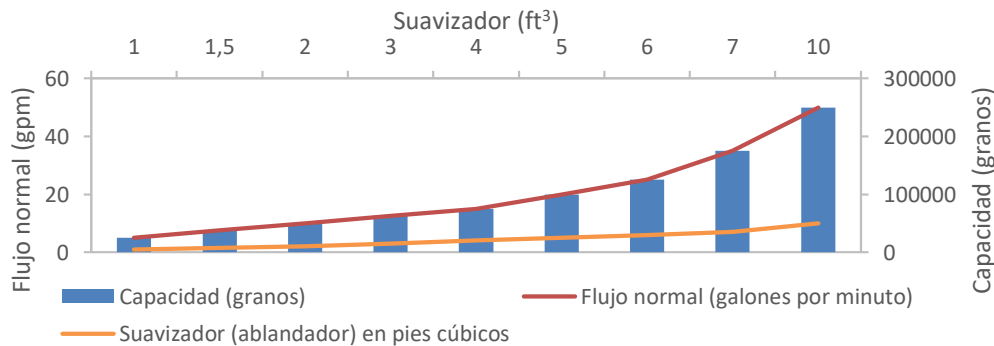
- 9 libras de sal = 25000 granos (Consumo normalmente usado)

- 12 libras de sal = 28000 granos (Mayor consumo pero menos regeneraciones)

Al considerar las nueve libras de sal se obtiene la siguiente relación<sup>17</sup>.

**Gráfico 1.**

**Relación entre pies cúbicos de ablandador, capacidad en granos y flujo normal en galones por minuto**



*Fuente: Autoras, 2021 (Basadas a partir de VERLEK INGENIERIA S.A.S.-COLOMBIA, 2015)*

La capacidad de un suavizador varía de acuerdo a los pies cúbicos de resina y a la cantidad de sal que se utiliza para regenerar.

1 galón de agua disuelve 3 libras de sal o bien 1 litro de agua disuelve 360 gramos de sal. Por otro lado un pie cúbico de resina también tiene un flujo de agua que es capaz de suavizar:

- Flujo Normal por pie cúbico: 5 gpm
- Flujo Pico por pie cúbico: 7.5 gpm hasta 50% adicional.

<sup>17</sup> *Ibíd.*

#### **4.3 MARCO CONCEPTUAL**

**Ablandador:** Un suavizador o ablandador de agua, es un sistema que hace pasar el agua dura a través de una cama de resinas de intercambio iónico, y como resultado a la salida, se obtiene agua con bajo contenido de dureza (CARBOTECHNIA, 2020).

**Agua desmineralizada:** Agua que es tratada contra contaminante, minerales y está libre de sal (LENNTECH, 2020).

**Agua dura:** Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras (LENNTECH, 2020).

**Agua potable:** Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano (Resolución 1575 de 2007).

**Agua subterránea:** Agua que puede ser encontrada en la zona del suelo; zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos (LENNTECH, 2020).

**Alcalinidad:** La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra (IDEAM, 2005).

**Anión:** son iones con carga electromagnética negativa se forman cuando un metal pierde electrones, y los no metales ganan esos electrones (CARBOTECHNIA, 2020)

**Catión:** son iones con carga electromagnética positiva que se forman cuando un metal pierde electrones, y los no metales ganan esos electrones (CARBOTECHNIA, 2020).

**Desinfección:** La descontaminación de fluidos y superficies. Para desinfectar un fluido o una superficie una variedad de técnicas están disponibles, como desinfección por ozono. A menudo desinfección significa eliminación de la presencia de microorganismos con un biocida (LENNTECH, 2020).

**Dureza:** el agua que contiene en disolución cantidades apreciables de compuestos de calcio y magnesio se denomina dura porque la acción química de estos compuestos sobre el jabón origina un producto insoluble (EcuRed, s.f.).

**Hidrogeología:** Ciencia de la química y del movimiento del agua subterránea (LENNTECH, 2020).

**Hidroxilo:** El Grupo Hidroxilo u Oxhidrilo es un grupo funcional compuesto de 1 átomo de oxígeno y 1 átomo de hidrógeno que se une a un hidrocarburo (R-OH). El Grupo Hidroxilo da lugar a los siguientes compuestos orgánicos: alcoholes y fenoles (Químicas.net, 2015).

**Incrustación:** Costra que se forma e impide la circulación apropiada del agua y se debe por precipitado en la superficie de contacto con el agua como resultado de un cambio físico o químico (LENNTECH, 2020).

**Indicador:** Cualquier entidad biológica o proceso, o comunidad cuyas características muestren la presencia de las condiciones ambientales específicas o contaminación (LENNTECH, 2020).

**Ion:** son átomos o grupos de átomos que tienen una carga eléctrica. Los iones con una carga positiva se denominan cationes. Los que tienen carga negativa se denominan aniones (MedinePlus, 2020).

**Ion cambiador:** El reemplazamiento de iones indeseados con una cierta carga por iones deseados de la misma carga en una solución, por un ion permeable absorbente (LENNTECH, 2020).

**No potable:** Agua que es insegura o desagradable para beber debido a su contenido en contaminantes, minerales o agentes infecciosos (LENNTECH, 2020).

**Planta de tratamiento:** Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente (LENNTECH, 2020).

**Pozo:** Hoyo profundo con el objetivo de alcanzar agua subterránea para suministros (LENNTECH, 2020).

**Regeneración:** Volver a poner el número contrario deseado al ion cambiador, por desplazamiento de un ion de mayor afinidad con uno de menor afinidad (LENNTECH, 2020).

**Salmuera:** Solución formada por altas concentraciones de cloruro de sodio (NaCl), sal común, en agua (H<sub>2</sub>O). (LENNTECH, 2018).

**Sistema de abastecimiento de agua:** La colección, tratamiento, almacenaje, y distribución de un agua desde su fuente hasta los consumidores (LENNTECH, 2020).

**Zeolita:** La zeolita natural es el mejor sistema de filtración natural que existe para tratamiento de agua. Ofrece un efecto superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. (VERLEK, 2018).

#### **4.4 MARCO CONTEXTUAL**

El municipio de Bosconia se encuentra ubicado en el norte del departamento del Cesar, norte del país y su ubicación geográfica está dada por las siguientes coordenadas: Latitud 9° 58' 24.737" Norte y Longitud 73° 53' 11.036" Oeste.

El municipio de Bosconia limita al oeste con el Departamento del Magdalena, con el municipio de Algarrobo, Ariguaní y Sabanas de Ángel; el este con el municipio de Valledupar y El Paso; al Norte con el municipio de El Copey; y al sur con el municipio de El Paso.

#### 4.4.1 Características Generales

Es un municipio de categoría 6, con una extensión territorial de 578 kilómetros cuadrados y un total poblacional de 36629 habitantes (densidad poblacional de 64 habitantes por kilómetro cuadrado), distribuidos en un 91% en la cabecera y un 9% en zona rural; municipio que desde el año 2010 a 2015 ha disminuido su población muy levemente (DANE, 2015).

*Ilustración 2.  
Municipio de Bosconia, Cesar.*



*Fuente: obtenido de Internet.*

#### 4.4.2 Características Ambientales

##### 4.4.1.1. *Clima*

El municipio presenta un clima cálido seco con temperaturas promedios de 32°C, alcanzando hasta los 42°C, humedad relativa cerca del 53% y precipitación pluvial promedio de 1030 mm anuales. Evidencia un régimen bimodal de lluvias, durante un periodo de seis (6) meses hay escasez de lluvias y a pesar de que en los otros seis (6) meses exista

precipitación las altas temperaturas ocasionan elevados índices de evaporación, como consecuencia se produce una menor captación hídrica de la tierra (Gobierno Municipal de Bosconia, 2016).

#### **4.4.1.2. Hidrografía**

El municipio de Bosconia se encuentra bañado por el río Ariguaní, una (1) ciénaga llamada Humedal la Esmeralda y los siguientes siete arroyos: El Tonto, Mallorquín, Las Pavas, Bosconia, El Jobo, Aguas Lindas y Manantiales.

### **4.4.3 Características Socioeconómicas**

#### **4.4.3.1 Pobreza**

De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP) en el año 2005, el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) calculado fue de 78%, respecto a un 67% de la media departamental y un 70% de la media nacional (DANE, 2015).

#### **4.4.3.2 Salud**

Es un municipio que alcanzó la cobertura de 100% en prestación de servicios médicos y de salud y certificado en el año 2013 (DANE, 2015).

El principal factor de riesgo de enfermedad en Bosconia es a causa de las enfermedades respiratorias por la polución del casco urbano asociada al tránsito y la explotación minera (Gobierno Municipal de Bosconia, 2016).

El segundo factor de riesgo secundario es asociado a enfermedades cardiovasculares producidas por una mala alimentación, obesidad, sedentarismo, malformaciones, congénitas, alta presión arterial por las situaciones climatológicas y estrés (Gobierno Municipal de Bosconia, 2016).

Como tercer factor de riesgo en la salud pública son los accidentes de tránsito, identificando la ubicación geográfica del municipio siendo este camino de importantes vías

nacionales, que por su mal estado, falta de señalización y falta de conciencia sobre el riesgo producen numerosos accidentes en el municipio (Gobierno Municipal de Bosconia, 2016).

#### **4.4.3.3 Agua potable y Saneamiento Básico**

De acuerdo a la Secretaría de Salud Departamental del Cesar (2020), el IRCA se ha clasificado como un riesgo alto, siendo 62,23% para el mes de abril del presente año.

La fuente de abastecimiento de agua son subterráneas y se denominan Pozo N°2 y Pozo N°5, el primero ubicado en la finca El Guamo y cuenta con una Bomba tipo lapicero de 150 caballos de potencia (HP). Para el mes de abril del año 2017, operó 14 horas por día. El agua captada en el Pozo N°2 es llevada por 10 kilómetros en una línea de impulsión en asbesto- cemento y PVC de 10 pulgadas hasta el almacenamiento denominado Tanque 1 Cerrito, con capacidad de 1000 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) (SUPERSERVICIOS, 2017).

El caudal concesionado para captar en el Pozo N°2 es de 60 litros por segundo (l/s), para el año 2017 se extraían 11 l/s de más, para un total de 71 l/s, incumpliendo con lo expuesto en la Resolución 0864 de 24 de agosto de 2016, expedida por la Corporación Autónoma Regional del Cesar, CORPOCESAR (SUPERSERVICIOS, 2017).

El agua captada en el Pozo N°5 está ubicado en la finca Palma Ariguaní y cuenta con una Bomba tipo lapicero de 125 HP. Para el mes de abril del año 2017, operó 14 horas por día. El agua captada en el Pozo N°2 es llevada por 8 kilómetros en una línea de impulsión en asbesto- cemento y PVC de 14 pulgadas hasta el almacenamiento denominado Tanque 2 Gaitán con capacidad de 1000 m<sup>3</sup> (SUPERSERVICIOS, 2017).

El caudal concesionado para captar en el Pozo N°2 es de 60 litros por segundo (l/s), para el año 2017 se extraía esta misma cantidad, cumpliendo con lo expuesto en la Resolución 0864 de 24 de agosto de 2016, expedida por CORPOCESAR (SUPERSERVICIOS, 2017).

*Ilustración 3.*

*Pozo N°2 y N°5 donde captan el agua de suministro de Bosconia, Cesar.*



*Fuente: Autoras, 2021 [Basadas en CORPOCESAR, (2016)]*

La empresa EMPOBOSCONIA E.S.P no cuenta con planta de tratamiento de agua potable para el agua extraída de los pozos. Tampoco se dosifica desinfectante al agua en los pozos, ni en los tanques de almacenamiento (SUPERSERVICIOS, 2017).

*Tabla 3.  
 Sectores de distribución*

Sector	Barrios por sector	Usuarios sector
1	Loma Fresca, Villa Campestre, Paraíso, 16 de Julio, San Juan Bosco, Recreo, Miramar y La Estación, San Francisco de Asís.	1449
2	El Carmen, Enrique Aron, 18 de Febrero, Armero, La Unión, 20 de Mayo, San Jorge, y Los Almendros, Uribe Vélez.	2614
3	San Martín, El Instituto, Teresa Urbina, Brisas del Cesar.	1154
4	Villa Tania, Brisas del Cesar, Villa Estadio, Alto de Bosconia, Alto Prado, Nueva Bosconia, Gaitan, Villa Consuelo.	1411
5	Corregimiento de Loma Colorada	224

*Fuente: SUPERSERVICIOS, 2017*

La red de distribución se encuentra dividida en cinco sectores hidráulicos, con las características presentadas en la tabla anterior (SUPERSERVICIOS, 2017). Cumpliendo con una cobertura de acueducto del 90%, por encima del promedio departamental 82% y el nacional 88% (Gobierno Municipal de Bosconia, 2016).

Según el Plan de Contingencia del acueducto de Bosconia, el sistema de acueducto del área urbana del municipio es operado EMPOBOSCONIA E.S.P, el agua potable se distribuye por aproximadamente 14 horas continuas, entre las 12:00 am, y las 2:00 pm (Gobierno Municipal de Bosconia, 2016).

#### 4.5 MARCO LEGAL

A continuación se presentan los requisitos normativos aplicables para el presente proyecto.

