



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE
PROCESOS DE FILTRACIÓN, ABLANDAMIENTO Y
DESINFECCIÓN PARA ZONAS RURALES DE MANABÍ,
ECUADOR**

**AUTORAS:
MARÍA GABRIELA MENDOZA CEVALLOS
CINTHIA ADRIANA SALTOS INTRIAGO**

**TUTOR:
Q.F. PATRICIO JAVIER NOLES AGUILAR, Mg.**

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

María Gabriela Mendoza Cevallos y Cinthia Adriana Saltos Intriago, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

MARÍA G. MENDOZA CEVALLOS

CINTHIA A. SALTOS INTRIAGO

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Patricio Javier Noles Aguilar certifica haber tutelado el informe de trabajo de titulación **SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE PROCESOS DE FILTRACIÓN, ABLANDAMIENTO Y DESINFECCIÓN PARA ZONAS RURALES DE MANABÍ, ECUADOR**, que ha sido desarrollado por **María Gabriela Mendoza Cevallos y Cinthia Adriana Saltos Intriago**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Q.F. PATRICIO J. NOLES AGUILAR, Mg.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** el trabajo de titulación **SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE PROCESOS DE FILTRACIÓN, ABLANDAMIENTO Y DESINFECCIÓN PARA ZONAS RURALES DE MANABÍ, ECUADOR**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **María Gabriela Mendoza Cevallos y Cinthia Adriana Saltos Intriago**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Jorge B. Cevallos Bravo, Mg.

MIEMBRO

Ing. Carlos A. Villafuerte Vélez, Mg.

MIEMBRO

Ing. Carlos R. Delgado Villafuerte, Mg.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida y la oportunidad de llegar hasta este momento tan importante para nuestra formación profesional.

A nuestros padres, hermanos y demás familiares por su amor incondicional, apoyo y sacrificio a lo largo de este camino.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López por brindarnos la oportunidad de crecer como seres humanos y profesionales a través de una educación superior de calidad en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales para contribuir al desarrollo de nuestra provincia y de nuestro país.

A nuestro tutor Q.F. Patricio Noles Aguilar Mg. por brindarnos su asesoramiento durante el desarrollo de trabajo de titulación, al Ing. Fabián Peñarrieta Chávez, Lcdo. Teddy Santana, Sr. José Saltos Egüez e Ing. Miguel Saltos Intriago por compartirnos sus experiencias y conocimientos y al personal de los Laboratorios de Química y Microbiología Ambiental de la ESPAM MFL por la predisposición en sus instalaciones para el desarrollo de nuestra investigación.

MARÍA G. MENDOZA CEVALLOS

CINTHIA A. SALTOS INTRIAGO

DEDICATORIA

A mis padres David y Angelita, por inculcarme desde niña la educación tanto estudiantil como conductual, por desear lo mejor para mí, acompañarme cuando más lo he necesitado y por darme siempre su amor incondicional.

A mi Ángel David, por darle color a mi vida, por ser siempre ese ser que me saca sonrisas, por alegrarse de mis triunfos y por verme como un ejemplo a seguir.

A mis abuelitos Gabriel, Angelita, Lucho y Celeste por siempre incentivarne a superarme, por cuidarme y consentirme desde muy pequeña como mis segundos padres, por estar predispuestos siempre a ayudarme en lo que puedan, por ser los mejores abuelos de este mundo y por amarme tanto como yo los amo.

A Adry, Dayanara, Anahí, Fernanda, Susy y Evelyn por ser amigas y compañeras que han estado acompañándome y apoyándome incondicionalmente en esta y otras etapas de mi vida.

Y finalmente, a mis tíos, tías, primos, primas y demás familiares que siempre han estado pendientes de mí... ¡Este logro, también es suyo!

MARÍA G. MENDOZA CEVALLOS

DEDICATORIA

A mis padres José y Adriana, quienes, con su amor incondicional, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir una meta más, por inculcarme siempre buenos valores y valentía, de no temer a las dificultades y desear lo mejor para mí cada día.

A mis hermanos Nadia, Miguel y Marcelo, por hacer que aparezca el sol en mis días grises, por ser mi felicidad más grande, por hacer siempre todo lo posible para ayudarme, por demostrarme que nunca estaré sola ya que ellos estarán a mi lado, por alegrarse de mis triunfos como yo me alegro de los de ellos.

A Gaby, Dayanara y Fernanda porque más que compañeras de clases... fueron y son amigas incondicionales.

A mi mejor amiga Nathaly por apoyarme y escucharme siempre que lo necesité, por darme el regalo más bello, ser madrina de su hermosa Victoria.

Finalmente, a las personas y familiares que estuvieron pendientes durante estos 5 años de estudios.

CINTHIA A. SALTOS INTRIAGO

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS	x
RESUMEN	xii
PALABRAS CLAVE	xii
ABSTRACT	xiii
KEY WORDS	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Impureza del agua.....	6
2.2. Factores de la calidad del agua.....	7
2.2.1. Parámetros físicos	7
2.2.1.1. Temperatura	7

2.2.1.2.	Turbidez.....	8
2.2.1.3.	Sólidos disueltos totales	9
2.2.1.4.	Sólidos suspendidos	9
2.2.1.5.	Sólidos totales	10
2.2.2.	Parámetros químicos	10
2.2.2.1.	Potencial de hidrógeno	10
2.2.2.2.	Alcalinidad	11
2.2.2.3.	Cloruros	11
2.2.2.4.	Dureza total	11
a)	Dureza cálcica	12
b)	Dureza magnésica.....	12
2.2.3.	Parámetros biológicos.....	12
2.2.3.1.	Coliformes totales	12
2.3.	Sistema de abastecimiento de agua.....	13
2.4.	Tratamiento de agua	14
2.4.1.	Filtración	14
2.4.1.1.	Filtración con grava gruesa.....	14
2.4.1.2.	Filtración con zeolita	14
2.4.1.3.	Filtración con carbón activado	15
2.4.2.	Ablandamiento	15
2.4.2.1.	Intercambio iónico.....	15
2.4.3.	Desinfección	16
2.4.3.1.	Cloración	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		17
3.1.	Ubicación	17
3.2.	Duración del trabajo	17
3.3.	Métodos, técnicas	17

3.3.1. Métodos	17
3.3.2. Técnicas	17
3.4. Variables en estudio	18
3.4.1. Variable independiente	18
3.4.2. Variable dependiente	18
3.5. Procedimientos	18
3.5.1. Fase 1. Diagnóstico mediante análisis físico-químico y microbiológico del agua de pozo y río en la zona rural del cantón bolívar.	18
3.5.2. Fase 2. Evaluación de la eficiencia del sistema de filtración, ablandamiento y desinfección utilizando los dos tipos de aguas.	20
3.5.3. Fase 3. Estimación del costo del sistema de abastecimiento.	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Diagnóstico mediante análisis físico-químico y microbiológico del agua de pozo somero y río en la zona rural del cantón bolívar.	27
4.2. Evaluación de la eficiencia del sistema de filtración, ablandamiento y desinfección utilizando los dos tipos de aguas.	35
4.3. Estimación del costo del sistema de abastecimiento.	47
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS.....	59

CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

CUADROS

3.1. Métodos para análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos.....	19
3.2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran tratamiento convencional.....	20

3. 3. Requisitos con los que debe cumplir el agua potable.	25
4. 1. Coordenadas de puntos de muestreo.	27
4. 2. Análisis físico-químico y microbiológico inicial.	27
4. 3. Análisis físico-químicos y microbiológicos matutinos y nocturnos.	28
4. 4. Análisis físico-químico y microbiológico en 5 puntos de muestreo del campus politécnico.	29
4. 5. Análisis físico-químicos y microbiológicos durante la transición de la época lluviosa a la seca.	30
4. 6. Análisis físico-químicos y microbiológicos de todos los puntos muestreados comparados con los LMP del Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2015).	34
4. 7. Diseño del sistema de abastecimiento de agua.	35
4. 8. Desgaste de resina.	40
4. 9. Caudal y tiempo de retención hidráulica del sistema de abastecimiento.	42
4. 10. Tratamiento del agua de pozo somero.	43
4. 11. Tratamiento de agua de río.	44
4. 12. Eficiencia del sistema de abastecimiento de agua.	46
4. 13. Costo de producción.	47
4. 14. Costo de inversión.	48

FIGURAS

Figura 3. 1. Imagen aérea del bosque de la ESPAM MFL para la extracción de agua de pozo somero y río Carrizal que atraviesa el puente de la comunidad “El Limón”.	17
Figura 4. 1. Diseño del sistema de abastecimiento de agua propuesto por (Mendoza y Saltos, 2018).	36

GRÁFICOS

Gráfico 4. 1. Tiempo de desgaste de resina.	41
Gráfico 4. 2. Eficiencia de remoción de contaminantes del sistema de abastecimiento de agua.	46

RESUMEN

Desde inicios de la civilización humana, el hombre se ha establecido cerca de fuentes de agua por la disponibilidad de cierta cantidad para su bebida y uso doméstico, sin embargo, este hecho no implica que la fuente tenga suficiente capacidad ni sea de buena calidad. Los abastecimientos de aguas seguras, accesibles y con tratamientos adecuados, son necesidades básicas y componentes esenciales de la atención primaria de salud, puesto que reducen enfermedades que afectan principalmente a las poblaciones rurales. Considerando aquello, se diseñó y construyó un sistema de abastecimiento de agua con procesos de filtración, ablandamiento y desinfección para zonas rurales, analizando los puntos de captación de agua en la ESPAM MFL del sitio “El Limón”, siendo comparados con la Tabla 2 de Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas de consumo humano y uso doméstico que requirieran de tratamiento convencional del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA), en el que la turbidez de agua de pozo, dureza y coliformes totales sobrepasaron los LMP, asimismo, la turbidez y coliformes totales en agua de río.

Finalmente se compararon las aguas tratadas por el sistema con los requisitos de agua potable de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 obteniéndose como resultado una eficiencia de remoción de agua de pozo de 91,45% y en agua de río de 76,47%, con inversión de \$809,71 USD y mantenimiento de \$100 USD anuales durante 5 años, siendo eficaz y objeto de implementación en otras zonas rurales de Manabí para satisfacer la demanda actual.

PALABRAS CLAVE

Sistema de abastecimiento, zona rural, agua de pozo, agua de río, filtración, ablandamiento, desinfección.

ABSTRACT

Since the beginning of human civilization, man has established himself near water sources due to the availability of a certain quantity to drink and domestic use, however, these facts do not imply that the source has sufficient capacity or is of good quality. Safe, accessible and adequately treated water supplies are basic needs and essential components of primary health care, since they reduce diseases that mainly affect rural populations.

Considering that, a water supply system was designed and built with filtration, softening and disinfection processes for rural areas, analyzing the water collection points at ESPAM MFL "El Limón" site, being compared with Table 2 of Maximum Permissible Limits (LMP) waters for human consumption and use that required conventional treatment of Book VI of the Unified Text of Environmental Secondary Legislation (TULSMA), in which the turbidity of well water, hardness and total coliforms exceeded the LMP, likewise, turbidity and total coliforms in river water.