*Tabla 4. Requisitos normativos aplicables*

Normativa	Descripción / Requisito Aplicable
Constitución Política de 1991	<p><b>Artículo 78:</b> La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización. Serán responsables, de acuerdo con la ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios. El Estado garantizará la participación de las organizaciones de consumidores y usuarios en el estudio de las disposiciones que les conciernen. Para gozar de este derecho las organizaciones deben ser representativas y observar procedimientos democráticos internos.</p> <p><b>Artículo 79:</b> Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p>

Normativa

Descripción / Requisito Aplicable

**Artículo 80:** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

**Artículo 82:** Es deber del Estado velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular. Las entidades públicas participarán en la plusvalía que genere su acción urbanística y regularán la utilización del suelo y del espacio aéreo urbano en defensa del interés común.

**Artículo 365:** Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional. Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios. Si por razones de soberanía o de interés social, el Estado, mediante ley aprobada por la mayoría de los miembros de una y otra cámara, por iniciativa del Gobierno decide reservarse determinadas actividades estratégicas o servicios públicos, deberá indemnizar previa y plenamente a las personas que en virtud de dicha ley, queden privadas del ejercicio de una actividad lícita.

**Artículo 366:** El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.

**Artículo 367:** La ley fijará las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de

Normativa	Descripción / Requisito Aplicable
	costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos. Los servicios públicos domiciliarios se prestarán directamente por cada municipio cuando las características técnicas y económicas del servicio y las conveniencias generales lo permitan y aconsejen, y los departamentos cumplirán funciones de apoyo y coordinación. La ley determinará las entidades competentes para fijar las tarifas.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 09 de 1979	Código Sanitario Nacional.
Ley 142 de 1994	SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS: por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. (Libro II, Título Parte III).
Decreto 475 de 1998	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. (Capítulo III, artículo 7)
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Decreto 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 0330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las

Normativa	Descripción / Requisito Aplicable
	resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

*Fuente: Autoras, 2021 (basadas a partir de marco normativo ambiental MINAMBIENTE)*

## 5. MARCO METODOLÓGICO

### 5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

- **Línea de investigación:** Sostenibilidad y Gestión Ambiental.
- **Sub línea de investigación:** Gestión integral del recurso hídrico / Tratamiento de agua potable.

### 5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La dimensión de estudio es descriptiva debido a que en referencia al problema de la dureza en el agua se quiere saber el cómo se presenta, cómo cambia y su cuantificación, resultados que ayudan a la toma de decisiones. También es un tipo de investigación explicativa porque se intentará encontrar las causas del mismo para poder atacarlas mediante la experimentación de un prototipo a escala laboratorio (Hernández, 2012).

### 5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El grado de profundidad del nivel de investigación según los objetivos de la investigación son el perceptual y comprensivo, que se encargan de explorar y describir y de explicar, predecir y/o proponer, respectivamente, la problemática de estudio, siendo que la presente investigación posee un concepción holística (Hernández, 2012).

### 5.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

Corresponde al agua suministrada por la Empresa de Servicios Públicos EMPOBOSCONIA E.S.P. distribuye a los habitantes de la cabecera del Municipio de Bosconia y en particular a su característica química de sales de calcio y magnesio disueltas

en ella, la cual es perceptible por alterar la propiedad organoléptica del sabor y por disolver más rápidamente los jabones y detergentes.

## **5.5 MUESTRA POBLACIONAL**

Corresponde a muestra que se obtiene de agua del Pozo N°2, localizado geográficamente con coordenadas: Latitud 9°55'57.30" Norte y Longitud 73°57'25.20" Oeste, en el predio denominado El Guamo, al sur del municipio de Bosconia.

Teniendo en cuenta que el caudal de captación del Pozo N°2 es de 55 l/s, con tal valor de producción llenaría el Tanque de distribución 1 Cerrito en 3,91 horas. Si su funcionamiento diario es de 14 horas por día, haciendo un cálculo sencillo quiere decir que se suministra 3,59 veces el volumen total del tanque (3590 m<sup>3</sup>).

Con esta información descrita y teniendo en cuenta las recomendaciones de la subdirección Red Nacional de Laboratorios del INS (2011), de obtener una muestra de cantidad mínima de 3000 mililitros (mL) o 3 litros; se procederá a seleccionar la muestra en conveniencia de las investigadoras y requerimientos asociados a la determinación de los parámetros fisicoquímicos y cantidad de agua para funcionamiento piloto del prototipo de ablandamiento a escala laboratorio.

## **5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO**

**5.6.1 FASE 1: Caracterizar los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, pH, SDT, Alcalinidad, Dureza y conductividad) del agua extraída del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.**

### ***Actividad 1.1. Muestreo del agua***

**Descripción:** siguiendo el protocolo de recolección de muestras de agua del Instituto Nacional de Salud (INS), se realizaron tomas de muestra mediante un muestreo puntual en la Bomba del Pozo N°2: El objetivo del primer muestreo fue conocer las características fisicoquímicas del efluente, se recolectaron 3 litros de agua para la determinación de los

parámetros: Temperatura, pH, SDT, Alcalinidad, Dureza y conductividad; se diseñó un esquema de muestro para tomar cada dos días muestras que se utilizaron para el funcionamiento del prototipo, siendo estas recolectadas en 5 envases de plásticos de 20 L cada uno.

Al aplicar el proceso de muestreo se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones:

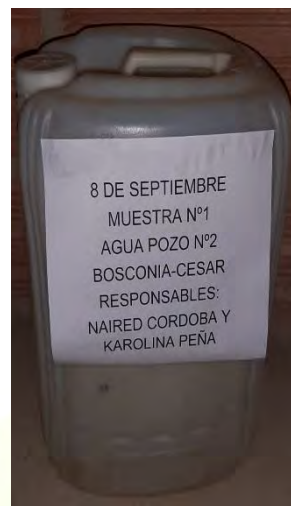
- Enjuagar dos o tres veces el recipiente de muestreo.
- Llenar el recipiente de muestreo para las pruebas físico - químicas hasta que el flujo se rebose, evitando posibles modificaciones durante el transporte.
- Rotular la muestra, resaltando la siguiente información: Fecha y hora de la toma de la muestra del agua, Número y Tipo de muestra (agua cruda), Nombre y Localización Geográfica del Lugar de muestreo, Responsable de entrega de la muestra.

*Imagen 2*  
*Rotulación de la Muestra.*



*Fuente: Autoras, 2021*

*Imagen 1*  
*Rotulación de la Muestra*



*Fuente: Autoras, 2021*

### **Actividad 1.2. Ensayos de Laboratorio**

**Descripción:** es de interés los parámetros fisicoquímicos Temperatura, pH, SDT, Alcalinidad, Dureza y conductividad.

De acuerdo a la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF), que presentan los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (1992), las técnicas para la determinación de los parámetros mencionados son enlistados en la Tabla 5.

*Tabla 5.  
Pruebas de laboratorio que se realizaron*

Parámetro Fisicoquímico	Nombre del método de laboratorio
2320 Alcalinidad	2320B Método de Titulación
2340 Dureza	2340C Método Titulométrico de EDTA*
2510 Conductividad	2510B Método de Laboratorio con solución estándar de KCl
2540 Sólidos	2540C Método Sólidos Totales Secados a 180°C
2550 Temperatura	2550B Método de Laboratorio con Termómetro Reversible
4500-H <sup>+</sup> Valor de pH	4500-H <sup>+</sup> -B Método Electrométrico

*Fuente: Autoras, 2021 (basadas en AWWA, APHA & WPCF, 1992)*

*\*Ácido etilendiaminotetracético y sus sales de sodio*

## **PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE DUREZA EN UNA MUESTRA DE AGUA**

### **Equipo, material y sustancias utilizadas:**

- Dos matraces Erlenmeyer
- Una pipeta volumétrica de 25 mL

- Un vaso de precipitado.
- Una pipeta de 1 mL
- Una bureta
- Un embudo
- Solución Amortiguadora de (NH<sub>4</sub>OH-NH<sub>4</sub>Cl) para pH 10.
- Solución de Hidróxido de Sodio 1M, para pH de 12 a 13.
- Solución valorada de Versenato de sodio (EDTA) de una concentración tal que 1 mL

= 1mg de Ca o Mg en CaCO<sub>3</sub>

- Indicador en polvo Negro T de Eliocromo.
- Indicador en polvo de Purpurato de Amonio (murexida).
- Agua destilada

#### **Procedimiento:**

##### ***Dureza total:***

1. Tomamos 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregamos 1 mL de la solución amortiguadora
3. Agregamos una pizca del indicador Negro T de Eriocromo, dando una coloración rojo vino que indica la presencia de iones de calcio y magnesio.
4. Titulamos con la solución valorada EDTA hasta su vire a color azul que se comprueba añadiendo una gota más de EDTA que no produzca cambio en la coloración.
5. Leímos la cantidad de EDTA consumido.
6. Calculamos la dureza total por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza Total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{Lt}} \text{ CaCO}_3 \right) = \frac{V_t * N_t * P_{Eq-gr} \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$$

Dónde:  $V_t$  = Volumen del titulante EDTA agregado en ml.

$N_t$  = Concentración Normal de la sln de EDTA 0,02N o 0,01M

$V_m$  = Volumen de muestra

***Dureza de Calcio:***

1. Tomamos 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregamos 1 mL de solución de hidróxido de sodio 1M y agitar, hasta que el pH este entre 12 y 13.
3. Agregamos una pizca del indicador Purpurato de Amonio (Murexida), dando una coloración rosada.
4. Titulamos con la solución de Versenato de Sodio (EDTA) hasta su vire a color púrpura que se comprueba preparando un testigo con 2 mL de la solución de hidróxido de sodio, indicador murexida y suficiente cantidad de EDTA.
5. Leímos la cantidad de EDTA consumido.
6. Calculamos la dureza cálcica por medio de la fórmula.

$$\text{Dureza de Calcio} \left( \frac{\text{mg}}{\text{Lt}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{V_t * N_t * P_{Eq-gr} \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$$

Dónde:  $V_t$  = Volumen del titulante EDTA agregado en ml.

$N_t$  = Concentración Normal de la sln de EDTA 0,02N o 0,01M

$V_m$  = Volumen de muestra

***Dureza de Magnesio:***

Para hallar la dureza de magnesio hicimos una sustracción de la dureza total y la dureza cálcica.

**PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE ALCALINIDAD EN UNA MUESTRA  
DE AGUA.**

**Equipo, material y sustancias requeridas:**

- Dos matraces Erlenmeyer de 125 o 250 mL.
- Una pipeta volumétrica de 50 mL.
- Una bureta de 25 o 50 mL.
- Un vaso de precipitado.
- Un embudo
- Ácido sulfúrico 0.02 N
- Indicador de Fenolftaleína
- Indicador de Naranja de Metilo

**Procedimiento:**

***Alcalinidad a la fenolftaleína:***

1. Tomamos 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregamos 3 gotas de indicador de fenolftaleína.
  - a. Si da una coloración rosa es porque existe alcalinidad a la fenolftaleína, y se pasa al paso 3.
  - b. Si se mantiene incoloro, no presenta alcalinidad a la fenolftaleína y esta es cero (0).
3. Titulamos la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N hasta su decoloración.
4. Tomamos la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado.
5. Reemplazamos en la ecuación y calcule la alcalinidad a la fenolftaleína:

$$\text{Alcalinidad de Fenolftaleina} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{V_t * N_t * P_{Eq-gr} \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$$

Donde:  $V_t$  = Volumen de ácido estándar agregado en mL.

$N_t$  = Normalidad del ácido estándar 0,02N

$V_m$  = Volumen de muestra en mL

### **Alcalinidad Total:**

1. Tomamos 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer.
2. Agregamos 3 gotas del indicador anaranjado de metilo.
  - a. Si da una coloración amarilla, es porque existe alcalinidad al Naranja de Metilo, y se pasa al paso 3.
  - b. Si da una coloración naranja, no presenta alcalinidad y esta es cero (0).
3. Titulamos la muestra con solución de ácido sulfúrico 0.02N, hasta que vire a color naranja (correspondiente a PH = 4.5).
4. Tomamos la lectura de solución titulante en mililitros de ácido agregado.
5. Reemplazamos en la ecuación y calcule la alcalinidad Total:

$$\text{Alcalinidad Total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{V_t * N_t * P_{Eq-gr} \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$$

Dónde:  $V_t$  = Volumen de ácido estándar agregado en mL.

$N_t$  = Normalidad del ácido estándar 0,02N

$V_m$  = Volumen de muestra en mL

**PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES  
(SDT).**

1. Teniendo el montaje de filtración, enjuagamos el papel filtro de fibra de vidrio con 25 ml de agua destilada.
2. Lo retiramos del soporte del papel con mucho cuidado para que no se rompa (Utilizar pinzas), lo colocamos sobre la capsula de aluminio, manipulándolo de aquí en adelante únicamente con las pinzas. Después lo colocamos en el horno la capsula con el papel filtro a 103- 105° C durante 30 minutos.
3. Retiramos la capsula con el papel de la mufla y lo dejamos enfriar 10 minutos en la campana de secado. Lo colocamos en el desecador y lo dejamos allí hasta cuando adquiera la temperatura del ambiente del cuarto de la balanza.
4. Transferimos capsula con el papel a la balanza analítica y registramos su peso seco hasta la décima de miligramo. (**P<sub>1</sub>**)
5. Con el uso de las pinzas retiramos el papel de filtro de la capsula y lo colocamos nuevamente en el montaje de filtración.
6. Medimos un volumen de la muestra (**V<sub>m</sub>**) bien agitada teniendo en cuenta que el volumen de muestra utilizado es inversamente proporcional a la concentración de sólidos que se identifiquen en ella. (Volumen recomendado para una muestra de agua cruda de 10 a 30 mL, para lodos de 10 a 15 mL)
7. Vertimos el volumen de muestra medido en la tolva de filtración teniendo el cuidado de que no caiga directamente en el papel para que no lo rompa, deje filtrar el tiempo que sea necesario hasta que no se identifique humedad sobre el papel.
8. Al terminar la filtración de la muestra, retiramos el papel del montaje de filtración con mucho cuidado haciendo uso de las pinzas, transfíralo a la capsula correspondiente y posteriormente al horno eléctrico (que esté funcionando a 103° -

105° C), dejamos secar a peso constante durante 1 hora. A mayor cantidad de sólidos en el papel debe darse mayor tiempo de secamiento.

9. Pasamos la capsula con el papel al desecador y dejamos enfriar hasta que adquiera la temperatura ambiente del cuarto de la balanza.

10. Transferimos la capsula con el papel a la balanza analítica y registre su peso como papel filtro + sólidos suspendidos secos hasta la décima de miligramo. **(P<sub>2</sub>)**

11. Exprese el contenido de Sólidos Suspendidos Totales en la muestra en mg/L o ppm, aplicando la formula correspondiente a Sólidos Suspendidos Totales.

#### **PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE pH Y TEMPERATURA**

1. Introducimos el pH metro en la muestra.
2. Esperamos hasta asegurar que la lectura se ha estabilizado.
3. El valor que nos marca el pH metro es nuestra medida para pH y temperatura.

#### **PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD**

1. Introducimos el conductímetro en la muestra.
2. Esperamos hasta asegurar que la lectura se ha estabilizado.
3. El valor que nos marca el conductímetro es nuestra medida.

*Imagen 3*  
*Titulación de Muestras*



*Fuente: Autoras, 2021*

**5.6.2 FASE 2: Diseñar y construir el prototipo de intercambio iónico para el ablandamiento del agua extraída del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.**

***Actividad 2.1. Dimensionamiento del Prototipo de Ablandador***

**Descripción:** Para el diseño del prototipo se tomó como referencia los parámetros de diseño de intercambiadores de iones con resina de intercambio iónico de Duarte Valencia, E. A., & Vizcaíno Sánchez, C. M. (2015):

- Altura del lecho de resina ( $h_z$ )
- Altura de grava ( $h_g$ )
- Borde libre

Luego se procedió con el análisis de variables fundamentales:

- Características del agua a tratar (centrada en los iones de calcio y magnesio disueltas en el agua)
- Agua blanda requerida (flujo, caudal o tasa volumétrica que se quiere obtener)
- Volumen de la resina.
- Dimensionamiento del Lecho de la Resina.
- Dimensionamiento del ablandador.
- Cálculo de la cantidad de regenerante
- Tiempo de retención.
- Condiciones de retro lavado





• **VOLUMEN**

$$V = \frac{\pi}{4} * \phi^2 * h$$

$$V = \frac{\pi}{4} * (0,0381m)^2 * 2m$$

$$V = 0,00228m^3$$

$$V = 0,00228m^3$$

$$b = 0,05 m$$

$$h = 1 m$$

$$H = 0,05m$$

$$\phi = 1.5 in$$

$$\phi = 0,0381 m$$

• **ALTURA DE ZEOLITA**

$$h_z = \frac{A1 * hz1}{A2}$$

$$A1 = \frac{\pi}{4} * (0,0381m)^2$$

$$A1 = 1,14 * 10^{-3}$$

$$hz1 = 0,80 m$$

$$A2 = 2,5 * 10^{-3}m^2$$

$$h_z = \frac{(1,14 * 10^{-3}m^2) * (0,80m)}{2,5 * 10^{-3}m^2}$$

$$h_z = 0,3648m \sim 0,37m$$

• **ALTURA DE LA GRAVA**

$$h_g = \frac{(1,14 * 10^{-3}m^2) * (0,10m)}{2,5 * 10^{-3}m^2}$$

$$h_g = 0,0456m \sim 0,05m$$

A1= Área presente en el  
Antecedente

hz1= Altura de zeolita en el  
antecedente





- **ALTURA DEL BORDE LIBRE**

$$hb = \frac{(1,14 * 10^{-3}m^2) * (0,20m)}{2,5 * 10^{-3}m^2}$$

$$hb = 0,0912m \sim 0,10m$$

- **CÁLCULO DE SALMUERA (CERVANTES ANANGONÓ, 2015)**

Para que la salmuera inyectada en el lecho de resina cumpla con la eficiencia del ciclo de retrolavado debe tener una concentración al 10%.

Se realizó una relación de  $p/v$  donde por cada 100 gr de sal se utilizaría 1 litro de agua.

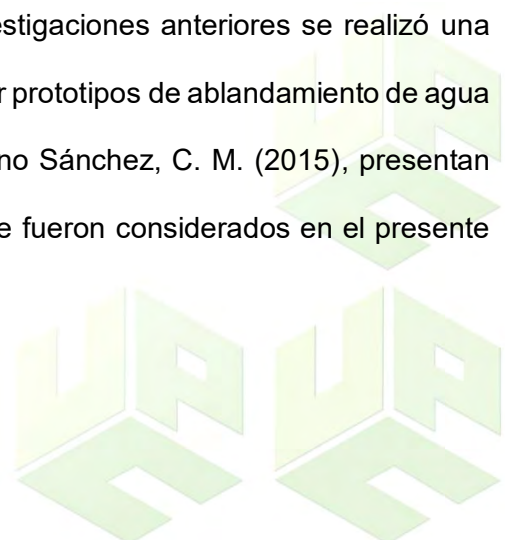
Vol del prototipo= 2,5 litros.

$$2,5 \text{ litros de agua} = 250 \text{ gr de sal}$$

Así mismo se procedió al diseño gráfico del prototipo a escala real y luego fue extrapolado a escala laboratorio, para ello se empleó el software AutoCAD, en el cual se etiquetó el propósito y uso de cada elemento que integra el prototipo.

### **Actividad 2.2. Construcción del Prototipo Ablandador**

**Descripción:** En base a antecedentes de investigaciones anteriores se realizó una revisión primaria de sus recomendaciones para elaborar prototipos de ablandamiento de agua cruda. Autores como Duarte Valencia, E. A., & Vizcaíno Sánchez, C. M. (2015), presentan diseños en los cuales integran piezas y elementos que fueron considerados en el presente proyecto, como lo son:



- **Prototipo ablandador**

*Imagen 4*  
*Prototipo ablandador*



*Fuente: Autoras, 2021*

- **Tanque de alimentación de 80 litros**

*Imagen 5*  
*Tanque de alimentación de 80 Litros*



*Fuente: Autoras, 2021*



- **Tanque de recepción para agua blanda de 30 litros**

*Imagen 6*

*Tanque de recepción de agua blanda de 30 litros*



*Fuente: Autoras, 2021*

- **Tanque de almacenamiento y recepción para el regenerante de 12 Litros**

*Imagen 7*

*Tanque de almacenamiento y recepción para el regenerante de 12 Litros*



*Fuente: Autoras, 2021*



- **Mangueras plásticas transparentes de  $\varnothing 0,5\text{cm}$**

*Imagen 8*

*Mangueras plásticas transparentes de  $\varnothing 0,5\text{cm}$*



*Fuente: Autoras, 2021*

- **Bomba Peristáltica SP – ESTÁNDAR 2,5**

*Imagen 9*

*Bomba Peristáltica SP-ESTÁNDAR 2,5*



*Fuente: Autoras, 2021*

- **Resina de ablandamiento de agua (Zeolita). Ver anexo 3. Ficha técnica Zeolita**

*Imagen 10*

*Resina de ablandamiento de agua (Zeolita)*



*Fuente: Autoras, 2021*

**Actividad 2.3. Prueba preliminar y de ajuste del prototipo de ablandamiento**

**Descripción:** Con la finalidad de hacer mejoras al prototipo y de verificar que la funcionalidad operativa del mismo satisface los requerimientos, se realizó una prueba preliminar en la cual no se midió ningún parámetro, solo se observó el comportamiento visual del mismo con tal de subsanar los problemas que surgieron.

**5.6.3 FASE 3: Evaluar la eficiencia de la remoción de la dureza de las aguas extraídas del Pozo N°2 que abastece al Sistema de Acueducto de la Cabecera Municipal de Bosconia – Cesar.**

**Actividad 3.1. Puesta en marcha del Prototipo de Ablandamiento**

**Descripción:** se realizaron 4 montajes con diferentes alturas de lecho de resina con el fin de evaluar la eficiencia de la zeolita con diferentes horas de trabajo del prototipo.

Se puso a trabajar la bomba peristáltica absorbiendo el agua dura del tanque de almacenamiento, haciéndola pasar por el lecho de resina hasta que esta haya disminuido su poder de intercambio, la resina fue lavada en contracorriente para limpiarla de cualquier sólido e iones existentes en el agua cruda, la resina fue regenerada antes de cada montaje para que recuperara su capacidad inicial.

**Montaje N°1: altura de lecho de resina de 37 cm**

*Tabla 6.*

*Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°1*

Tiempo de toma de muestras

24 horas

23 horas

22 horas

21 horas



---

Tiempo de toma de muestras

---

20 horas

19 horas

18 horas

17 horas

16 horas

15 horas

14 horas

13 horas

12 horas

11 horas

10 horas

9 horas

8 horas

7 horas

6 horas

5 horas

4 horas

3 horas

2 horas

1 hora

---

*Fuente: Autoras, 2021*



**Montaje N°2: altura de lecho de resina de 27,75 cm**

*Tabla 7*

*Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°2*

Tiempo de toma de muestras
9 horas
8 horas
7 horas
6 horas
5 horas
4 horas
3 horas
2 horas
1 hora

*Fuente: Autoras, 2021*

**Montaje N°3: altura de lecho de resina de 18,5 cm**

*Tabla 8*

*Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°3*

Tiempo de toma de muestras
9 horas
8 horas
7 horas
6 horas
5 horas
4 horas
3 horas
2 horas



---

Tiempo de toma de muestras

---

1 hora

*Fuente: Autoras, 2021*

**Montaje N°4: altura de lecho de resina de 9,25 cm**

*Tabla 9*

*Parámetros de análisis en la operatividad del prototipo de ablandamiento Montaje N°4*

---

Tiempo de toma de muestras

---

9 horas

8 horas

7 horas

6 horas

5 horas

4 horas

3 horas

2 horas

1 hora

---

*Fuente: Autoras, 2021*

El funcionamiento del prototipo fue en flujo continuo. El diagrama que se presenta a continuación es una representación gráfica del resultado obtenido.

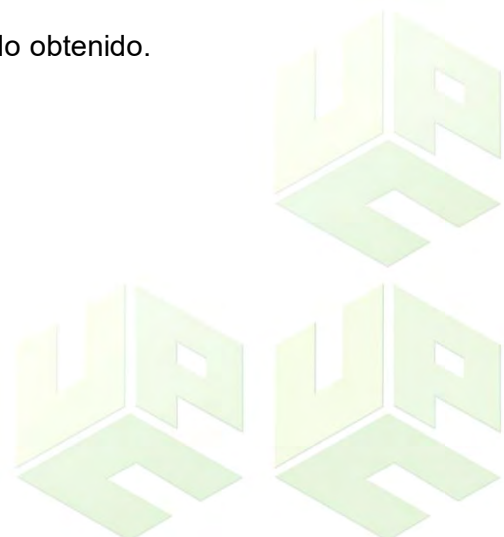
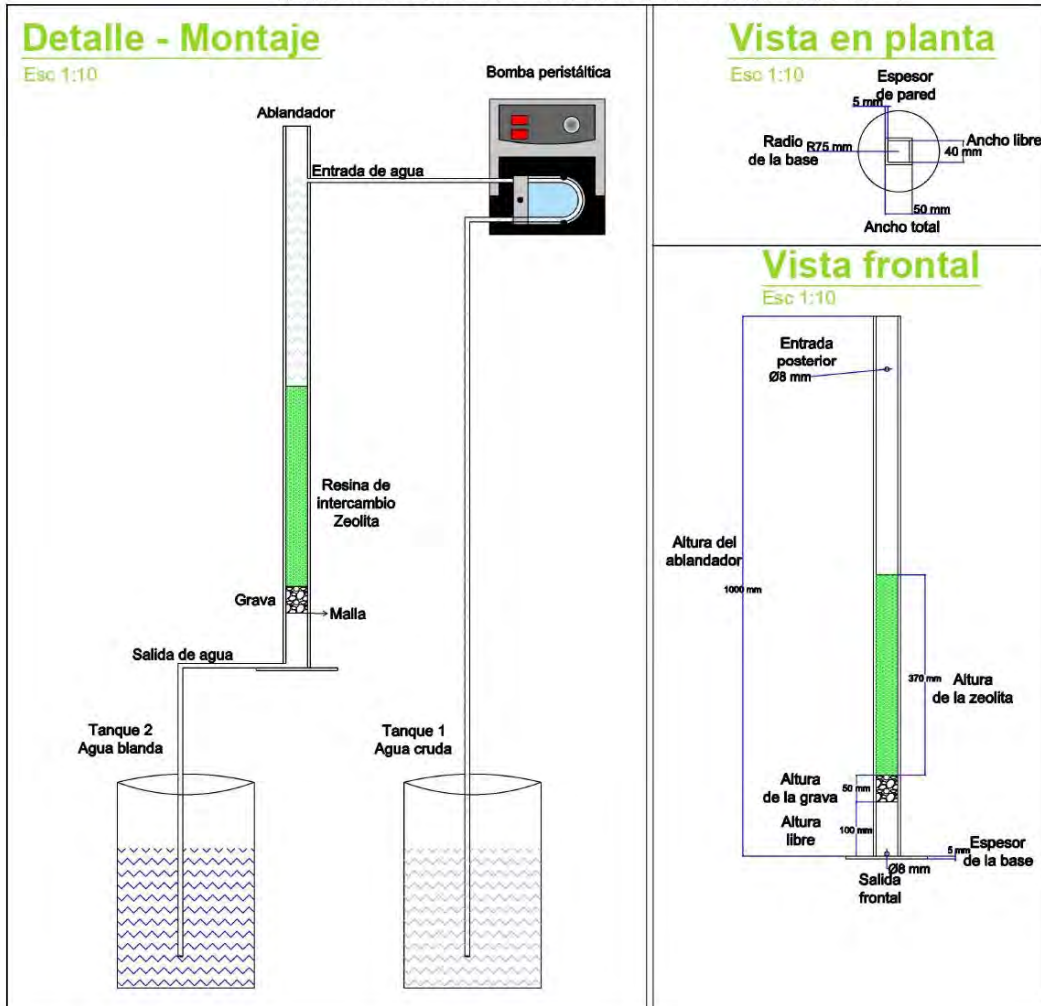