Finally, the water treated by the system was compared with the potable water requirements of the INEN 1108 Ecuadorian Technical Standard, which resulted in a 91.45% well water removal efficiency and 76.47% in river water, investment of \$ 809.71 USD and maintenance of \$100 USD per year for 5 years, being effective and object of implementation in other Manabí rural areas to meet the current demand.

KEY WORDS

System of supply, rural zone, water of well, water of river, filtration, softening, disinfection.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso indispensable para la vida en el planeta a través del cual el hombre ha buscado diversas fuentes de abastecimiento para garantizar su supervivencia (Serrano Ceballos, Granados Torres y Avendaño González, 2017); sin embargo, (Sánchez, Álvarez, Pacheco, Carrillo y González, 2016) manifiesta que el crecimiento demográfico y económico ha traído consigo una mayor demanda de agua deteriorando su calidad debido al uso irracional que se le da. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), 844 millones de personas carecen de agua potable, dentro de los cuales, 263 millones de personas viajan para recoger agua de fuentes lejanas a su hogar, 159 millones emplean agua superficial y 423 millones se abastecen de agua proveniente de pozos o manantiales.

En Ecuador, según los datos del Censo del 2010, más de cuatro millones de personas se abastecen de agua a través de pozos, ríos, vertientes, vehículos repartidores y hasta de agua de lluvia (Córdova Guambo, 2015), y es que un 40,01% según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2017) de las viviendas del sector rural, no tienen acceso al agua de red pública. En Manabí, principalmente en las zonas rurales, el 22,84% de los 330 917 hogares, se abastecen de agua de pozo (El Diario , 2012), que generalmente se encuentran contaminados por infiltración y arrastre de efluentes de aguas residuales, lodos, desechos sólidos, efluentes de tanques sépticos, escurrimientos, usos inadecuados de fertilizantes y plaguicidas (Ramírez Flores, Robles Valderrama, Ayala Patiño y Martínez Rodríguez, 2012).

En la ESPAM MFL y en zonas aledañas al sitio “El Limón” del cantón Bolívar, también se abastecen de fuentes subterráneas y superficiales, de las cuales hacen uso estudiantes, docentes y personal técnico, puesto que realizan actividades extracurriculares, prácticas de diversas asignaturas, además la emplean para la preparación de alimentos y para su ingesta directa.

Según datos de la OMS (Organización Mundial de la Salud) citado por (Fernández Cirelli, El agua: un recurso esencial, 2012), casi la cuarta parte de las camas disponibles en los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua. Lo anteriormente expuesto ocasiona preocupación debido al incremento de enfermedades que la población universitaria y la población rural de la provincia de Manabí pueda contraer por consumir agua contaminada sin que exista algún tratamiento previo y son pocos los hogares que logran desinfectarla por métodos caseros como agregar cloro o hervirla, por ende surge la siguiente interrogante:

¿De qué manera se podrá obtener agua apta para el consumo humano en zonas rurales de Manabí a bajo costo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La Constitución del Ecuador en su art. 14 sección segunda, pone en manifiesto que: se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

De acuerdo con lo anteriormente estipulado, el Plan Nacional de Desarrollo del 2017-2021 del Ecuador, ha establecido directrices y lineamientos territoriales para la cohesión territorial con sustentabilidad ambiental, en donde uno de los ejes principales de este plan es agua segura para todos, estableciéndose en el Objetivo 1, política 1.17: Garantizar el acceso, uso y aprovechamiento justo, equitativo y sostenible del agua; la protección de sus fuentes; la universalidad, disponibilidad y calidad para el consumo humano, teniéndose como meta para el 2021, incrementar el porcentaje de la población con acceso a agua segura.

Asimismo, el Objetivo 6, política 6.6 persigue: Fomentar en zonas rurales el acceso a servicios de salud, educación, agua segura, saneamiento básico, seguridad ciudadana, protección social rural y vivienda con pertinencia territorial y de calidad, teniéndose como una de sus metas primordiales, incrementar el porcentaje de hogares que utilizan suministros seguros de agua para beber al 2021 (SENPLADES, 2017).

En muchas de las zonas rurales de Manabí, el servicio de agua potable es inaccesible. La ESPAM MFL situada en “El Limón” del cantón Bolívar no es la excepción, los trabajadores y estudiantes usan el agua de fuentes subterráneas y superficiales para tareas cotidianas y hasta para su ingesta arriesgando su salud, bienestar y calidad de vida. Desde el punto de vista social, es necesario investigar sobre los sistemas de abastecimiento de agua segura, principalmente en estas zonas rurales, debido a que no cuentan con un tratamiento previo, trayendo consigo problemas de salud en la población acarreados por este líquido vital; por ello, la presente investigación contribuirá con los Objetivos del Plan Nacional de Desarrollo puesto que tanto el Estado como la sociedad corresponsable, tienen un rol fundamental en la protección de derechos.

En virtud de aquello, se requieren de enfoques socio-ambientales y socio-económicos que contribuyan y respondan a estas necesidades. La propuesta del sistema de abastecimiento portátil con procesos de filtración, ablandamiento y desinfección, permiten eliminar los niveles de turbidez, microorganismos y sustancias perjudiciales para la salud, además, filtra las partículas disueltas en el agua y mejora la composición causante de los olores y sabores de una fuente subterránea o superficial (Ruiz Martínez y Coronado Coronel, 2017).

Tomando en cuenta los antecedentes de la investigación, se considera comparar el estado inicial del agua durante su captación con los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización, estipulados en el Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental que únicamente requieran de tratamiento convencional propuesta por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2015) para que proceda a ser potabilizada y determinar si es apta para el consumo humano mediante la Norma Técnica Ecuatoriana de Normalización (INEN 1108, 2006-2014) en la zona rural del cantón Bolívar, de manera que pueda ser objeto de implementación en otras zonas rurales de la provincia de Manabí a bajo costo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de abastecimiento de agua mediante procesos de filtración, ablandamiento y desinfección para zonas rurales de Manabí.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar mediante análisis físico-químico y microbiológico el agua (pozo somero y río) en la zona rural del cantón Bolívar.
- Evaluar la eficiencia del sistema de filtración, ablandamiento y desinfección utilizando los dos tipos de aguas.
- Estimar el costo del sistema de abastecimiento.

1.4. HIPÓTESIS

Mediante un proceso de filtración, ablandamiento y desinfección, se logrará una mejor eficiencia en la obtención de agua apta para el consumo humano que satisfaga la demanda en zonas rurales de Manabí.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. IMPUREZA DEL AGUA

El agua para consumo humano proviene de dos tipos de fuentes: superficiales y subterráneas. Éstas siempre contienen alguna clase de impureza; en el caso de las aguas superficiales, se encuentran sobre la superficie de la tierra, en la cual el agua de lluvia a través del aire recoge impurezas del suelo y de descargas de aguas residuales transportándolas a ríos, lagos embalses y mares. En cuanto a las aguas subterráneas, son las que se encuentran en el subsuelo por filtración y recoge impurezas a lo largo de su ciclo hidrológico (Salamanca, 2016).

El agua está contaminada cuando tiene la presencia de organismos extraños y cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su uso en actividades domésticas (Rodríguez Momroy y Durán de Bazúa, 2006), debiendo ser tratada si se requiere para el consumo humano, caso contrario, la población en general sufriría graves enfermedades (Salamanca, 2016).

Cuadro 2.1. Clasificación de los contaminantes presentes en el agua.

FÍSICOS	QUÍMICOS	GASEOSOS	BIOLÓGICOS
Color	Materia orgánica	Anhidrido carbónico	Bacterias
Olor y sabor	Acidez y alcalinidad	Metano	Hongos
Grasas y aceites	pH	Ácido sulfhídrico	Protozoos
Espumas	Nitrógeno		Algas
Radiactividad	Fósforo		Animales
Temperatura	Salinidad		Plantas
Sólidos disueltos	Metales pesados		Virus
Sólidos en suspensión	Detergentes		
	Compuestos tóxicos		
	Pesticidas		

Fuente: Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER, 2011).

2.2. FACTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

Un curso de agua limpio que permite la vida de los peces puede no ser apto para las personas que realicen actividades en él, así como el agua es apta para consumo humano, puede no ser útil para todas las industrias, como el caso de una agua dura, mencionan (Saravia, González, Albornoz y Calvo, 2017); por ende, los requerimientos de la calidad del agua y su relevancia varían de acuerdo con el uso que se le dé a este recurso y depende de factores naturales y antropogénicos (Salamanca, 2016).

La Universidad Nacional Costa Rica (UNA, 2013), menciona que la calidad del agua se establece midiendo las características físicas, químicas y biológicas de una muestra de agua comparadas con los estándares de calidad del agua a fin de darle un uso específico dependiendo la actividad, alude.

A continuación, se mencionan factores importantes para determinar la calidad del agua:

2.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, el tacto, gusto y olfato como por ejemplo: los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura (Salamanca, 2016).

2.2.1.1. TEMPERATURA

La temperatura del agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas, expresa el grado de calor del agua y tiene relación con la conductividad y pH de la misma (Martínez y Buelta, 2015).

Cuadro 2.2. Cuadro de resumen de inventario de puntos de agua subterránea.

VALORES	T (°C)
Mínimo	10
Medio	14,5
Máximo	36,0

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2014).

2.2.1.2. TURBIDEZ

Es producida por las partículas en suspensión o coloidales (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera) que reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Barrenechea Martel, 2005), también se debe a la presencia de partículas de materia inorgánica en aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución manifiesta la (OMS, 2006).

La unidad en el Sistema Internacional es NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez) (Bueta Serrano y Martínez, 2015). En los estándares internos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2018), se menciona que las aguas de consumo humano deben tener preferentemente 1 NTU y en ningún caso más de 5 NTU. La (OMS, 2006) concuerda con aquello y alude que una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias, por lo que es recomendable para que la desinfección sea eficaz, tener menos que 0,1 NTU.

En épocas de lluvias torrenciales o inundaciones, las aguas superficiales arrastran todo tipo de sólidos y microorganismos que en condiciones normales no lo harían, llevándolos finalmente a embalses y acuíferos aumentando la turbidez exponencialmente y siendo este, un gran riesgo para la salud (Robredo, 2014).

En el cantón Bolívar en el año 2016, debido a la alta turbidez que se presentó en el Río Carrizal, que superó los 1000 NTU, la producción de agua potable en la Planta Potabilizadora de Agua de la Estancilla tuvo que ser suspendida. Una vez que los niveles de turbiedad disminuyeron, se reinició la producción y el bombeo a los diferentes cantones que incluían además Junín, Tosagua, Sucre y San Vicente, manifestó la Empresa Mancomunada de Agua Potable, Alcantarillado y Servicio Integral del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y Rurales (EMAARS-EP, 2016).

2.2.1.3. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Los (SDT) son los sólidos filtrables obtenidos después de la evaporación, comprenden las sales inorgánicas principalmente de calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en el agua. Estos proceden de fuentes naturales, aguas residuales y escorrentía y sus concentraciones varían dependiendo de la zona geológica (OMS, 2006).