Figura 1  
Esquema del Ablandador de Agua de Montaje N°1

**PROCESO DE ABLANDAMIENTO 1**



Diseño de un prototipo de intercambio iónico para el ablandamiento de agua suministrada por el pozo N°2 al sistema de acueducto de la cabecera municipal de Bosconia - Cesar

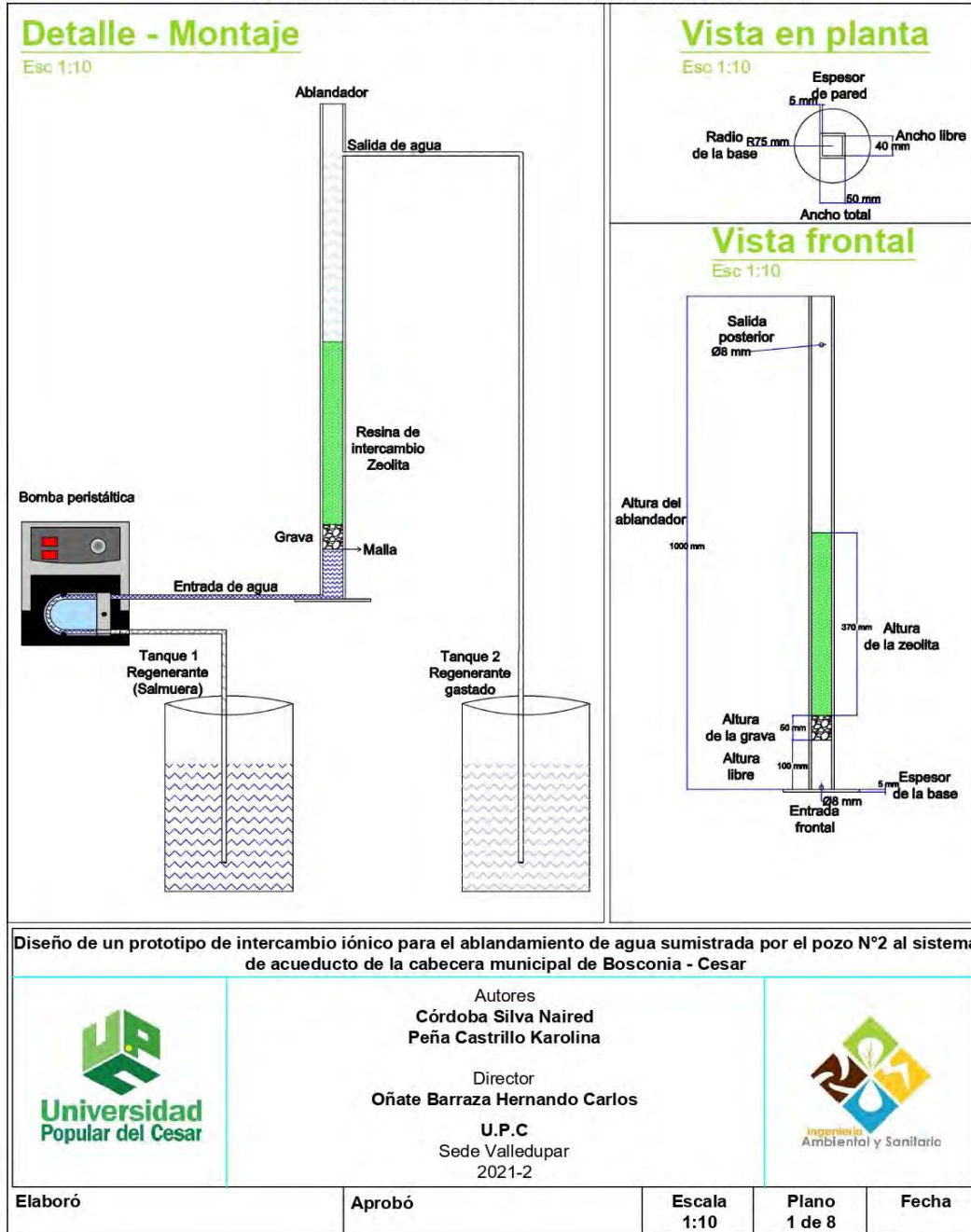
 <p>Universidad Popular del Cesar</p>	<p>Autores Córdoba Silva Naired Peña Castrillo Karolina</p>	 <p>Ingeniería Ambiental y Sanitaria</p>		
	<p>Director Oñate Barraza Hernando Carlos</p> <p>U.P.C Sede Valledupar 2021-2</p>			
Elaboró	Aprobó	Escala 1:10	Plano 2 de 8	Fecha

Fuente: Autoras, 2021

Figura 2

Esquema proceso de retrolavado del Agua Montaje N°1

**PROCESO DE RETROLAVADO 1**

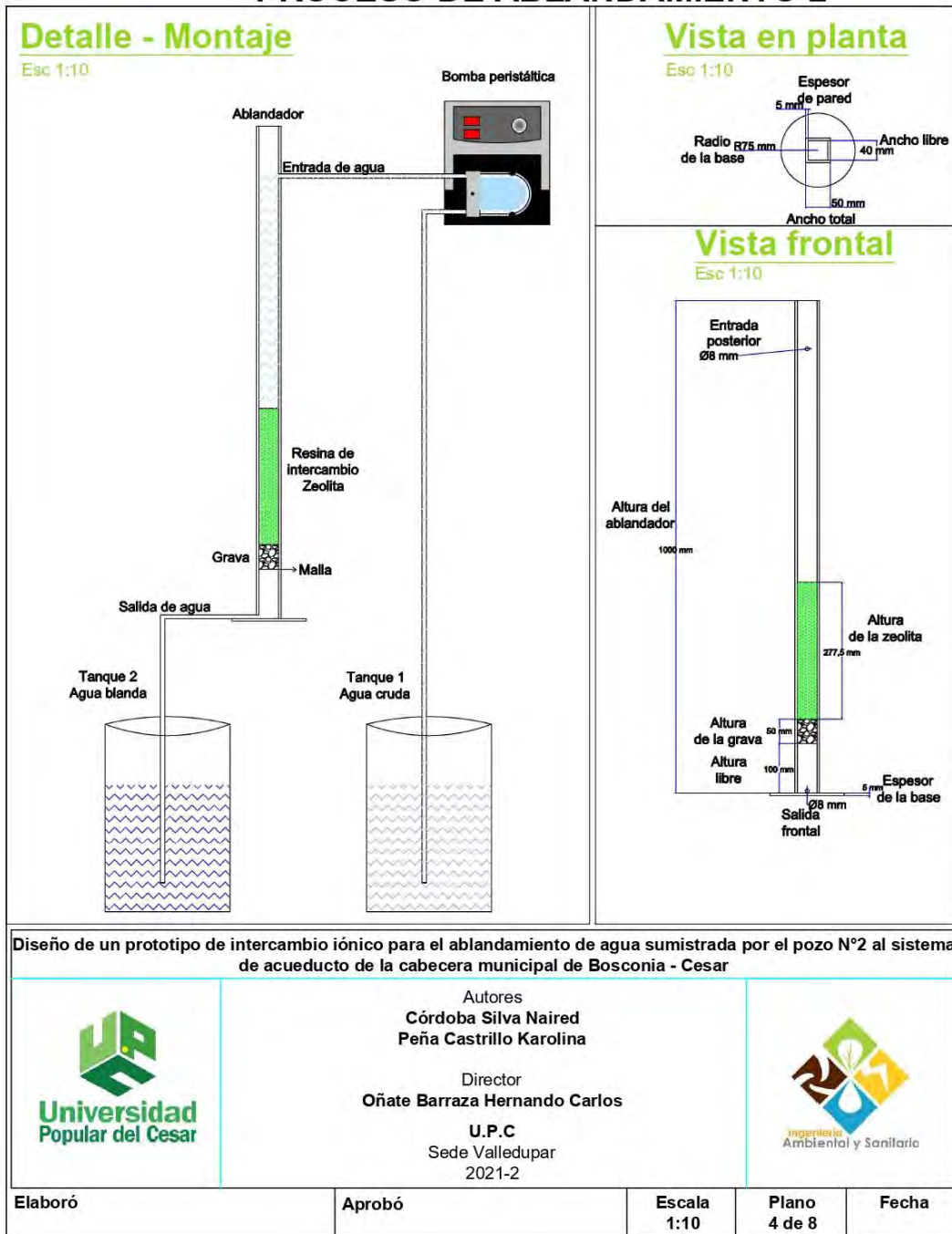


Fuente: Autoras, 2021

Figura 3

Esquema del Ablandador de Agua Montaje N°2

**PROCESO DE ABLANDAMIENTO 2**

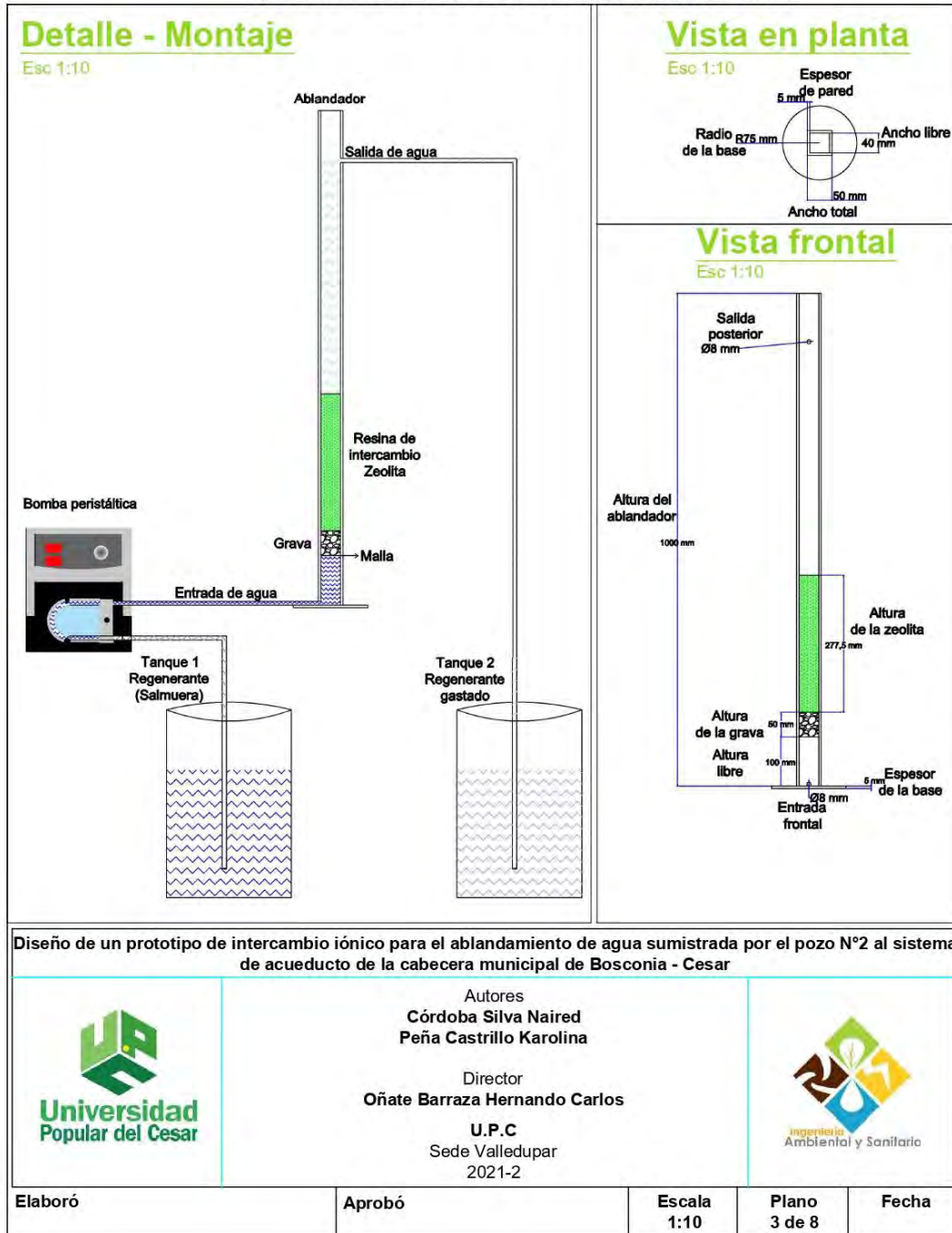


Fuente: Autoras, 2021

Figura 4

Esquema Proceso de Retrolavado del Agua Montaje N°2

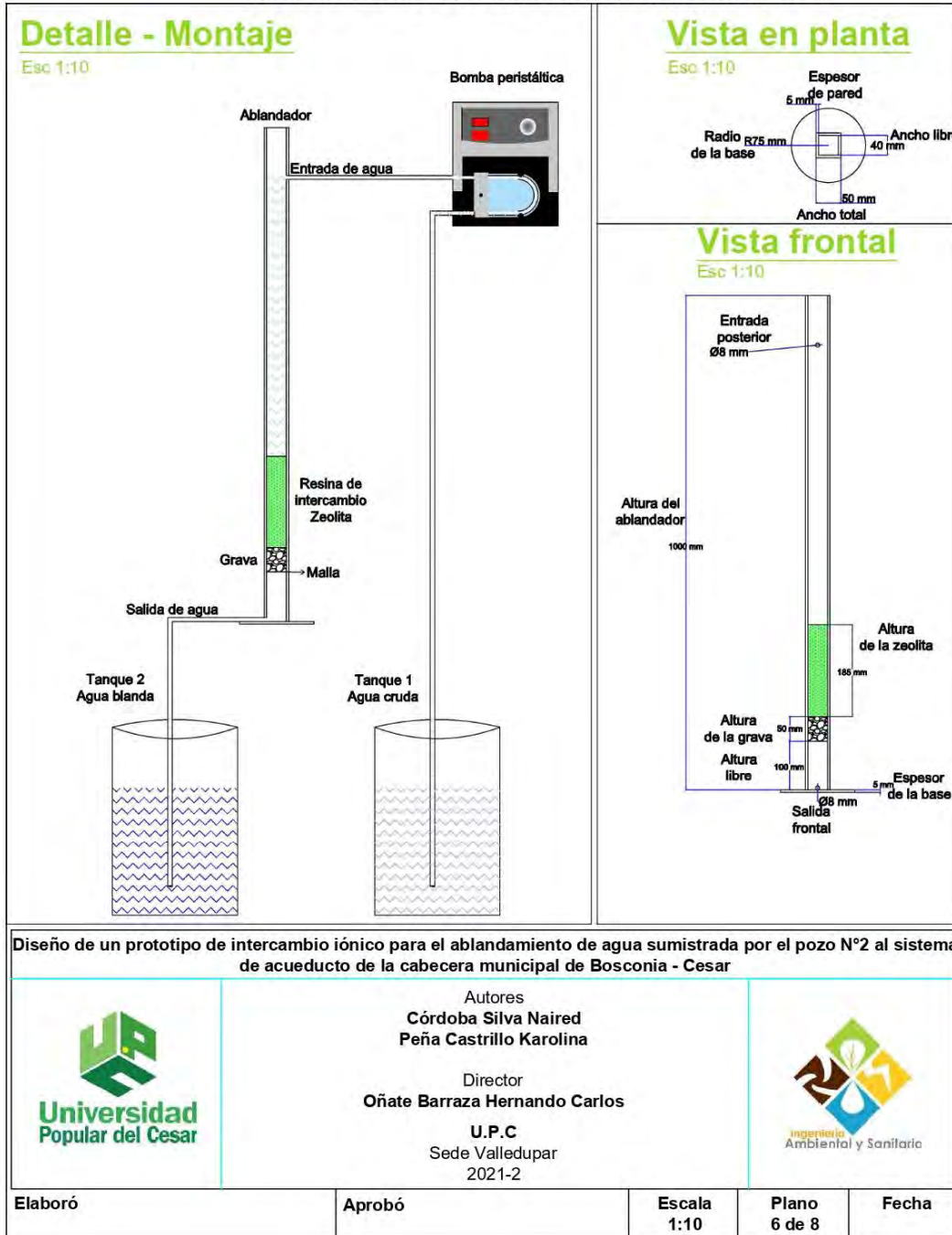
**PROCESO DE RETROLAVADO 2**



Fuente: Autoras, 2021

Esquema del Ablandador de Agua Montaje N°3

**PROCESO DE ABLANDAMIENTO 3**

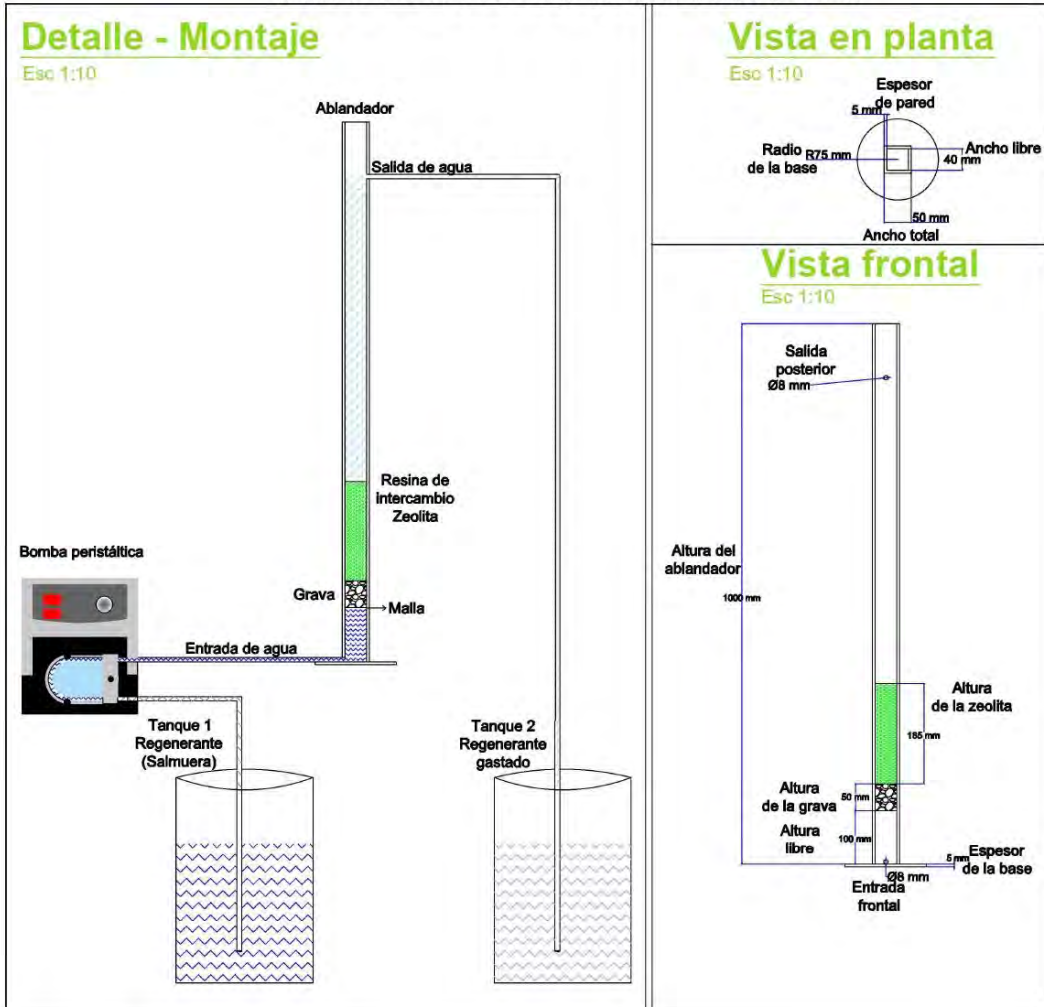


Fuente: Autoras, 2021



Figura 6

Esquema Proceso de retrolavado del Agua Montaje N°3

**PROCESO DE RETROLAVADO 3**



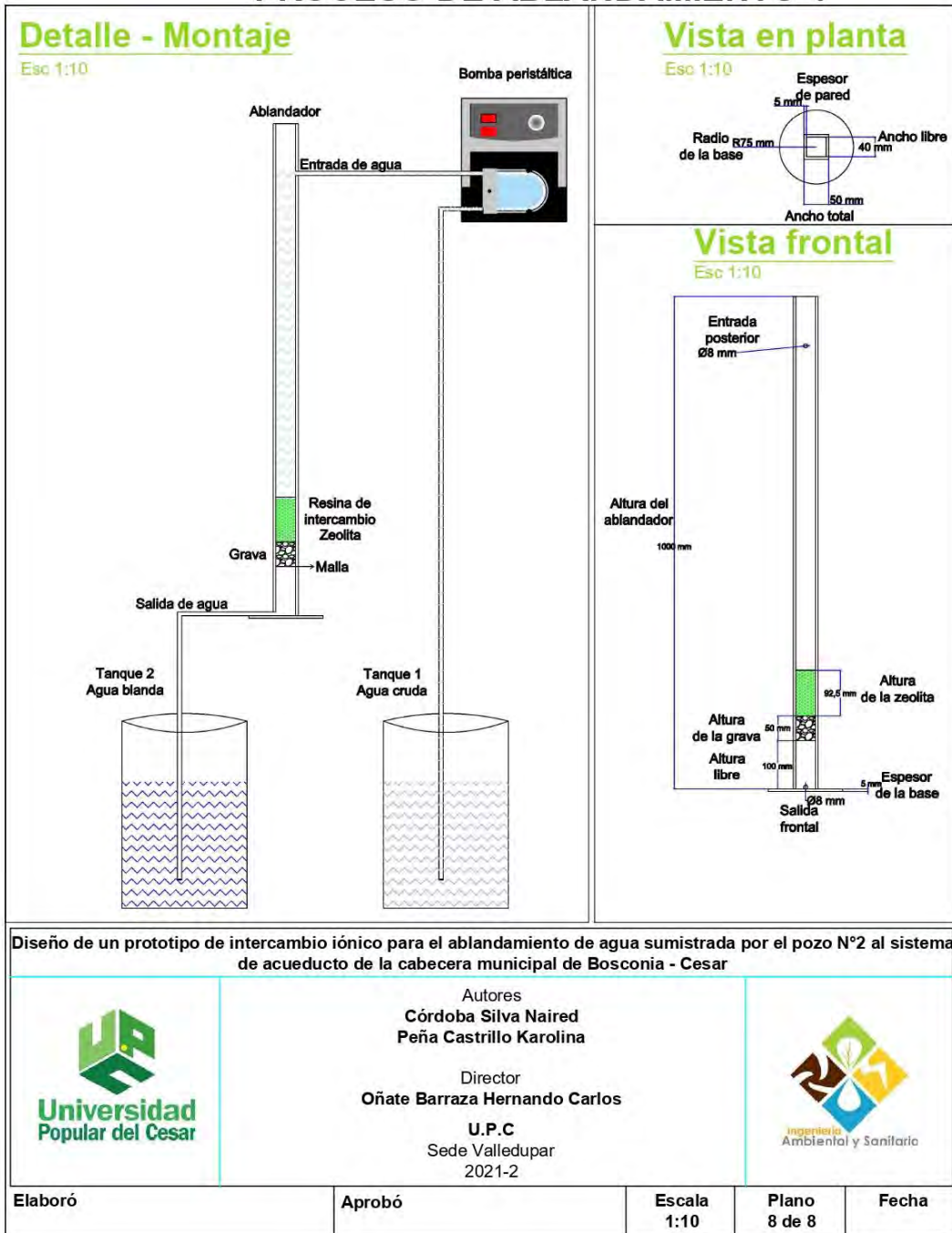
Diseño de un prototipo de intercambio iónico para el ablandamiento de agua suministrada por el pozo N°2 al sistema de acueducto de la cabecera municipal de Bosconia - Cesar

 <p>Universidad Popular del Cesar</p>	<p>Autores Córdoba Silva Naired Peña Castrillo Karolina</p>	 <p>Ingeniería Ambiental y Sanitaria</p>		
	<p>Director Oñate Barraza Hernando Carlos</p> <p>U.P.C Sede Valledupar 2021-2</p>			
Elaboró	Aprobó	Escala 1:10	Plano 5 de 8	Fecha