Aunque no existen datos sobre efectos para la salud por la OMS, las altas concentraciones de sólidos disueltos en el agua resulta desagradable para los consumidores: la palatabilidad menor que 600 mg/l es considerada buena, pero a concentraciones mayores a 1000 mg/l, la palatabilidad disminuye significativamente, además, en altas concentraciones podría ocasionar incrustaciones en tuberías.

2.2.1.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros microorganismos en el agua (Orjuela Orjuela y López Castro, 2013). Son visibles y por lo regular flotan entre la superficie y el fondo, pueden ser removidos por diferentes medios, que pueden ser físicos o mecánicos a través de algún proceso de sedimentación o filtración (López Hernández, Martínez Nava y García Santiago, 2014).

Los (SS) se asocian a la turbidez y obedece también a la dinámica de los ríos en cuanto al tipo de material del cauce y el clima de la zona (precipitación) (Kulkarni, Water Quality Retrieval from Landsat TM Imagery, 2011). Para la determinación de este parámetro en laboratorio, los SS son el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente son secados entre 103-105 °C hasta llegar a un peso constante y se miden en mg/l (Orjuela Orjuela y López Castro, 2013).

2.2.1.5. SÓLIDOS TOTALES

Los (ST) corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido (Barrenechea Martel, 2005).

2.2.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

El agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias como la alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materia orgánica y nutrientes (Salamanca, 2016).

2.2.2.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO

También conocido como (pH), indica la concentración de iones de hidrógeno y la intensidad de un ácido, dependiendo la capacidad que tenga de disociación, así como el de su concentración. En pocas palabras, expresa el grado de acidez o alcalinidad de una solución, de 0 a 7 la solución es ácida y de 7 a 14 la solución es alcalina y no posee unidad, expresan (Buena Serrano y Martínez, 2015).

En el caso de un cuerpo de agua, el pH es un parámetro a considerar para determinar la especie química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas. Se estima que el pH de las aguas crudas y tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0 (Navarro Pérez, Padilla Bejarano y Prías Barragán, 2013).

El Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), perforó en el país más de 500 pozos para suministro de agua en diferentes poblaciones y en una de sus unidades ubicada en Calceta, realizaron un inventario teniendo lo siguiente:

Cuadro 2.3. Resumen de inventario de puntos de agua.

VALORES	pH
Mínimo	5,5
Medio	6,2
Máximo	7,5

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2014).

2.2.2.2. ALCALINIDAD

Según lo manifiestan (Severiche Sierra, Acevedo Barrios y Jaime Morales, Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco-Bolívar, norte de Colombia, 2015), es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, debido a la presencia de bases como el bicarbonato HCO_3^- , carbonato CO_3^{2-} y oxhidrilo OH^- , así como también de otras bases que normalmente se encuentran en pequeñas cantidades (silicatos, fosfatos y otros).

Cuando el agua está en equilibrio, no se produce corrosión ni deposición de carbonato, definiéndose un pH de equilibrio para cada agua en particular, dependiendo de su contenido de sales, de su concentración de calcio, de la alcalinidad y de su temperatura, siendo el intercambio iónico una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas con alto contenido de alcalinidad (Cortijo, 2013).

2.2.2.3. CLORUROS

Conforme lo manifiesta el (INEN, 2013), el cloruro es una de las sales que está presente en mayor cantidad en fuentes de abastecimiento de agua, es de alta solubilidad y su presencia es necesaria en el agua potable, en donde el sabor es salado dependiendo de la composición química del agua y de la variación de la concentración de cloruros: los que excedan de 250 mg/l pueden conferir al agua un sabor perceptible según lo manifiesta la (OMS, 2006), sin embargo, el sabor puede estar también ausente aún en concentraciones de 1000 ppm cuando se presenta como una sal de magnesio o de calcio, por lo que es importante estimar dicha concentración para el tratamiento de aguas según lo manifiestan (Pérez Garrido, León Rodríguez y Delgadillo García, 2013).

2.2.2.4. DUREZA TOTAL

La dureza del agua se debe al contenido de calcio y de magnesio disueltos en el agua y se expresa como cantidad equivalente de carbonato cálcico ($CaCO_3$). En función del pH y de la alcalinidad, una dureza del agua por encima de 200

mg/l puede provocar incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, sistema de distribución y depósitos (OMS, 2006).

Diferentes estudios epidemiológicos ecológicos y analíticos han demostrado la existencia de una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua de consumo y las enfermedades cardiovasculares (OMS, 2006).

Cuadro 2. 4. Clasificación de la dureza en el agua.

CaCO ₃ (mg/l)	Tipo de agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy dura

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).

a) DUREZA CÁLCICA

Presencia del ión calcio (Ca⁺⁺).

b) DUREZA MAGNÉSICA

Presencia de los iones magnesio (Mg⁺⁺).

$$\text{Dureza Magnésica (DM)} = \text{Dureza Total (DT)} - \text{Dureza Cálctica (DC)} \quad [2.1]$$

2.2.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

El agua es un medio donde habitan especies biológicas diversas y llevan a cabo su ciclo vital; desde el organismo unicelular hasta especies de gran tamaño, evidencian la calidad del agua, por ende, su presencia o ausencia puede indicar la situación en que se encuentra la fuente de agua (Salamanca, 2016).

2.2.3.1. COLIFORMES TOTALES

“Los coliformes totales se definen como bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37 °C y producen ácido y gas (CO₂) en 24 h. Entre las más comunes se encuentran: Escherichia coli,

Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella” (Larrea Murrell, Rojas Badía, Romeu Álvarez, Rojas Hernández y Hedrich Pérez, 2013).

El agua potable se analiza para determinar concentraciones o niveles de contaminación por estas bacterias (Rivera, 2014) debiendo estar libre de microorganismos, sustancias químicas y desechos biológicos para determinar que el agua sea apta para el consumo humano, puesto que la presencia de estos agentes dentro del organismo, conlleva a una serie de afecciones que perjudican el equilibrio del cuerpo y la salud (Ávila García, 2010).

Según la investigación que realizaron (Barahona y Tapia, 2010), las concentraciones de coliformes totales en el río Carrizal fueron en aquel año de 2400 NMP/100 ml, por lo cual el agua desde aquel entonces necesitaba de tratamiento para ser empleada.

2.3. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El abastecimiento de agua es un conjunto de acciones técnicas requeridas para suministrar agua para consumo humano (Cerezo, 2009) haciendo que el agua avance desde el punto de captación hasta el punto de consumo en buenas condiciones, es decir, previamente tratada (Aristegui, 2016).

En la mayoría de zonas rurales, las condiciones de abastecimiento de agua son distintas a las condiciones de instalaciones urbanas, por lo general, el número de gente a ser servida por el sistema de agua es muy pequeño y la baja densidad poblacional hace que la distribución de agua por tuberías no sea económicamente factible, según lo manifiesta el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2014).

A menudo, la población rural subsiste de la agricultura y el dinero disponible es escaso, por ende, la opción realista es la de proporcionar fuentes puntuales, por ejemplo, un sistema de captación de pozo equipado con una bomba y para zonas más grandes una pequeña planta de tratamiento de agua y que la distribución de ésta sea a través de fuentes o piletas públicas (ARQHYS, 2012).

2.4. TRATAMIENTO DE AGUA

En términos de ingeniería ambiental, hace referencia al conjunto de operaciones unitarias, físicas, químicas y biológicas que tienen como finalidad la reducción o eliminación de características no deseables de las aguas, sean naturales, de abastecimiento o residuales. Con estas operaciones se obtiene agua con características adecuadas dependiendo el uso que se le vaya a dar (Martínez Bayas e Idrobo Jaya, 2012).

El Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental, establece los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico previo su potabilización (MAE, 2015) y a través de los requisitos de calidad de la norma (INEN 1108, 2006-2014) se establecen los límites máximos permitidos (LMP) que debe cumplir el agua potable de los sistemas de abastecimiento para consumo humano.

2.4.1. FILTRACIÓN

2.4.1.1. FILTRACIÓN CON GRAVA GRUESA

Su función es dar soporte y ayudar a retener arena e impurezas para que no se acumulen (Avellaneda, 2018).

2.4.1.2. FILTRACIÓN CON ZEOLITA

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos hidratados, que pueden ser de origen natural o sintético. Su densidad es baja y conserva un gran volumen de vacíos al deshidratarse. Es un captador de alta capacidad, retiene partículas de hasta 5 micras. Sus propiedades de intercambio de catión neutralizan ciertos elementos y además remueve sustancias inorgánicas como el zinc, magnesio, calcio, cloruros, nitritos, fósforo y toda clase de patógenos como coliformes fecales y totales (Avellaneda, 2018).

Las zeolitas reducen además la acidez del agua produciendo mayor claridad en el agua filtrada, es el medio filtrante más durable (más de 5 años), solo requiere de retro lavado periódico para mantener la eficiencia y desempeño, tiene una

capacidad de flujo de 4 veces superior a la de los medios filtrantes convencionales e incrementa el flujo en equipos con multimedia y sistemas de gravedad y presión comparado con los filtros de arena (Larrea, 2015).

2.4.1.3. FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

Estos filtros sirven para purificar agua, cumpliendo una función de potabilizador casero (TESACUA S.L., 2015). Es un proceso en el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos, “fuerzas de Van Der Waals”, eliminando pesticidas, herbicidas, compuestos volátiles (VOC), compuestos con trihalometano, solventes y otras clases de productos que se encuentran en el agua, además de aportar en el mejoramiento de propiedades organolépticas en el agua (olor, sabor, color) (Avellaneda, 2018).

2.4.2. ABLANDAMIENTO

2.4.2.1. INTERCAMBIO IÓNICO

Es un proceso rápido y reversible en el cual los iones impuros presentes en el agua son sustituidos por iones que se alejan de una resina de intercambio de iones. Estos iones impuros son tomados por la resina que debe ser regenerada frecuentemente para restaurarla a su forma iónica original (Cortijo, 2013).

En estos procesos de purificación, separación y descontaminación de disoluciones que contienen los iones, se emplean sólidos poliméricos o minerales (Salas, Torres, Reyes y García, 2016). Es una alternativa viable y de bajo costo para tratar aguas con alto contenido de alcalinidad, de tal manera que mantenga el contenido mínimo de sales (bicarbonato y carbonato de calcio y magnesio) y que al ser empleado no produzca corrosión ni incrustaciones en los sistemas menciona (Cortijo, 2013).

a) RESINA DE INTERCAMBIO CATIONICO

Existen dos tipos de resina: de intercambio de catiónico e intercambio de aniónico (TESACUA S.L., 2015). Son calificadas como ácido fuerte o ácido débil

dependiendo del grado de su acidez mencionan (Salas, Torres, Reyes y García, 2016). En la presente investigación se empleó resina de intercambio catiónico, la cual convierte las sales presentes en el agua en ácidos. Cuando las aguas tienen baja concentración de calcio y magnesio, las resinas pueden regenerar eficientemente ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, pero cuando se tienen elevadas concentraciones de calcio o de magnesio, la regeneración con ácido sulfúrico no es apropiada, puesto que produce precipitaciones de sulfato de calcio sobre la resina contribuyendo a la disminución de su rendimiento y reducción del flujo manifiesta (Cortijo, 2013).