Fuente: Autoras, 2021

Esquema del Ablandador de Agua Montaje N°4

**PROCESO DE ABLANDAMIENTO 4**

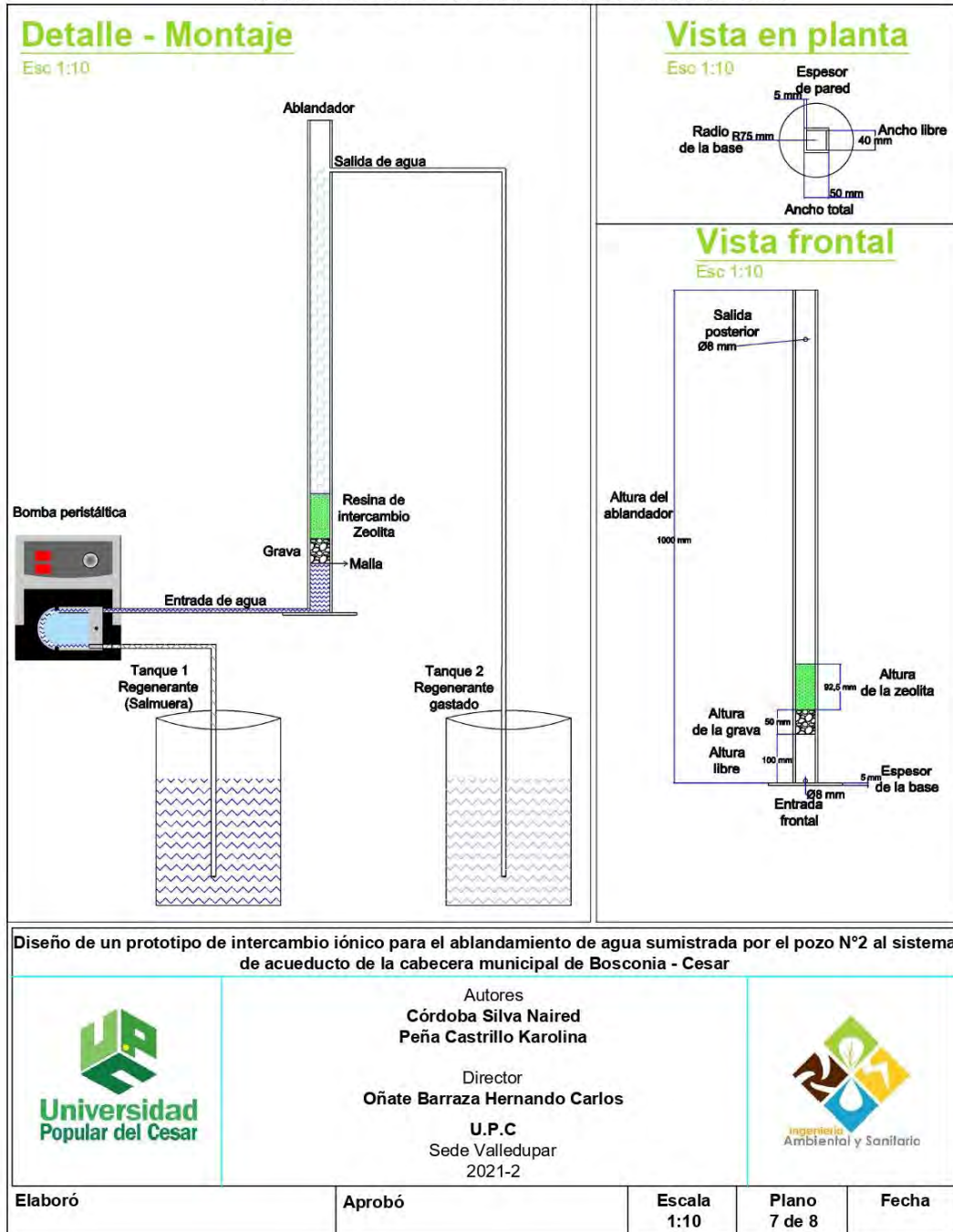


Fuente: Autoras, 2021

Figura 8

Esquema Proceso de Retrolavado del Agua Montaje N°4

## PROCESO DE RETROLAVADO 4



Fuente: Autoras, 2021

**Actividad 3.2. Eficiencia de remoción de Dureza**

**Descripción:** Se compararon los resultados obtenidos y se determinó la eficiencia del prototipo de ablandamiento de agua para los distintos tiempos de toma de muestra, empleando la formulación matemática:

$$\text{Eficiencia} = \left( \frac{C_o - C}{C_o \times 100} \right)$$

Dónde

$C_o$  : Concentración de Dureza afluente en mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$

$C$  : Concentración de Dureza efluente en mg  $\text{CaCO}_3/\text{l}$

Así mismo se realizarán gráficos comparativos entre los parámetros de análisis de operatividad del prototipo que se enlistaron en la tabla anterior.



## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este ítem se presentan los resultados del análisis de los datos obtenidos en nuestra experimentación. Para la obtención de los resultados, se realizó una caracterización de la muestra inicial y varias muestras para los diferentes montajes del prototipo ablandador, observando la eficiencia en la remoción de dureza.

### 6.1 Características fisicoquímicas de la muestra inicial.

En la tabla 10 se muestran los resultados de la caracterización de la muestra inicial realizada en la cabecera municipal de Bosconia – Cesar, generadas mediante un proceso de bombeo en el pozo N°2. Los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio indican que el agua no es apta para el consumo humano. Es necesario resaltar que la legislación colombiana vigente (Resolución 2115 del 2007) indica que el agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características fisicoquímicas.

Tabla 10  
Resultado de la caracterización de la muestra inicial

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA INICIAL		RESOLUCIÓN 2115 DE 2007
pH	7,36	6,5 – 9,0
CONDUCTIVIDAD	677,5 $\mu\text{s/cm}$	$\leq 1000 \mu\text{s/cm}$
SÓLIDOS (SDT)	653,33 Mg/l	* $\leq 500 \text{ Mg/l}$
TEMPERATURA	30°C	22 – 37 °C
ALCALINIDAD	300 Mg/L CaCO <sub>3</sub>	200 Mg/l CaCO <sub>3</sub>
DUREZA	360 Mg/L CaCO <sub>3</sub>	300 Mg/L CaCO <sub>3</sub>

Fuente: Autoras, 2021. \*tomado del decreto 475 de 1998 para sólidos totales

El agua subterránea tiene un grado bajo de contaminación debido a que estas son provenientes de la infiltración de las aguas lluvias y superficiales. Según la Tabla 10, los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra inicial, determinó que esta presenta

una alta concentración de Dureza total de 360 Mg/L CaCO<sub>3</sub> y Alcalinidad de 300 Mg/L CaCO<sub>3</sub>, presentando valores superiores a los otorgados por la resolución 2115 del 2007.

Para los parámetros de pH 7,36, Conductividad 677,5 microsiemens/cm y Temperatura 30°C, estos se encuentran dentro de los rangos aceptables de la resolución. Para el caso de los Sólidos Disueltos que presentaron una concentración de 653,33 Mg/l, la resolución 2115 no aporta valor comparativo, por lo que se consideró el decreto 0475 de 1998 para la concentración de sólidos totales.

Los resultados obtenidos en esta investigación son comparables con los encontrados por Vence L, Rivera M, Osorio Y & Castillo A., (2012), donde caracterizaron las aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego aplicando el software ArcView®, presentando que en la mayoría de los puntos se dan bajas concentraciones de Dureza total entre 15 mg/L-180 mg/L, la mayor conductividad se concentra en un punto hacia el sur de San Diego con rangos de 221  $\mu$ s/cm - 5270  $\mu$ s/cm y concentraciones de sólidos disueltos en los puntos muestreados de la zona norte de La Paz y gran parte de San Diego entre 120 mg/L - 2630 mg/L. Por su parte, Castro y Meza (2015), al caracterizar las aguas subterráneas del municipio de Morroa – Sucre, presentaron que el potencial de Hidrógeno se mantuvo en un rango de 7.81 a 8.23 unidades, mientras que la Dureza total en todos los puntos es apta para el consumo humano con valores de 32 a 134 Mg CaCO<sub>3</sub>/L, es decir, se encuentran por debajo de los valores límites planteados en la Resolución. Sin embargo se evidenciaron puntos en los que la alcalinidad sobre pasa los límites permisibles estando en un rango de 212 a 260 Mg CaCO<sub>3</sub>/L.

## **6.2 Implementación del Prototipo Ablandador**

Un ablandador de agua es un procedimiento por el cual, el agua dura pasa a través de un lecho de resina y como resultado a la salida se obtiene agua blanda. Para la implementación del prototipo ablandador se desarrollaron 4 montajes donde se consideraron distintas alturas del lecho de resina de intercambio iónico (Zeolita) de 37cm, 27.75cm, 18.5cm

y 9,25 cm respectivamente, sometiendo un caudal de agua de 0.0182 lps, con concentraciones de dureza total de 360 mg/L CaCO<sub>3</sub>, dureza de calcio de 160 Mg/L CaCO<sub>3</sub> y dureza de magnesio de 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>, donde los iones de Calcio y Magnesio son intercambiados en la Zeolita, para posteriormente valorar la concentración de dureza después del tratamiento a diferentes intervalos de tiempo.

*Imagen 11*

*Montaje N°1 Intercambiador Iónico*



*Fuente: Autoras, 2021*

Como producto de los 3 primeros montajes piloto para las alturas de lecho de resina de 37cm, 27.75cm, 18.5cm, se presentaron los siguientes resultados. Para el primer montaje se trabajó con un intervalo de tiempo de 24 horas, valorando la concentración de dureza total en el efluente cada hora hasta completar el tiempo total del intervalo, presentando valores para todas las mediciones de 0 mg/L CaCO<sub>3</sub>. Para el segundo y tercer montaje se optó por reducir el intervalo a 9 horas, caracterizando la concentración de los efluentes encontrando como resultado una dureza total final de 0 mg/L CaCO<sub>3</sub>, obteniendo que para estas alturas el lecho de Zeolita e intervalos de tiempo se alcanzaron eficiencias del proceso para la remoción de dureza total del 100%.

Para el montaje N°4 se trabajó con una altura de Zeolita de 9,25 cm y periodos de tiempo de 9 horas. Se caracterizó la concentración de los efluentes cada hora, presentando que para la tercera hora empezó a reducir la eficiencia de la Zeolita, alcanzando luego de cumplidas las 9 horas del montaje una eficiencia de 53% aproximadamente para una concentración de dureza total del efluente tratado de 170 mg/L CaCO<sub>3</sub>, clasificándose como un agua moderadamente dura según la OMS, como se refleja en la Tabla 11 y Gráfico 2.

Tabla 11

*Resultados de la operatividad del prototipo de ablandamiento con una altura de lecho de resina de 9,25 cm.*

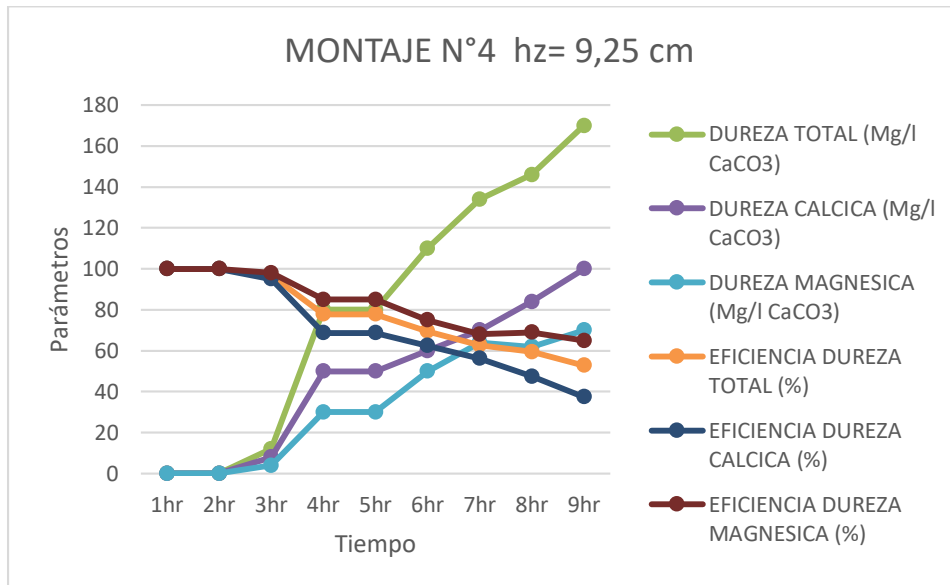
<b>MONTAJE N°4 hz= 9,25 cm</b>						
<b>TIEMPO</b>	<b>DUREZA TOTAL (Mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>DUREZA CALCICA (Mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>DUREZA MAGNESIC A (Mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>EFICIENC IA DUREZA TOTAL (%)</b>	<b>EFICIENCIA DUREZA CALCICA (%)</b>	<b>EFICIENCIA DUREZA MAGNESICA (%)</b>
<b>1hr</b>	0	0	0	100	100	100
<b>2hr</b>	0	0	0	100	100	100
<b>3hr</b>	12	8	4	96,67	95	98
<b>4hr</b>	80	50	30	77,78	68,75	85
<b>5hr</b>	80	50	30	77,78	68,75	85
<b>6hr</b>	110	60	50	69,44	62,5	75
<b>7hr</b>	134	70	64	62,78	56,25	68
<b>8hr</b>	146	84	62	59,44	47,5	69
<b>9hr</b>	170	100	70	52,78	37,5	65