2.4.3. DESINFECCIÓN

2.4.3.1. CLORACIÓN

El cloro (hipoclorito de sodio), es uno de los elementos más manipulados para desinfectar el agua y se puede aplicar para desactivar la actividad de la mayoría de los microorganismos, además tiene un bajo costo, es práctico y efectivo al momento de entrar en contacto con los microorganismos patógenos (Chaucachicaiza y Orozo, 2012).

Los sistemas de dosificación de cloro en pastillas están diseñados para diluir una cantidad limitada de pastilla mediante el contacto directo con el agua que se esté tratando mencionan los autores.

a) CLORO RESIDUAL LIBRE

A medida que los organismos se destruyen, el cloro se consume, si se añade suficiente cloro, quedará en el agua una cantidad luego de que se eliminen todos los organismos, a lo cual se le denomina cloro libre.

Éste permanece en el agua hasta perderse en el exterior o usarse contrarrestando una nueva contaminación, por ende, si se analiza el agua y se encuentra cloro libre, se comprueba que la mayoría de los organismos ya fueron eliminados y es seguro consumirla (OMS, 2009).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en el sitio “El Limón” a 2 km $\frac{1}{2}$ de la ciudad de Calceta perteneciente al cantón Bolívar de la provincia de Manabí. Los puntos de muestreo fueron en el bosque de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí para la extracción del agua de pozo somero y en el río Carrizal a la altura del puente del sitio “El Limón”.



Figura 3. 1. Imagen aérea del bosque de la ESPAM MFL para la extracción de agua de pozo somero y río Carrizal que atraviesa el puente de la comunidad “El Limón”.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación tuvo una duración de 9 meses: desde el mes de octubre del 2017 hasta enero del 2018 y de abril a octubre del 2018.

3.3. MÉTODOS, TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

El método empleado fue de tipo no experimental, deductivo y descriptivo.

3.3.2. TÉCNICAS

Observación, de campo, estadística.

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Sistema de abastecimiento.

3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad del agua.

3.5. PROCEDIMIENTOS

3.5.1. FASE 1. DIAGNÓSTICO MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE POZO Y RÍO EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN BOLÍVAR.

ACTIVIDAD 1. Se georreferenció cada punto de muestreo para ilustrar mediante mapa en ArcGIS los puntos de ubicación de la extracción de las aguas a emplear en el sistema de abastecimiento (Anexos 1 y 2).

ACTIVIDAD 2. Se realizó la recolección de las muestras de agua de pozo y de río de la siguiente manera: el agua de pozo se captó por medio de una bomba periférica para extraerla a través de un grifo, por lo cual previamente se verificó que el mismo estuviera en comunicación directa con la tubería ascendente del pozo y se esperó por un tiempo suficiente para que el agua saliera directamente del pozo somero y no de depósitos intermedios que pudieran haber en el circuito, según la experiencia citada por el Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria (CIATI, 2015).

La recolección de muestras de agua superficial se realizó en el Río Carrizal a la altura del puente del sitio “El Limón” contracorriente en recipientes de vidrios limpios y herméticos con capacidad de un 1 litro (Anexo 3).

ACTIVIDAD 3. Posteriormente, se realizaron los análisis físico-químicos y microbiológicos en el Laboratorio de Química Ambiental de la ESPAM MFL (Anexo 4) empleando la metodología de Estándar Métodos. Los parámetros

físicos analizados fueron: temperatura, turbidez, SDT (Sólidos disueltos totales), SS (Sólidos suspendidos) y ST (Sólidos totales); químicos: cloro residual libre, cloruros, pH (Potencial de hidrógeno), alcalinidad, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total y finalmente como parámetro microbiológico los coliformes totales, empleando métodos que se ilustran en la siguiente tabla.

Cuadro 3.1. Métodos para análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos.

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD
Temperatura	Potenciométrico	°C
Turbidez	Espectrofotométrico	NTU
SDT	Volumétrico	mg/l
SS	Volumétrico	mg/l
ST	Volumétrico	mg/l
Cloro residual libre	Colorimétrico	mg/l
Cloruros	Espectrofotométrico	mg/l
pH	Potenciométrico	Adimensional
Alcalinidad	Volumétrico	mg/l CaCO ₃
Dureza cálcica	Volumétrico	mg/l CaCO ₃
Dureza magnésica	Volumétrico	mg/l CaMg
Dureza total	Volumétrico	mg/l CaCO ₃
Coliformes totales	Método de dilución	NMP/100 ml

Fuente: Estándar métodos.

Inicialmente se realizaron análisis en dos puntos de abastecimiento (subterráneo y superficial) para estimar las condiciones en las que estas aguas se encontraban, tal como lo recomienda (Bobadilla, 2016); posteriormente se realizaron análisis matutinos y nocturnos para determinar si existía variabilidad en las concentraciones de sus contaminantes y conjuntamente se realizaron análisis durante la transición de la época lluviosa a la seca para determinar el diseño del sistema de abastecimiento tomando en consideración las concentraciones más elevadas, puesto que el (Ente Provincial del Agua y de Saneamiento Gobierno de Mendoza, 2014) en un estudio realizado puso en manifiesto que el grado de contaminación en el agua varía según la época del año.

ACTIVIDAD 4. Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico durante su captación, que requieran de tratamiento convencional.

Cuadro 3.2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que requieran tratamiento convencional.

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Temperatura	°C	Condición Natural +/- 3 grados
Turbidez	NTU	100
SDT	mg/l	1000
SS	mg/l	-
ST	mg/l	-
Cloruros	mg/l	250
pH	Adimensional	6-9
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	-
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	-
Dureza magnésica	mg/l CaMg	-
Dureza total	mg/l CaCO ₃	500
Coliformes totales	NMP/100 ml	3000

Fuente: Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2015).

3.5.2.FASE 2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN, ABLANDAMIENTO Y DESINFECCIÓN UTILIZANDO LOS DOS TIPOS DE AGUAS.

ACTIVIDAD 5. Para llevar a cabo el sistema de abastecimiento se procedió a recopilar lo siguiente:

INSUMOS: Zeolita, carbón activado, grava gruesa, resina catiónica, cloro en pastillas, sal gruesa y kits con reactivos.

EQUIPOS: Medidores de presión (manómetros), clorador, bomba periférica (1/2 hp), controlador automático de bomba (220-2240 v), breakers (20 amperios).

MATERIALES: Tubos de PVC 6 (in), llaves de paso ½ (in), codos de ½ y de 1 (in), T de ½ (in), tubos de ½ y de 1 (in), tubos de 3 (in), cheque vertical de 1 (in), 100 m de manguera de ½ (in), 1 m de manguera de 1 (in), adaptador de

manguera ½ (in), reductores de tubos, cables concéntricos, línea y enchufe polarizado de 110 v, varilla de T de cobre, venturi, llave de jardín, uniones universales, pernos y tuercas de ½ (in), silicón, teflones, busys, neoprenos perdidos de ½ , recipiente de 20 (l), tapas de metal, tapas de PVC, caucho, lienzo, platinas de 3 m, estructura metálica, ruedas, letreros, sprays de pintura, platos difusores de acrílico.

ACTIVIDAD 6. Se procedió a armar el sistema de abastecimiento con filtración rápida a ritmo descendente siguiendo la experiencia por el (CEPIS, 2014) que establece que para ello se necesitan seleccionar parámetros como el tamaño del grano del material filtrante y el espesor de lecho del filtro, elaborándose de la siguiente manera:

a) CÁLCULOS DE LAS COLUMNAS DE FILTRACIÓN

Los filtros fueron diseñados con tubos polivinilcloruro (PVC), el primer filtro contuvo grava gruesa de soporte y zeolita, el segundo filtro fue en su totalidad de carbón activado siguiendo la experiencia en la investigación realizada por (Larrea, 2015) (Anexo 6 y 7).

Cálculo del área lateral del filtro

$$Al = 2\pi * r * h \text{ [3.1]}$$

Donde:

Al = Área lateral del filtro

π = Constante Pi

r = Radio

h = Altura

Cálculo del área de la base del filtro

$$Ab = \pi * r^2 \text{ [3.2]}$$

Donde:

Ab = Área de la base del filtro

π = Constante Pi

r = Radio

Cálculo del área total del filtro

$$At = 2(Ab + Al) \text{ [3.3]}$$

Donde:

At = Área total

Ab = Área de la base del filtro

Al = Área lateral del filtro

Cálculo del volumen del filtro

$$vf = Ab * h \text{ [3.4]}$$

Donde:

vf = Volumen del filtro

Ab = Área de la base del filtro

h = Altura

Cálculo del caudal del filtro

$$Q = \frac{v}{t} \text{ [3.5]}$$

Donde:

Q = Caudal del filtro

v = Volumen a pasar

t = Tiempo que se demora

Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica del filtro

$$TRH = \frac{v}{Q} \text{ [3.6]}$$

TRH = Tiempo de retención hidráulica

v = Volumen a pasar

Q = Caudal del filtro

b) CÁLCULO DE LAS COLUMNAS DE ABLANDAMIENTO

Según (Martínez Bayas e Idrobo Jaya, 2012), la resina catiónica elimina la dureza del agua, por lo cual se armaron dos ablandadores con tubos PVC y en su interior se introdujo resina catiónica RESIN TECH CG8 (Anexo 8).

Cálculo del área lateral del ablandador

$$Al = 2\pi * r * h \text{ [3.7]}$$

Donde:

Al = Área lateral del ablandador

π = Constante Pi

r = Radio

h = Altura

Cálculo del área de la base del ablandador

$$Ab = \pi * r^2 \text{ [3.8]}$$

Donde:

Ab = Área de la base del ablandador

π = Constante Pi

r = Radio

Cálculo del área total del ablandador

$$At = 2(Ab + Al) \text{ [3.9]}$$

Donde:

At = Área total

Ab = Área de la base del ablandador

Al = Área lateral del ablandador

Cálculo del volumen del ablandador

$$va = Ab * h \text{ [3.10]}$$

Donde:

va = Volumen del ablandador

Ab = Área de la base del ablandador

h = Altura

Cálculo del caudal del ablandador

$$Q = \frac{v}{t} [3.11]$$

Donde:

Q = Caudal del ablandador

v = Volumen a pasar

t = Tiempo que se demora

Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica del ablandador

$$TRH = \frac{v}{Q} [3.12]$$

TRH = Tiempo de retención hidráulica

v = Volumen a pasar

Q = Caudal del ablandador

c) CÁLCULO DEL CLORADOR

La (Organización Panamericana de la Salud, 2007) menciona que la cloración es el mecanismo de desinfección de mayor aplicación en los sistemas de abastecimiento de agua y depende directamente del caudal que está en contacto con las pastillas de hipoclorito de calcio, por ende, para el sistema, se empleó un clorador en línea Hayward modelo CL-100 con capacidad de 1,9 kg de pastillas, calculando la dosificación en base a la Guía Técnica de (OMS, 2009), y, asociándolo con la válvula de control de línea integral del equipo puesto que permite ajustar con precisión la tasa a clorar.