Fuente: Autoras, 2021



Gráfico 2

Relación parámetros vs tiempo del Montaje N°4



Fuente: Autoras, 2021

Estos resultados son comparados con los obtenidos por Agamez (2014), que presentó un estudio de un intercambiador catiónico para tratar las aguas duras del corregimiento de Malagana, con concentraciones de dureza total en el pozo 1 y 2 de 335,80 Mg/L CaCO<sub>3</sub> y 309,50 Mg/L CaCO<sub>3</sub> respectivamente, donde la eficiencia de la resina AMBERLITE IR120 Na, alcanzó disminuir la concentración de dureza total en el efluente a 8,10 Mg/L CaCO<sub>3</sub>. En otra investigación enfocada a la prevención de la corrosión en la planta de lácteos Tunchi, el análisis de dureza total inicial fue 286.3 ppm, el agua tratada con resina regenerada presentó una dureza total final de 98.2 ppm, siendo la eficiencia de ablandamiento de la resina de 65.7%. Optaron por utilizar compuestos químicos para llevar la dureza total final a 0. (Colcha A., 2013). Por su parte Vargas (2011) dio a conocer los valores obtenidos con un ablandador catiónico de zeolita para la remoción de dureza del agua, la calidad del agua proveniente de un pozo tubular no es apta para el consumo humano, ya que el valor de la dureza total es de 439,56 mg/L CaCO<sub>3</sub>; después de pasar por el filtro de zeolita esta logró reducir los niveles de dureza evaluado con una velocidad de flujo de 18,92 l/min. Condori A, Hereida M y Mamani

L (2017), realizaron una investigación con el objetivo de optimizar un tratamiento de agua para un sistema ablandador con una resina LEWATIT S 1567 de origen alemán, el cual tiene un tiempo de trabajo de 3 horas por día, obtuvieron una dureza de 478,11 mg/L a 2,48 mg/L representando un rendimiento del 99,28%. En otro proyecto, con el fin de ablandar el agua de las cisternas de la facultad de ciencias – ESPOCH, los investigadores realizaron una construcción de un sistema de ablandamiento utilizando una resina de tipo catiónico, obteniendo como resultados de la dureza inicial de 586 mg/L y después del tratamiento 280 mg/L. (Martínez, J & Idrobo, M., 2012).

### **6.3 Proyección del prototipo ablandador al pozo N°2 que suministra el sistema de acueducto de la cabecera municipal de Bosconia – Cesar.**

Para la proyección del prototipo ablandador se consideró el montaje que presentó mayor eficiencia en relación a la altura de lecho de resina y el tiempo de eficiencia de la Zeolita. Siendo el montaje N°1 el que se consideró que presentó el mejor comportamiento con una altura de lecho de resina de 37 cm y un tiempo de eficiencia de la Zeolita mayor a 24 horas, permitiendo establecer un periodo de regeneración de la Zeolita cada 48 horas, ya que el tiempo de operación del pozo N°2 es de 14 horas.

A continuación se presenta en la Tabla 12 los resultados de la proyección realizada.

*Tabla 12  
Proyección para el dimensionamiento del ablandador para el pozo N°2*

<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO MONTAJE N°1 DEL PROTOTIPO</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO PARA EL POZO N°2</b>
Caudal	0.0182 lps	55 lps
Altura total	1 m	1,9 m
Altura de Zeolita	0,37m	0,70 m



Altura de grava	0,05 m	0,10 m
Borde libre	0,10 m	0,20 m
Base	0, 05 m	2 m
Ancho	0,05 m	2 m
Área	0,25 cm <sup>2</sup>	23,2 m <sup>2</sup>
Volumen de Zeolita	0,000925 m <sup>3</sup>	2,9 m <sup>3</sup>

Fuente: Autoras, 2021

- **Altura de zeolita**

$$231,25\text{cm}^3 \times \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})^3} = 0,000231\text{m}^3$$

$$\frac{0,0182 \text{ l/s}}{0,000231 \text{ cm}^3} = \frac{55 \text{ l/s}}{x}$$

$$x = 55\text{l/s} * \frac{0,000231\text{m}^3}{0,0182 \text{ l/s}}$$

$$x = 0,7 \text{ m}^3$$

- **Volumen de zeolita**

$$693,75\text{cm}^3 \times \frac{1\text{m}^3}{(100\text{cm})^3} = 0,000694\text{m}^3$$

$$\frac{0,0182 \text{ l/s}}{0,000694 \text{ cm}^3} = \frac{55 \text{ l/s}}{x}$$

$$x = 55\text{l/s} * \frac{0,000694\text{m}^3}{0,0182 \text{ l/s}}$$

$$x = 2,9 \text{ m}^3$$

- **Altura del ablandador**

$$\frac{37\text{cm}}{100 \text{ cm}} = \frac{0,70\text{m}}{x}$$



$$x = \frac{0,70m \times 100cm}{37cm}$$

$$x = 0,19 \text{ m}$$

- **Borde libre**

$$\frac{37cm}{10cm} = \frac{0,70m}{x}$$

$$x = \frac{0,70m \times 10cm}{37cm}$$

$$x = 0,2 \text{ m}$$

- **Altura grava**

$$\frac{37cm}{5cm} \times \frac{0,70m}{x}$$

$$x = \frac{0,70m \times 5cm}{37cm}$$

$$x = 0,10 \text{ m}$$

#### **6.4 Costo- eficiencia para ablandador del pozo**

Los costos manifestados en el presente ítem, permiten aportarle a los entes gubernamentales (Alcaldía del municipio de Bosconia y la empresa de servicios públicos EMPOBOSCONIA E.S.P.) una proyección de los costos de operación anual del proceso ablandador (ver Tabla 13). Se recomienda además para la implementación del proceso ablandador que este sea construido en concreto reforzado, tenga un área operativa de  $23.2m^2$ , se utilice un intercambiador iónico de resina de Zeolita, y se utilicen conexiones hidráulicas en tubería PVC de 6 pulgadas de diámetro y una malla como fondo de soporte para la Zeolita y la grava.

Tabla 13

Costos y Eficiencia para ablandador del pozo

DESCRIPCIÓN	PRODUCTO
<b>COSTOS PROYECTADOS DE INVERSIÓN ANUAL</b>	Zeolita como intercambiador iónico o compuesto ablandador: \$24'847.200 (montaje N°1) vida útil 5 años Sal (NaCl) como compuesto regenerante: \$69'393.600 (valor anual para montaje N°1) (IVA incluido)
<b>MONTO TOTAL DE INVERSIÓN (CON IVA)</b>	\$94'240.800 (montaje N°1)

El desarrollo del presente proyecto, busca reducir o eliminar las Sales de Calcio y Magnesio disueltas en el agua del pozo N°2 ubicado en la cabecera municipal de Bosconia mediante un proceso de intercambio iónico, dicho proyecto permitirá prever las corrosiones en las tuberías y mejorar las condiciones de vida de las personas que habitan en este municipio, ya que una buena calidad de agua es fundamental para prevenir y reducir la propagación de enfermedades debido a la falta de saneamiento.



## CONCLUSIÓN

Un ablandador de agua es un proceso de intercambiado iónico donde los iones de Calcio y Magnesio son sustituidos por iones de sodio.

En el desarrollo de la presente investigación se logró disminuir la dureza total del agua del pozo N°2 de la cabecera municipal de Bosconia – Cesar, utilizando como intercambio de resina iónica Zeolita. A través de la caracterización del efluente del prototipo logramos analizar que la Zeolita tuvo una eficiencia al 100% en los montajes N°1, N°2 y N°3, partiendo que la concentración inicial tenía una dureza de 360 mg/L CaCO<sub>3</sub>.

El montaje N°4 después de las tercera hora empezó a presentar resultados en la zeolita, lo se pudo apreciar que con menor lecho de altura la resina pierde porcentaje de remoción de los iones de calcio y magnesio.

Se concluyó que el montaje N°1 es el más recomendado ya que se evidenció que el tiempo de eficiencia de la Zeolita superó las 24 horas lo que permite extender el tiempo de regeneración de esta.

Los beneficios del montaje del prototipo ablandador, residen en la disminución de la corrosión de las tuberías, las enfermedades renales y gastrointestinales y en la economía de detergentes y jabones.



## RECOMENDACIONES

Una vez concluido nuestro proyecto, se considera importante lo siguiente:

- Realizar la construcción del ablandador antes de llegar al tanque de almacenamiento, para que en este pueda realizarse el proceso de desinfección y la distribución.
- Para controlar el proceso de retrolavado tener en consideración la altura de borde libre para al momento de hacer la regeneración de la capacidad iónica de la Zeolita.
- Hacer retrolavado de la resina cada 48 horas, antes de empezar a funcionar el pozo, para que la Zeolita no pierda su eficiencia.
- Se recomienda hacer investigación sobre las posibles alternativas de aprovechamiento de la solución de salmuera efluente del proceso de regeneración de la Zeolita ya que está cargada con iones de calcio y magnesio.



## REFERENCIAS

Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, 11(2), 322-343. Recuperado en 26 de octubre de 2021, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2073-60612017000200022&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612017000200022&lng=es&tlng=es).

APHA; AWWA; WPCF. (1992). *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Madrid: Diaz de Santos S.A.

Castillo Sarabia, A., Osorio Bayter, Y., Rivera González, M. y Vence Márquez, L. (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de las aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. Volumen 3.

Baldeón León, C. E. (2016). Implementación de un sistema de tratamiento de agua, para la reducción de costos de mantenimiento correctivo en la empresa Industria Fibraforte. S.A.

CARBOTECNIA. (06 de marzo de 2020). *¿Qué es la suavización de agua?* Obtenido de CARBOTECNIA: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/suavizadores-y-desmineralizadores/suavizacion-de-agua/>

CARBOTECNIA. (10 de agosto de 2020). *¿Qué son los Aniones y Cationes?* Obtenido de CARBOTECNIA: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-son-los-aniones-y-cationes/>

Carrillo Trujillo, M. P. (2020). *DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA EN LOS PROCESOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS VOLUMÉTRICOS EN COLMETRIK SAS*. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América.

Casto Loret, S. & Meza Sarmiento, K. (2015). Evaluación de la calidad del agua del Acuífero de Morroa-Sucre, mediante Análisis fisicoquímico y Microbiológico: plan de seguimiento y Monitoreo ambiental.

Cervantes Anangón, L. A. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ABLANDADOR DE AGUA MEDIANTE EL EMPLEO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA ABASTECER LOS EQUIPOS TÉRMICOS DEL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana: Sede Quito.

Chavez Barajas, M. A. (1992). *Selección y Diseño de un Equipo de Intercambio Iónico a Escala Banca*. Ciudad de México D.F.: Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas.

Colcha Chambal, A. L. (2013). "Diseño de un sistema para el tratamiento del agua de alimentación a la caldera para prevenir la corrosión en la planta de lácteos de Tunshi.

Condori Mamani, A., Hereida Quispe, M. & Mamani Ramni, L. C. (2017). Instalación y Evaluación de un Ablandador y un Filtro de Partículas para el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química.

CORPOCESAR. (2016). *Resolución 0864 "Por medio de la cual se efectúa renovación de las concesiones de aguas en beneficio de los acueductos municipales de González, Bosconia, Chiriguaná, Astrea y el Acueducto del Barrio San Miguel del Municipio de Río de Oro Cesar"*. Valledupar: SINA. Obtenido de <https://www.corpocesar.gov.co/files/resolucion-0864-24-08-2016-DG.pdf>

DANE. (2015). *Ficha de Caracterización Municipio de Bosconia. Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP)*. Bogotá D.C.: DAFP. Obtenido de [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/admon/files/empresas/ZW1wcmVzYV83Ng==/archivos/1450101452\\_5e8c73974d565f184dd2ef60e097ec6f.pdf](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/admon/files/empresas/ZW1wcmVzYV83Ng==/archivos/1450101452_5e8c73974d565f184dd2ef60e097ec6f.pdf)



Duarte V., E., & Vizcaíno S., C. (2015). *Estudio comparativo entre la implementación de la zeolita y la resina de intercambio iónico en la remoción de hierro y dureza en un agua sintética que simula el agua para uso industrial*. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle.

EcuRed. (s.f.). *Definición de Dureza*. Obtenido de Educación en la Red EcuRed:  
<https://www.ecured.cu/Dureza>

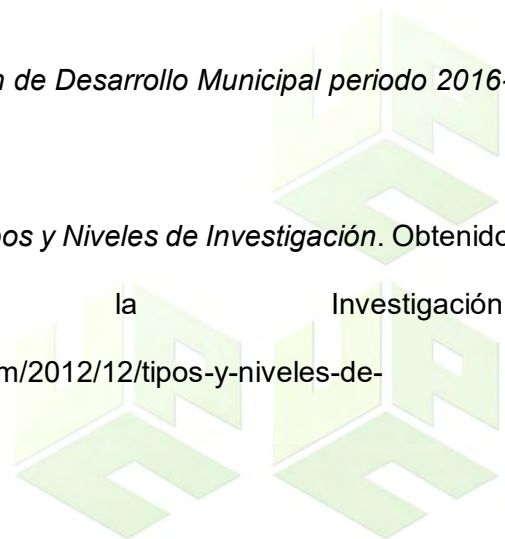
Facundo Pérez, C., Echeverri Sánchez, A. & Urrutia Cobo, N. (2016). Aproximación de la recarga de agua subterránea en el norte del Departamento del Cauca, Colombia. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), 51-57. Recuperado en 26 de octubre de 2021, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542016000200008&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000200008&lng=es&tlng=es).

Figuroa Lara, A. & González Block, A. (2016). Costo-efectividad de una alternativa para la prestación de servicios de atención primaria en salud para los beneficiarios del Seguro Popular de México. *Salud Pública de México*, 58(5), 569-576.  
<https://doi.org/10.21149/spm.v58i5.8247>

François de Dardel. (11 de mayo de 2019). *Un ciclo completo de una columna de intercambio iónico en tratamiento de agua*. Obtenido de François de Dardel:  
[http://dardel.info/IX/processes/cycle\\_ES.html](http://dardel.info/IX/processes/cycle_ES.html)

Gobierno Municipal de Bosconia. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal periodo 2016-2019*. Bosconia: Alcaldía de Bosconia.

Hernández, M. (12 de Diciembre de 2012). *Tipos y Niveles de Investigación*. Obtenido de Metodología de la Investigación:  
<http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.com/2012/12/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>





IDEAM. (2005). *Programa de Fisicoquímica Ambiental. PSO DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD POR POTENCIOMETRÍA*. Bogotá D.C.: IDEAM.

INS. (2011). *Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio*. Bogotá D.C.: SUPERSERVICIOS. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

INS. (2015). *Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable - SIVICAP*. Obtenido de Características Calidad del Agua - SIVICAP: <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/Caracteristicas-Calidad-del-Agua-SIVICAP/jjzc-8w82/data>

INS. (2019). *Boletín de Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Bogotá D.C.: MINSALUD.

LENNTech. (2020). *Glosario del Agua*. Obtenido de LennTech Water Treatment Solutions: <https://www.lenntech.es/glosario-agua.htm>

MedinePlus. (04 de agosto de 2020). *Iones*. Obtenido de MedinePlus: Información de Medicina para usted: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002385.htm>

Martinez Bayas, J. F & Marcelo Gonzalo I. J. (2012). Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la facultad de ciencias - ESPOCH.

MINVIVIENDA. (2013). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título C*. Bogotá D.C.: MINVIVIENDA.



Moreno Figueroa, M. A & Ávila Bareño, I. L. (2016). Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio De Anapoima.

Pallav, S. (2013). Potential health impacts of hard water. *International Journal of Preventive Medicine*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24049611/>

Químicas.net. (08 de junio de 2015). *El Grupo Hidroxilo*. Obtenido de Químicas.net: <https://www.quimicas.net/2015/05/el-grupo-hidroxilo.html>

Rodríguez Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Pensamiento Actual*, 125-134.

Sánchez Vera, R. (2019). Diseño de un sistema de control para el proceso de ablandamiento de agua mediante resinas de intercambio iónico. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Industriales (UPM).

Sánchez Ruiz, C. (2015). Intercambio Iónico. Serie: Tratamientos Terciarios FT-TER-006. En W. a. (WEEG), *Fichas Técnicas de Etapas de Procesos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Textil* (págs. 1-28). Barcelona: INDITEX.

Secretaría de Salud Departamental. (2020). *Certificación Sanitaria Municipal o Distrital: Bosconia*. Valledupar: INS.

SUPERSERVICIOS. (2017). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES. EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE BOSCONIA E.S.P. – EMPOBOSCONIA E.S.P.* Bogotá D.C.: SUPERSERVICIOS.

Rada Rosenstand, W. J. & Ruiz Orjuela, L. (2015). Estudio de factibilidad, construcción y puesta en marcha de pozos profundos, para el municipio de la Jagua Del Pilar - La Baja Guajira.

TAERSA. (2016). *Ablandamiento*. Obtenido de Tratamiento de Aguas, Efluentes y Reuso S.A.: <https://www.taersa.com/tecnologias-procesos/tratamiento-y-potabilizacion-de-agua/intercambio-ionico/ablandamiento/>





## ANEXOS

### Anexo 1

*Solicitud de ingreso al pozo N°2, Bosconia - Cesar*



Bosconia, 06 de septiembre de 2021

Señor:

**DOIVER ROJANO, EMPOBOSCONIA E.S.P**

Cordial saludo;

Por medio de la presente permitimos solicitar su aval y/o autorización de ingreso a las instalaciones del pozo subterráneo N°2 debido a que realizaremos una captación de agua el día 08 de septiembre del 2021 a las 8: 00 horas para el desarrollo del proyecto titulado: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL ABLANDAMIENTO DE AGUA SUMINISTRADA POR EL POZO N°2 AL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA – CESAR**, presentado por las estudiantes **NAIRED CÓRDOBA SILVA** con cedula de ciudadanía **1.003.115.770** y **KAROLINA PEÑA CASTRILLO** con cedula de ciudadanía **1.192.762.999** bajo la dirección del ingeniero **HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA** con cedula de ciudadanía **72.224.323**.

No siendo otro el motivo;

Atentamente:

*Naired Córdoba S.*

**ESTUDIANTE N° 1**

NAIRED CÓRDOBA SILVA

CC. 1.003.115.770

Correo. nairedcordoba@unicesar.edu.co

Teléfono. 3235258625

*Karolina Peña Castrillo*

**ESTUDIANTE N° 2**

KAROLINA PEÑA CASTRILLO

CC. 1.192.762.999

Correo. kpenac@unicesar.edu.co

Teléfono. 3148490191



**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Anexo 2

Solicitud de ingreso a los laboratorios de Ingeniería Ambiental y Sanitaria a las 6:00 Am



**Universidad  
Popular del Cesar**

Valledupar, 23 de septiembre de 2021

Señor:

**HUGO NELSON MUEGUES QUINTERO**

*Rubi*  
*J. P. Muegues Q.*  
*29-24-2021*

Cordial saludo;

Por medio de la presente permitimos solicitar su aval y/o autorización de ingreso a las instalaciones de los Laboratorios Ing. Ambiental y Sanitaria debido a que realizaremos muestras continuas desde el día lunes 27 de Septiembre del 2021 a las horas las 6:00, 10:10, 13:00, 16:30, 20:00 hasta el día martes 28 de Septiembre del 2021 a las 7:00 para el desarrollo del proyecto titulado: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL ABLANDAMIENTO DE AGUA SUMINISTRADA POR EL POZO N°2 AL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA - CESAR**, presentado por las estudiantes **NAIRED CÓRDOBA SILVA** con cedula de ciudadanía **1.003.115.770** y **KAROLINA PEÑA CASTRILLO** con cedula de ciudadanía **1.192.762.999** bajo la dirección del ingeniero **HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA** con cedula de ciudadanía **72.224.323**.

No siendo otro el motivo;

Atentamente,

DIRECTOR DEL PROYECTO

Atentamente;

Naired Córdoba S.

ESTUDIANTE N° 1

NAIRED CÓRDOBA SILVA

CC. 1.003.115.770

Correo. [nairedcordoba@unicesar.edu.co](mailto:nairedcordoba@unicesar.edu.co)

Teléfono. 3235258625

Karolina Peña Castrillo

ESTUDIANTE N° 2

KAROLINA PEÑA CASTRILLO

CC. 1.192.762.999

Correo. [kpenac@unicesar.edu.co](mailto:kpenac@unicesar.edu.co)

Teléfono. 3148490191

[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)

Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129

Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380

Valledupar Cesar Colombia

Anexo 3

Ficha técnica de Zeolita Verlek



Documento:  
**VENTA DE INSUMOS Y EQUIPOS**  
- Gestión Comercial -

Versión: FGC-02 v1.0  
Fecha: 10-01-2018  
Consecutivo:

**ZEOLITA PARA TRATAMIENTO DE AGUA**



**DESCRIPCION**

Las zeolitas se usan en la remoción de gases perjudiciales en filtros de acuarios y estanques. Como sustancia de filtración, puede reducir la deposición de calcio en el agua, con lo cual se reducen los residuos en sistemas de irrigación.

La zeolita natural es el mejor sistema de filtración natural que existe para tratamiento de agua. Ofrece un efecto superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos mantenimiento. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras. Las zeolitas están cargadas negativamente de forma natural, por lo que pueden adsorber cationes, como metales pesados y amoníaco. También pueden absorber algunos contaminantes orgánicos y olores no deseados.

**PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LAS  
ZEOLITAS ANÁLISIS QUÍMICO**

- $(K_2, Ca_2, Na_2)O - Al_2O_3 - 10SiO_2 - 8H_2O$ ; Aluminosilicato de calcio, sodio y potasio
- Silicato 64.7 CaO 3.3 MnO 0.1
- $Al_2O_3$  12.6 MgO 1.0  $TiO_2$  0.2
- $K_2O$  3.3  $Fe_2O_3$  1.8  $Na_2O$  0.9

Composición química de elementos seleccionados por fluorescencia de rayos-x (en ppm, a menos que se indique % peso)

- K 2.0% Cu 30 Zr 190
- Ca 2.7% Zn 70 Y 30
- Fe 0.9% Rb 70 Nb 20
- Sr 1720 Ce 90 Zeocol
- Nd 15 Ba 1030
- La 40 Pb 40





**Capacidad de Intercambio Catiónico:**

1.0 - 2.20 meq/g (este número puede variar dado que los valores de CEC son relativos al catión específico intercambiado).

**Mayores Cationes Intercambiables:**

Rb, Li, K, Cs, NH<sub>4</sub>, Na, Ag, Cd, Pb, Zn, Ba, Sr, Cu, Hg, Mg, Fe, Co, Al, Cr. (La selectividad de estos cationes es función del tamaño molecular hidratado y las concentraciones relativas)

**Gases Absorbidos:**

CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HCHO, Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, He, H<sub>2</sub>, Kr, CH<sub>2</sub>OH, Freón, Formaldehído y mercaptanos.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

- Estabilidad Ácida 0-7 (pH)
- Estabilidad Alcalina 7-13 (pH)
- Densidad de Mena 1390 kg/m<sup>3</sup>
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC) 1.0 - 2.2
- Color Blanco (Reflectancia Óptica 85)
- Resistencia a la Trituración 176 kg/m<sup>3</sup>
- Dureza (Mohs) 3.5 - 4.0
- Índice de Abrasión 24
- Radio Molecular 5:1 (Si/Al)
- pH (Natural) 8.0 (Aprox.)
- Tamaño de Poro (Diámetro) 4.0 Å<sup>0</sup>
- Volumen de Poros 52% (Max)
- Resistividad 9000 ohms/cm
- Gravedad Específica 2.2 - 2.4
- Área Superficial 40 m<sup>2</sup>/g

Estabilidad Térmica 650°C Otras No soluble, fácilmente mezclable

Propiedades Ambientales: Las zeolitas son sustancias naturales, inertes y no tóxicas, clasificadas en los Estados Unidos como GRAS (Generally Regarded as Safe) en todas sus aplicaciones y están exentas de regulaciones cuando se usan de acuerdo con buenas prácticas agrícolas y constituyen menos del 2% en productos de alimentación animal. No se han detectado silicatos fibrosos y la sílice cristalina está presente en cantidades de menos de 0.01%.



*Imagen 12*

*Pozo N°2*



*Imagen 13*

*Entrada al pozo  
N°2*



*Imagen 14*

*Preparación de solución*



*Imagen 15*

*Titulación de muestras*





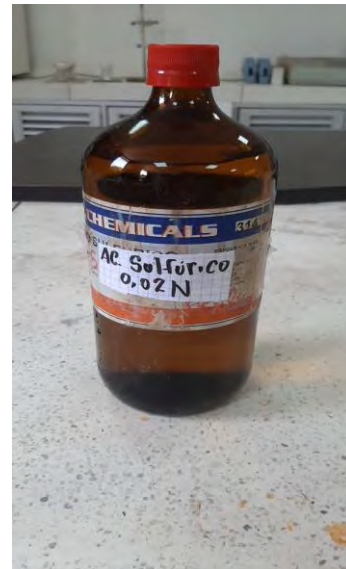
*Imagen 16*

*Muestra con indicador  
naranja de metilo*



*Imagen 17*

*Ácido sulfúrico preparado al  
0,02 N*



*Imagen 18*

*Muestra con indicador  
fenolftaleína*



*Imagen 19*

*Agregando fenolftaleína a la  
muestra*



*Imagen 20*  
*Horno a 105C°*



*Imagen 21*  
*Evaporación de la muestra*



*Imagen 23*  
*Captación del efluente*



*Imagen 22*  
*Montaje N°1 proceso de  
ablandamiento*



*Imagen 24*

*Comparación de muestras de dureza total con agua cruda y agua blanda*



*Imagen 25*

*Comparación de muestras de dureza cálcica con agua cruda y agua blanda*



*Imagen 27*

*Determinación de dureza. Muestra inicial y muestra titulada*



*Imagen 26*

*Montaje N°2 proceso de ablandamiento*





*Imagen 29*

*Montaje N°3 proceso de  
ablandamiento*



*Imagen 28*

*Montaje N°4 proceso de  
ablandamiento*



*Imagen 30*

*Proceso de regeneración*



*Imagen 31*

*Limpieza de la Zeolita*





**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Ingeniería  
Ambiental y Sanitaria