Cálculo del caudal del clorador

$$Q = \frac{v}{t} [3.13]$$

Donde:

Q = Caudal del clorador

v = Volumen a pasar

t = Tiempo que se demora

Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica del ablandador

$$TRH = \frac{v}{Q} [3.14]$$

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica

v = Volumen a pasar

Q = Caudal del clorador

ACTIVIDAD 7. Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos del agua tratada por el sistema de abastecimiento y fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1108, 2006-2014).

Cuadro 3. 3. Requisitos con los que debe cumplir el agua potable.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP
Turbidez	NTU	5
SDT	mg/l	1000
Cloro residual libre	mg/l	0,3 a 1,5
Cloruros	mg/l	250
Ph	Adimensional	6,5-8,5
Dureza total	mg/l CaCO ₃	300
Coliformes totales	NMP/100 ml	<2

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1108, 2006-2014).

ACTIVIDAD 8. Se calculó el porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes de las muestras de aguas tratadas con los parámetros seleccionados para cada proceso del sistema de abastecimiento, para ello, se empleó la fórmula propuesta por los autores (Chuchón y Aybar, 2008).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} * 100 [3.15]$$

Donde:

% de remoción= Porcentaje de remoción

Pi= Parámetro inicial

Pf= Parámetro final

Una vez obtenidos los porcentajes de eficiencia de remoción, se estimó la eficacia del sistema, puesto que (Mejía, 2007) menciona que es esta la que determina el cumplimiento con los objetivos previamente planteados.

3.5.3.FASE 3. ESTIMACIÓN DEL COSTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.

ACTIVIDAD 9. Se estimó el costo del sistema de abastecimiento a través del método “Costo de producción” de acuerdo con (Vinza, 2012), tomando en cuenta para ello 3 factores: costo de los materiales a emplear, gastos en construcción y gastos en el mantenimiento.

$$CP = [(M_p + M_{od} + G_p)][3.16]$$

Donde:

CP= Costo de producción

Mp= Materia prima

Mod= Mano de obra directa

Gp= Gasto de producción

ACTIVIDAD 10. Se elaboró el Manual de Uso del Sistema de Abastecimiento de Agua para zonas rurales, en el cual se detallaron los procesos con los que consta el sistema, la operación, mantenimiento y revisión.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DE POZO SOMERO Y RÍO EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN BOLÍVAR.

Los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, han generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua (Bobadilla, 2016), por ende, se escogieron 5 unidades de muestreo para diagnosticar y caracterizar las fuentes que abastecen al sitio “El Limón” (4 puntos de pozos dentro del campus politécnico y 1 de río) (Cuadro 4.1.).

Cuadro 4. 1. Coordenadas de puntos de muestreo.

SITIOS		COORDENADAS X	COORDENADAS Y
POZO	BOSQUE (B)	0590790	9908694
	CARRERA DE MEDIO AMBIENTE (M)	0591138	9909257
	CARRERA DE AGROINDUSTRIAS (A)	0590544	9908645
RÍO	CARRERA DE PECUARIA (P)	0591209	9909387
	CARRIZAL (R)	0591222	9908527

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Por consiguiente, se realizaron muestreos iniciales para determinar las condiciones en las que se encontraban los tipos de agua, agrupando los parámetros físico-químicos y microbiológicos más relevantes de acuerdo a la metodología de Estándar Métodos empleada en el laboratorio de Química Ambiental de la ESPAM MFL (Cuadro 3.1.).

Cuadro 4. 2. Análisis físico-químico y microbiológico inicial.

PARÁMETRO	UNIDAD	P	R	P	R
Temperatura	°C	24,7	25,7	27,3	27,8
Turbidez	NTU	<1	16	<1	17
Sólidos disueltos totales	mg/l	358	295	319	229
Sólidos suspendidos	mg/l	20,1	53,5	20,3	29
Cloruros	mg/l	54	52	92	55
pH	Adimensional	7,64	8,62	6,94	7,74
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	73,17	60,98	73,17	60,98
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	110	160	130	170
Dureza magnésica	mg/l CaMg	270	60	100	50
Dureza total	mg/l CaCO ₃	380	220	230	220
Coliformes totales	NMP/100 ml	230	3000	-	-

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Donde (P) significa agua de pozo y (R) agua de río en el cuadro 4.2., evidenciándose que las aguas subterráneas y las aguas superficiales tienen diferentes concentraciones de contaminantes en sus parámetros.

Los coliformes totales se presentaron con 3000 NMP/100 ml en el río y en el agua de pozo somero 230 NMP/100 ml, mientras que la turbidez en el río fue de 17 NTU y en el pozo las concentraciones fueron menores a 1 NTU, sin embargo, el agua de pozo también presentó concentraciones más altas que el agua de río en ciertos parámetros, por ejemplo los sólidos disueltos totales llegaron a 358 mg/l, mientras que en el río a 295 mg/l, la dureza fue de 380 mg/l CaCO₃ y en el río 220 mg/l CaCO₃ según lo muestra el (Cuadro 4.2.).

Acorde con lo que manifiesta el (Ente Provincial del Agua y de Saneamiento Gobierno de Mendoza, 2014), las aguas subterráneas al entrar en contacto con las aguas empleadas por el hombre (desechos, pozos ciegos, etc.) generalmente resultan contaminadas aunque no lo parezcan, asimismo el agua superficial, al estar expuesta al medio que la rodea y a la incorporación de materiales y microorganismos por su ciclo hidrológico, presenta turbiedad, sólidos suspendidos y disueltos.

Por otra parte, se realizaron análisis matutinos (08h00) y nocturnos (20h00) encontrándose lo siguiente:

Cuadro 4. 3. Análisis físico-químicos y microbiológicos matutinos y nocturnos.

HORARIO		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
PARÁMETRO	UNIDAD	B	B	R	R	B	B	R	R
Temperatura	°C	22,6	22,3	23,2	22,3	22,7	22,4	23,1	22,7
Turbidez	NTU	<1	<1	20	17	<1	<1	21	19
Sólidos disueltos totales	mg/l	295	303	213	227	280	291	215	220
Sólidos suspendidos	mg/l	17	19	28	30	15	17	25	27
Cloruros	mg/l	71	92	33	21	68	84	<10	<10
pH	Adimensional	8,08	7,55	8,78	7,91	8,46	8,05	8,75	8,01
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	73,17	73,17	36,59	36,59	69,43	69,43	36,59	60,98
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	110	100	80	90	100	100	70	80
Dureza magnésica	mg/l CaMg	130	130	90	80	120	110	60	60
Dureza total	mg/l CaCO ₃	240	230	170	170	220	210	130	140
Coliformes totales	NMP/100 ml	230	200	3000	3000	230	200	3000	3000

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Donde (AM) es por la mañana, (PM) por la noche, (B) bosque y (R) río en el cuadro 4.3. Se encontró que existen diferencias en las concentraciones de los contaminantes en la mañana y en la noche, sin embargo no son significativas.

Una vez obtenido el diagnóstico inicial, se procedió a analizar los 5 puntos de muestreos mencionados anteriormente en el cuadro 4.4., donde (B) indica ser agua de pozo del bosque, (M) del agua de pozo de la carrera de Medio Ambiente, (A) carrera de Agroindustrias, (P) carrera de Pecuaria y (R) río, arrojando los siguientes resultados:

Cuadro 4. 4. Análisis físico-químico y microbiológico en 5 puntos de muestreo del campus politécnico.

PARÁMETRO	UNIDAD	B	M	A	P	R	B	M	A	P	R
Temperatura	°C	23	25,5	26,7	25,3	24	25,2	26,1	26,3	26,8	27,3
Turbidez	NTU	<1	<1	<1	<1	9	<1	<1	2	<1	7
Sólidos disueltos totales	mg/l	295	450	401	336	213	295	450	401	377	197
Sólidos suspendidos	mg/l	17,5	22,1	19,9	20,1	25,1	17,8	22,2	20,1	20,3	23,5
Cloruros	mg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
pH	Adimensional	7,3	7,51	7,48	7,37	8	7	7,46	7,68	7,51	8,04
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	60,98	60,98	60,98	48,78	36,59	60,98	60,98	73,17	48,78	36,59
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	130	110	110	110	100	130	120	120	100	110
Dureza magnésica	mg/l CaMg	100	100	140	90	50	90	90	60	80	40
Dureza total	mg/l CaCO ₃	230	210	250	200	150	220	210	180	180	150
Coliformes totales	NMP/100 ml	230	230	230	230	3000	230	230	230	230	3000

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Se pudo evidenciar en el cuadro 4.4. que existen variaciones de concentraciones de contaminantes en cada punto de muestreo de agua de pozos que se analizaron en el campus y además, variaciones de acuerdo a los días, teniéndose que los valores más altos fueron los sólidos totales, dureza y coliformes totales.

Conforme lo establece el (Ente Provincial del Agua y de Saneamiento Gobierno de Mendoza, 2014) la turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año, por ende, se realizaron análisis tomando en cuenta la transición de la época lluviosa a la época seca en el cuadro 4.5., sacando un promedio de todos los datos y siendo condensados a continuación:

Cuadro 4. 5. Análisis físico-químicos y microbiológicos durante la transición de la época lluviosa a la seca.

ÉPOCA		LLUVIOSA	SECA	LLUVIOSA	SECA
PARÁMETRO	UNIDAD	P	P	R	R
Temperatura	°C	24,2	25,6	24,8	25,7
Turbidez	NTU	<1	<1	17,5	8
Sólidos disueltos totales	mg/l	358	375,6	241,5	205
Sólidos suspendidos	mg/l	19,1	20	41,3	24,3
Cloruros	mg/l	79,8	<10	40,3	<10
pH	Adimensional	7,6	7,4	8,3	8,0
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	73,2	59,5	48,8	36,6
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	112,5	116,3	125	105
Dureza magnésica	mg/l CaMg	157,5	93,8	70	45
Dureza total	mg/l CaCO ₃	270	210	195	150
Coliformes totales	NMP/100 ml	230	-	3000	-

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

En las dos estaciones climáticas que tiene el país, surgen diferencias significativas en su calidad por la presencia de lluvias que normalmente arrastran más contaminantes alojados en los entornos a los cauces de los ríos y en la época seca, por los lixiviados que pueden llegar por infiltración a las aguas subterráneas tal como lo manifiesta (Bobadilla, 2016) y se refleja en el (Cuadro 4.5.).

La temperatura indica que en la época seca aumentó tanto en el agua superficial como en el agua subterránea casi 1°C, valor que indica según la clasificación propuesta por el (INAMHI, 2014) que es una temperatura media. Esta transición es condicionada por las variaciones de la temperatura ambiente originadas en el ciclo natural de las estaciones, afectando la mayoría de los procesos biológicos que tienen lugar en los ecosistemas acuáticos y a la solubilidad de los gases disueltos en el agua (Fernández Cirelli, El agua: un recurso esencial, 2012).

La turbidez en la fuente subterránea se mantuvo por debajo de 1 NTU, mientras que la fuente superficial durante la lluvia llegó a tener una turbidez promedio de 17,5 NTU y en época seca 8 siendo no aceptable, puesto que según la (OMS, 2006), la turbidez de agua para consumo humano debe ser menor que 5 NTU. En el 2016, el río Carrizal llegó a tener una cifra por encima de los 1000 NTU (EMAARS-EP, 2016), cifra alarmante de la que se puede

deducir con el resultado obtenido, que en épocas de lluvias torrenciales a mayor intensidad, mayor turbidez por arrastre de sedimentos.

La presencia de SDT, hace que disminuya la palatabilidad siendo un poco desagradable para el consumo humano. Los resultados arrojaron que en donde mayor presencia existió de SDT fue en el agua subterránea principalmente durante la época lluviosa, teniendo valores altos que llegaron casi a los 400 mg/l mientras que en el agua superficial, sus valores promediaron los 200 mg/l.

Según lo manifiesta (Håkanson, 2004), los SS incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros microorganismos en el agua. Éste parámetro es asociado con la turbidez, por lo tanto, se encontró mayor cantidad en el agua superficial en la época lluviosa y según lo menciona (Kulkarni, Water Quality Retrieval from Landsat TM Imagery, 2011), valores altos de SS afectan la entrada de luz y es posible que transporte sustancias tóxicas o nocivas cuando existen partículas pequeñas ($< 63 \mu\text{m}$), indicó.

Los cloruros son las sales que están presentes en mayor cantidad en fuentes de abastecimiento, en donde el sabor es salado dependiendo de la concentración, además, aumenta la corrosión de los metales y conducciones y puede causar daños estomacales y renales (Pérez López, 2016). Según la (OMS, 2006), las concentraciones que sobrepasan los 250 mg/l confieren un sabor perceptible, sin embargo, las concentraciones de cloruros en las muestras de agua se presentaron en niveles bajos, existiendo una mayor presencia de ellos en la época lluviosa tanto en la fuente superficial como en la subterránea.

Los resultados obtenidos muestran que el pH en la época lluviosa, tanto en el agua de pozo como de río, aumentaron considerablemente siendo más alcalino, mientras que en época seca dichos valores descendieron, sin embargo, no se acercan a la neutralidad. Para las aguas de consumo humano, los valores extremos pueden causar irritación en las mucosas, irritación en órganos internos y hasta procesos de ulceración (Pérez López, 2016).

La alcalinidad indica la capacidad de un agua para neutralizar ácidos con la presencia de bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos, sulfuros, bisulfuros, silicatos y fosfatos. Está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica (Barrenechea Martel, 2005). En los análisis realizados, el agua subterránea tuvo una mayor alcalinidad que la del agua superficial.

La dureza cálcica representa el contenido de calcio disuelto en el agua, constituye dos de las terceras partes de la dureza total, va en función de la alcalinidad y del pH, su presencia puede provocar incrustaciones en la red de distribución y generalmente se encuentra en un rango de 5 a 500 mg/L en la forma de CaCO_3 (Neira Gutiérrez, 2006). En época lluviosa, aumentó la cantidad de este parámetro en el agua del río Carrizal, mientras que en época seca disminuyó significativamente; en el agua subterránea ocurrió lo contrario, durante la época lluviosa presentó baja concentración mientras que en época seca la cantidad se elevó.

Por su parte, la dureza magnésica indica las concentraciones de magnesio en el agua, durante la época lluviosa, las concentraciones de los 2 tipos de agua fueron más elevadas que en la época seca, teniendo un valor mayor de dureza magnésica en aguas de pozo con relación a la de río.

La (OMS, 2006), ha establecido en sus diversos estudios epidemiológicos ecológicos y analíticos, la presencia de una relación inversa estadísticamente entre la dureza del agua de consumo humano y las enfermedades cardiovasculares, además de provocar incrustaciones en las tuberías y corrosión por sus sales, sabores indeseados, dificultad en la cocción de alimentos e impedimento para la formación de espuma de jabón. Mayor dureza se evidencia en la época lluviosa de los dos tipos de agua, sin embargo, se confirma que es la de pozo la que cuenta con mayor concentración y de acuerdo con (Pérez López, 2016) el problema de la dureza se refleja más en aguas subterráneas que en aguas superficiales, puesto que generalmente éstas arrastran más minerales como calcio y magnesio.

El agua es blanda cuando presenta una dureza menor a los 100 mg/L; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/L; y dura, cuando presenta de 200 a 300 mg/L según lo manifiesta (Barrenechea Martel, 2005), por ende, se presenta una agua de pozo muy dura siendo necesario aplicar ablandamiento para disminuir este parámetro.

Finalmente, el parámetro microbiológico analizado fue de coliformes totales, y es que es uno de los principales indicadores para determinar si el agua es apta para el consumo humano. En el agua de río es evidente que existe mayor presencia que en el agua de pozo, 3000 NMP/100 ml y 230 NMP respectivamente. Su presencia indica que las aguas están contaminadas, teniendo el potencial de causar un sinnúmero de enfermedades principalmente gastrointestinales; (Barahona y Tapia, 2010) en su investigación manifestaron que en el 2010 las concentraciones de coliformes totales en el río Carrizal fueron de 2400 NMP, cantidad que hasta la fecha de hoy, va en aumento.

El Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) reformado en el Acuerdo Ministerial N° 028, detalla una serie de parámetros que deben de cumplir los cuerpos de agua para ser captados según la aplicación que se requiera, en este caso, para el consumo humano. El uso de indicadores fue definido en función del conjunto de características físico-químicas y microbiológicas de estas fuentes así como de sus valores de aceptación o rechazo (MAE, 2015) (Cuadro 4.6.).

Cuadro 4. 6. Análisis físico-químicos y microbiológicos de todos los puntos muestreados comparados con los LMP del Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2015).

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO																				
PARÁMETRO	UNIDAD	LMP	B	R	B	R	B	R	B	R	B	M	A	P	R	B	M	A	P	R
Temperatura	°C	Condición Natural +/- 3 grados	24,7	25,7	27,3	27,8	22,6	22,3	22,3	23,2	23	25,5	26,7	25,3	24	25,2	26,1	26,3	26,8	27,3
Turbidez	NTU	100	<1	16	<1	17	<1	20	<1	17	<1	<1	<1	<1	9	<1	<1	<1	<1	7
SDT	mg/l	1000	358	295	319	229	295	213	303	229	295	450	401	336	213	295	450	401	377	197
SS	mg/l	-	20,1	53,5	20,3	29	17	28	19	30	17,5	22,1	19,9	20,1	25,1	17,8	22,2	20,1	20,3	23,5
Cloruros	mg/l	250	54	52	92	55	71	33	102	21	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
pH	Adimensional	6-9	7,6	8,6	6,9	7,7	8	8,7	7,5	7,9	7,3	7,5	7,4	7,3	8	7	7,4	7,6	7,5	8
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	-	73,1	60,9	73,1	60,9	73,1	36,5	73,1	36,5	60,9	60,9	60,9	48,7	36,5	60,9	60,9	73,1	48,7	36,5
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	-	110	160	130	170	110	80	100	90	130	110	110	110	100	130	120	120	100	110
Dureza magnésica	mg/l CaMg	-	270	60	100	50	130	90	130	80	100	100	140	90	50	90	90	60	80	40
Dureza total	mg/l CaCO ₃	500	380	220	230	220	240	170	230	170	230	210	250	200	150	220	210	180	180	150
Coliformes totales	NMP/100 ml	3000	-	-	-	-	230	3000	200	3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Donde (B) indica ser punto de muestreo en el bosque de la politécnica, (M) carrera de Medio Ambiente, (P) carrera de Pecuaria, (A) Agroindustrias y (R) río. Los parámetros en rojo indican sobrepasar los LMP, en este caso, los coliformes totales llegaron al punto máximo 3000 NMP/100 ml, en donde se corrobora que es necesario aplicar un sistema de filtración para una efectiva desinfección al agua captada de tal manera que sea apta para el consumo humano.

4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN, ABLANDAMIENTO Y DESINFECCIÓN UTILIZANDO LOS DOS TIPOS DE AGUAS.

Se elaboró el diseño del sistema con filtración rápida descendente de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Cuadro 4. 7. Diseño del sistema de abastecimiento de agua.

FILTRO CON GRAVA GRUESA Y ZEOLITA	
Altura (h)	100 cm
Diámetro (d)	15 cm
Gravilla	8 cm
2 Espacios libres con platos difusores	22 cm
1 Espacio libre	11 cm
2 Partes de Zeolita	59 cm
Masa de gravilla	2 126 g
Masa de zeolita	8 400 g
FILTRO CON CARBÓN ACTIVADO	
Altura (h)	100 cm
Diámetro (d)	15 cm
2 Partes de carbón activado	78 cm
1 Espacio libre con platos difusores	11 cm
1 Espacio libre	11 cm
Masa del carbón activado	8 454 g
ABLANDADOR 1	
Altura (h)	70 cm
Diámetro (d)	8 cm
Resina catiónica	49 cm
Espacio libre	21 cm
Masa de la resina catiónica	1 759,6 g
ABLANDADOR 2	
Altura (h)	70 cm
Diámetro (d)	8 cm
Resina catiónica	49 cm
Espacio libre	21 cm
Masa de la resina catiónica	1 759,6 g
CLORADOR	
Abertura de válvula	1/8 in

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Recopilados los materiales, equipos e insumos, se armó el sistema de abastecimiento con los procesos de filtración, ablandamiento y desinfección tal como se muestra a continuación en la siguiente figura:

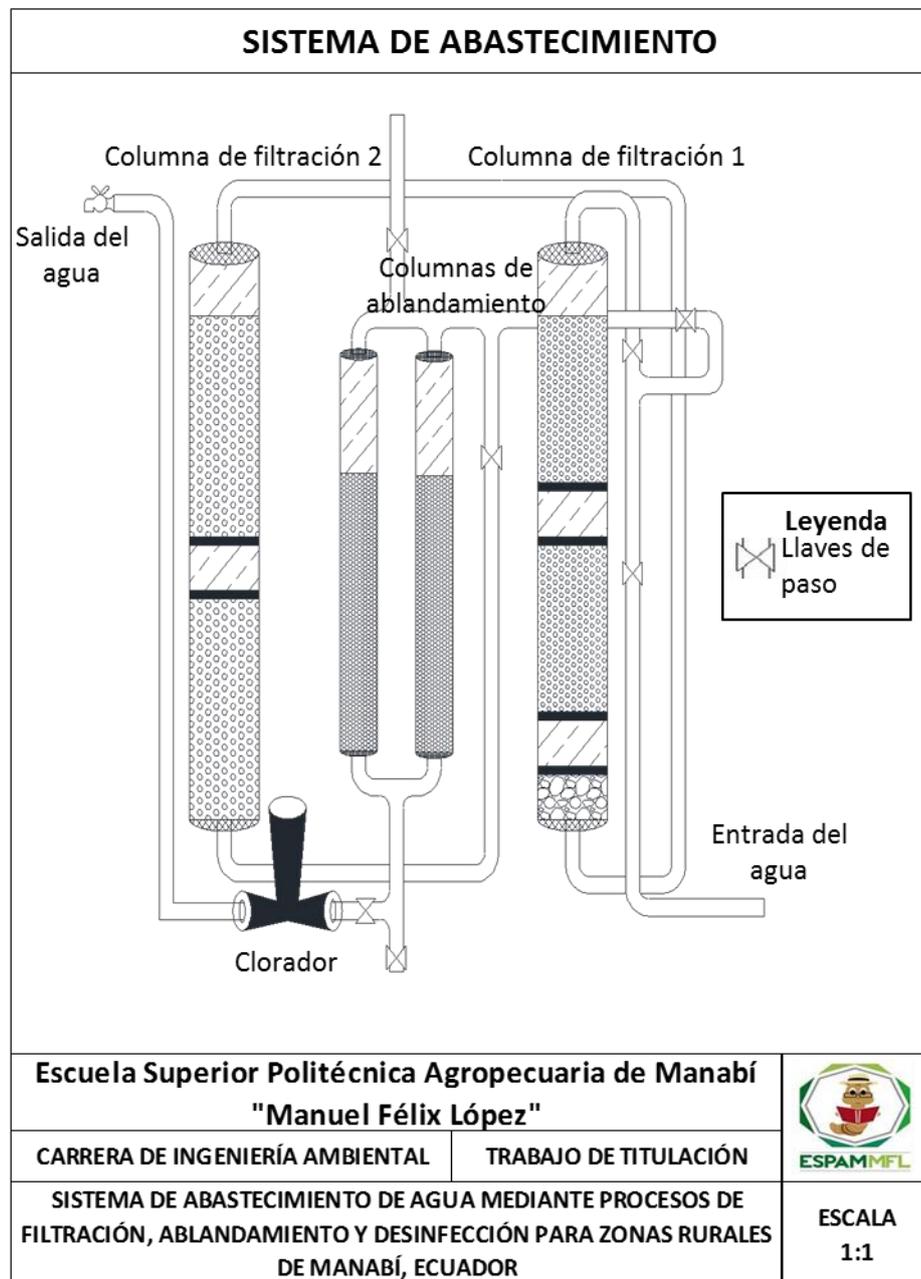


Figura 4. 1. Diseño del sistema de abastecimiento de agua propuesto por (Mendoza y Saltos, 2018).

4.2.1. CÁLCULO DE LA COLUMNA DE FILTRACIÓN CON GRAVA GRUESA Y ZEOLITA

El tamaño de la grava gruesa que se empleó fue de 1,2 cm.

El tamaño de la zeolita fue de 3-4 mm, malla 4 (abertura de 4,76 mm) (Anexo 2).

a) Cálculo del área lateral del filtro

$$Al = 2\pi * 7,5 \text{ cm} * 100 \text{ cm}$$

$$Al = 4712,4 \text{ cm}^2 \div 1000 = 4,7124 \text{ m}^2$$

b) Cálculo del área de la base del filtro

$$Ab = \pi * (7,5 \text{ cm})^2$$

$$Ab = 176,715 \text{ cm}^2 \div 1000 = 0,1767 \text{ m}^2$$

c) Cálculo del área total del filtro

$$At = 2(176,715 \text{ cm}^2 + 4712,4 \text{ cm}^2)$$

$$At = 9778,23 \text{ cm}^2 \div 1000 = 9,77 \text{ m}^2$$

d) Cálculo del volumen del filtro

$$vf = 176,715 \text{ cm}^2 * 100 \text{ cm}$$

$$vf = 17671,5 \text{ cm}^3 \div 100000 = 0,1767 \text{ m}^3$$

e) Cálculo del caudal del filtro

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{119 \text{ s}} = 0,168 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{605 \text{ l}}{\text{h}}$$

f) Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica del filtro

$$TRH = \frac{20 \text{ l}}{0,17 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 119 \text{ s} \cong 1 \text{ min } 19 \text{ s}$$

4.2.2. CÁLCULO DE LAS COLUMNAS DE FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

El tamaño del carbón activado fue de 2-5 mm (Anexo 3).

a) Cálculo del área lateral del filtro

$$Al = 2\pi * 7,5 \text{ cm} * 100 \text{ cm}$$

$$Al = 4712,4 \text{ cm}^2 \div 1000 = 4,7124 \text{ m}^2$$

b) Cálculo del área de la base del filtro

$$Ab = \pi * (7,5 \text{ cm})^2$$

$$Ab = 176,715 \text{ cm}^2 \div 1000 = 0,1767 \text{ m}^2$$

c) Cálculo del área total del filtro

$$At = 2(176,715 \text{ cm}^2 + 4712,4 \text{ cm}^2)$$

$$At = 9778,23 \text{ cm}^2 \div 1000 = 9,77 \text{ m}^2$$

d) Cálculo del volumen del filtro

$$vf = 176,715 \text{ cm}^2 * 100 \text{ cm}$$

$$vf = 17671,5 \text{ cm}^3 \div 100000 = 0,1767 \text{ m}^3$$

e) Cálculo del caudal del filtro

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{148 \text{ s}} = 0,13 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{486 \text{ l}}{\text{h}}$$

f) Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica del filtro

$$TRH = \frac{20 \text{ l}}{0,13 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 153 \text{ s} \cong 2 \text{ min } 33 \text{ s}$$

4.2.3. CÁLCULO DE LAS COLUMNAS DE ABLANDAMIENTO

La resina catiónica que se empleó fue RESIN TECH CG8 de poliestireno, de alta calidad, con una regeneración 10 -15% de NaCl y estabilidad física superior de 93% más de esfericidad y altas resistencias al aplastamiento (Anexo 4).

a) Cálculo del área lateral de los ablandadores

$$Al = 2\pi * 4 \text{ cm} * 70 \text{ cm}$$

$$Al = 1759,29 \text{ cm}^2 \div 1000 = 1,759 \text{ m}^2$$

b) Cálculo del área de la base de los ablandadores

$$Ab = \pi * (4 \text{ cm})^2$$

$$Ab = 50,26 \text{ cm}^2 \div 1000 = 0,0502 \text{ m}^2$$

c) Cálculo del área total de los ablandadores

$$At = 2(50,26 \text{ cm}^2 + 1759,29 \text{ cm}^2)$$

$$At = 3619,1 \text{ cm}^2 \div 1000 = 3,619 \text{ m}^2$$

d) Cálculo del volumen de los ablandadores

$$va = 50,26 \text{ cm}^2 * 100 \text{ cm}$$

$$va = 5026 \text{ cm}^3 \div 100000 = 0,05026 \text{ m}^3$$

e) Cálculo del caudal de los ablandadores

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{150 \text{ s}} = 0,13 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ h}} = \frac{480 \text{ l}}{\text{h}}$$

f) Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{20 \text{ l}}{0,13 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 150 \text{ s}$$

g) Cálculo de resina catiónica

$$FC = \frac{1 \text{ grano } CaCO_3}{1 \text{ galón}}$$

$$FC = \frac{0,0001428 \text{ lb} * 1000000}{8,33 \text{ lb}} = 17,1 \text{ } CaCO_3$$

FC= Factor de conversión

Para dejarlo a 0 mg/l $CaCO_3$

$$\frac{300 \frac{mg}{l} CaCO_3}{17,1 CaCO_3} = 17,54 \text{ granos/galón}$$

$$\frac{1,10 \text{ granos}}{3,75 \text{ l}} * \frac{0,75 \text{ l}}{\text{min}} = 0,22 \text{ granos/min}$$

$$8 \text{ lb} * 453 \frac{g}{lb} = 3624 \text{ g/lb}$$

$$3624 \text{ g} * \frac{\text{min}}{0,22 \text{ g}} = 16472,7 \text{ min}$$

$$16472,7 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} = 11 \text{ d}$$

h) Desgaste de resina

Después de cada ciclo, en el lecho de resina debe realizarse un lavado con corriente de agua para eliminar cualquier materia extraña por un período de aproximadamente 7 minutos.

Cuadro 4. 8. Desgaste de resina.

DESGASTE DE RESINA	2 h (720 l)	4 h (1440 l)	6 h (2880)	8 h (5760 l)	10 h (11520 l)
Dureza cálcica	0	50	110	110	120
Dureza magnésica	0	50	110	130	140
Dureza total	0	100	220	240	260

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

DESGASTE DE RESINA CATIONICA

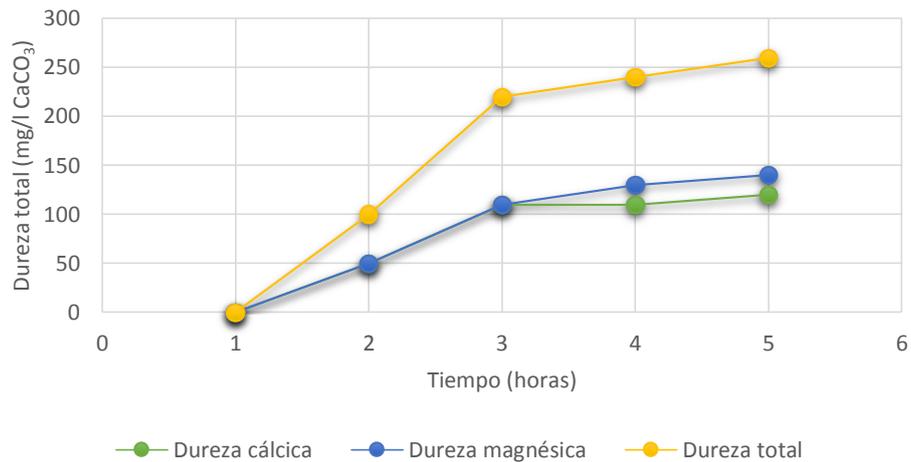


Gráfico 4. 1. Tiempo de desgaste de resina.

4.2.4. CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DEL CLORO

Se aplicó media pastilla de hipoclorito de calcio con una abertura de válvula de 1/8 in para que dosifique 2,5 mg/l que es la dosis óptima que recomienda (OMS, 2009) para que se eliminen todos los microorganismos, de tal manera que sobre de 0,3 a 0,5 mg/l de cloro residual en el abastecimiento de agua en caso de combatir una futura contaminación.

a) Cálculo del caudal del clorador

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{55 \text{ s}} = 0,36 \frac{\text{ l}}{\text{ s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{1309 \text{ l}}{\text{ h}}$$

b) Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica del clorador

$$TRH = \frac{20 \text{ l}}{0,36 \frac{\text{ l}}{\text{ s}}} = 55 \text{ s}$$

4.2.5. CÁLCULO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

a) Cálculo del caudal total

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{200 \text{ s}} = 0,1 \frac{\text{ l}}{\text{ s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{360 \text{ l}}{\text{ h}}$$

b) Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica total

$$TRH = \frac{20 \text{ l}}{0,1 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 200 \text{ s}$$

Cuadro 4. 9. Caudal y tiempo de retención hidráulica del sistema de abastecimiento.

Medición de caudal	TRH	Caudal en l/h	Caudal l/d	Caudal m ³ /d
Filtro de grava gruesa y zeolita	1 min 59 s	605	14520	14,52
Filtro de carbón activado	2 min 33 s	486	11664	11,664
Ablandadores con resina catiónica	2 min 30 s	480	11520	11,52
Clorador	55 seg	1309	31416	31,416
Sistema de abastecimiento	3 min 20 s	360	8640	8,64

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Una vez diseñado y construido el sistema, se realizaron análisis del agua de pozo somero y de río inicial y tratada para determinar la eficiencia del sistema (Cuadro 4.10.).

Cuadro 4. 10. Tratamiento del agua de pozo somero.

Parámetro	Unidad	LMP	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4		Muestreo 5	
			Entrada	Salida								
Turbidez	NTU	5	5	<1	2	<1	2	<1	2	<1	2	<1
SDT	mg/l	1000	269	256	537	205	550	218	499	224	544	230
Cloro residual libre	mg/l	0,3 a 1,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5
Cloruros	mg/l	250	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
pH	Adimensional	6,5-8,5	6,4	6,7	6,7	6,7	7,2	7,2	7,2	7,1	6,5	6,8
Dureza total	mg/l CaCO ₃	300	370	0	360	0	340	0	310	0	270	0
Coliformes totales	NMP/100 ml	<2	230	<2	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

El agua de pozo somero previo al tratamiento presentó una concentración máxima de 5 NTU de turbidez, tratada llegó a valores por debajo de los 1 NTU; los SDT (sólidos disueltos totales) se mantuvieron por debajo de los LMP en todo momento; el cloro residual libre llegó a tener la dosis óptima, puesto que según lo establece la (OMS, 2009), después del tratamiento lo ideal es que sobren de 0,3 a 0,5 mg/l de cloro residual en el abastecimiento de agua en caso de combatir una futura contaminación; el pH no estaba en condiciones óptimas, sin embargo, tratada el agua de pozo llegó a estar entre los rangos ideales; la dureza se encontró en concentraciones altas y es que ésta se refleja más en aguas subterráneas, que en aguas superficiales, puesto que por lo general éstas arrastran más minerales como calcio y magnesio aumentando la dureza según lo manifiesta (Pérez López, 2016); y, finalmente los coliformes totales se encontraron en 230 NMP/100 ml sobrepasando los LMP, sin embargo con el sistema de tratamiento se logró llegar a valores por debajo de los 2 NMP/100 ml.

Cuadro 4. 11. Tratamiento de agua de río.

Parámetro	Unidad	LMP	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4		Muestreo 5	
			Entrada	Salida								
Turbidez	NTU	5	8	<1	12	<1	10	<1	12	<1	17	<1
SDT	mg/l	1000	211	205	256	210	250	213	256	208	237	200
Cloro residual libre	mg/l	0,3 a 1,5	0,3	0,8	0,2	0,7	0,3	0,8	0,3	0,8	0,2	0,8
Cloruros	mg/l	250	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
pH	Adimensional	6,5-8,5	7,07	7,04	7,08	7,06	7,2	7,1	6,95	6,89	7,1	7,1
Dureza total	mg/l CaCO ₃	300	190	0	130	0	150	0	140	0	150	0
Coliformes totales	NMP/100 ml	<2	3000	<2	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

El agua del río previo al tratamiento presentó una concentración máxima de 17 NTU de turbidez, tratada llegó a valores por debajo de los 1 NTU; los SDT se mantuvieron por debajo de los LMP en todo momento; el río contenía cloro residual libre pero en bajas concentraciones probablemente por las actividades cotidianas que realizan en él, sin embargo, con el tratamiento, se logró estimar la dosis óptima; el pH y la dureza sí se encontraron en óptimas concentraciones pero finalmente los coliformes totales se encontraron en 3000 NMP/100 ml sobrepasando los LMP y con el sistema de tratamiento se logró llegar a valores por debajo de los 2 NMP/100 ml.

a) TRATAMIENTO DE AGUA DE POZO

EFICIENCIA FILTRACIÓN

$$\% \text{ Remoción de turbidez} = \frac{2,6-0,1}{2,6} * 100 = 96,15\%$$

$$\% \text{ Remoción de SDT} = \frac{479,8-226,6}{479,8} * 100 = 52,77\%$$

$$\% \text{ Remoción de SS} = \frac{142-108}{142} * 100 = 23,94\%$$

$$\% \text{ Remoción de ST} = \frac{446-108}{446} * 100 = 75,78\%$$

EFICIENCIA ABLANDAMIENTO

$$\% \text{ Remoción de dureza} = \frac{330-0,1}{330} * 100 = 99,69\%$$

EFICIENCIA DESINFECCIÓN

$$\% \text{ Remoción de coliformes totales} = \frac{230-0,1}{230} * 100 = 99,95\%$$

b) TRATAMIENTO DE AGUA DE RÍO

EFICIENCIA FILTRACIÓN

$$\% \text{ Remoción de turbidez} = \frac{11,8-0,1}{11,8} * 100 = 91,52\%$$

$$\% \text{ Remoción de SDT} = \frac{242-207,2}{242} * 100 = 14,38\%$$

$$\% \text{ Remoción de SS} = \frac{258-74}{258} * 100 = 71,31\%$$

$$\% \text{ Remoción de ST} = \frac{438-138}{438} * 100 = 68,49\%$$

EFICIENCIA ABLANDAMIENTO

$$\% \text{ Remoción de dureza total} = \frac{152-0,1}{152} * 100 = 99,99\%$$

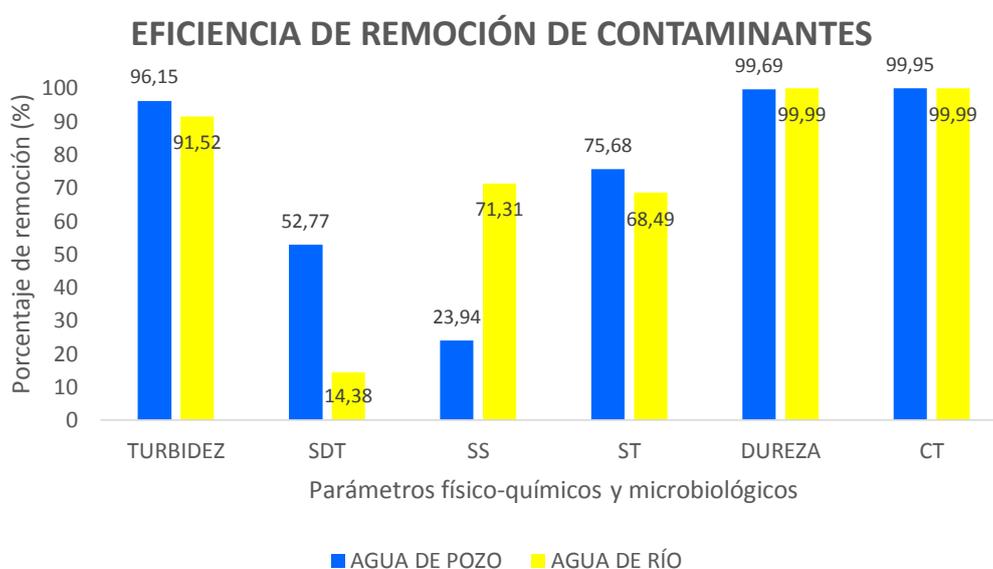
EFICIENCIA DESINFECCIÓN

$$\% \text{ Remoción de coliformes totales} = \frac{3000-0,2}{3000} * 100 = 99,99\%$$

Cuadro 4. 12. Eficiencia del sistema de abastecimiento de agua.

PROCESO	PARÁMETRO	EFICIENCIA	
		(P)	(R)
FILTRACIÓN	Turbidez	96,15%	91,52%
	SDT	52,77%	14,38%
	SS	23,94%	71,31%
	ST	75,7%	68,49%
ABLANDAMIENTO	Dureza total	99,69%	99,99%
DESINFECCIÓN	Coliformes totales	99,95%	99,99%

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

**Gráfico 4. 2.** Eficiencia de remoción de contaminantes del sistema de abastecimiento de agua.

El sistema de abastecimiento es eficiente puesto que se removieron en el agua de pozo 87,14% de contaminantes, más que en el agua de río, en el que la remoción fue de 76,47%, porque el agua de pozo previo al tratamiento se encontró menos contaminada (bajas concentraciones de turbidez y menor presencia de coliformes totales en relación con el agua de río).

Se redujeron las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos (SS) y sólidos totales (ST), y la dureza junto con los coliformes totales (CT), que eran parámetros con mayores concentraciones, lograron estar por debajo de los LMP establecidos en la Norma, siendo un sistema eficaz para la obtención de agua apta para el consumo humano.

4.3. ESTIMACIÓN DEL COSTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.

Se estimó el costo del sistema de abastecimiento a través del método “Costo de producción” de (Vinza, 2012), en donde se calculó la materia prima, la mano de obra directa y el gasto de producción, teniendo un total de:

$$CP = \$574,85 + \$234,86 + \$100$$

$$CP = \$909,71$$

Cuadro 4. 13. Costo de producción.

COSTOS	
RECURSOS MATERIALES	
ETAPA	VALOR TOTAL
Captación del agua	\$ 148,05
Filtración del agua	\$ 177,50
Ablandamiento del agua	\$ 160,70
Desinfección del agua	\$ 88,60
TOTAL	\$ 574,85
GASTOS	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	
Toda la fase de elaboración de sistema	\$ 18,96
TOTAL	\$ 18,96
GASTOS OPERATIVOS	
Toda la fase de elaboración de sistema	\$ 55,00
TOTAL	\$ 55,00
OTROS GASTOS FUERA DE FASES DE CONSTRUCCION DE SISTEMA	
Toda la fase de elaboración de sistema	\$ 160,90
TOTAL	\$ 160,90
INVERSIÓN TOTAL	\$ 809,71

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Cuadro 4. 14. Costo de inversión.

COSTO DE INVERSIÓN	CONSTRUCCÓN	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
Costo de construcción	\$ 574,85	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Gastos de construcción	\$ 234,86	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
GASTO DE MANTENIMIENTO													
Activación de resina mensual	\$ 0	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Mantenimiento de filtros semestral	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 20,00	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 20,00
TOTAL MES	\$ 809,71	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 25,00	\$ 5,00	\$ 25,00				
TOTAL ANUAL		\$ 909,71											

Fuente: (Mendoza y Saltos, 2018).

Finalmente se elaboró el Manual de Uso del Sistema de Abastecimiento de Agua para zonas rurales, en el cual se detallaron los procesos con los que consta el sistema, el funcionamiento, mantenimiento, revisión y vida útil del sistema (Anexo 11).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se analizaron dos tipos de fuentes de captación de agua más accesibles en la zona rural, pozo y de río, en el cual se encontró que en la época lluviosa existe más concentración de contaminantes, datos que sirvieron para diseñar el sistema de abastecimiento; los análisis fueron comparados con el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental, en la cual se obtuvo que los coliformes totales en ambas fuentes estuvieron por encima de los límites máximos permisibles, evidenciándose de esta manera, que estas aguas no son aptas para el consumo humano y por ende necesitan de un tratamiento previo.
- El sistema de abastecimiento estuvo compuesto por medios filtrantes como grava gruesa, zeolita y carbón activado, por resina catiónica como ablandador de aguas y clorador como método de desinfección universal, obteniéndose un caudal de 8,64 m³/d con un TRH en 20 l de 3 min 20 s, además, se realizaron análisis a las aguas tratadas y se compararon con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 teniéndose que las aguas de pozo y de río tratadas cumplen con los requisitos de potabilidad, funcionando el sistema con un 87,14% de eficiencia en agua de pozo, 76,47% en agua de río y total eficacia con los objetivos propuestos.
- La inversión fue de \$809,71 USD y los gastos de mantenimiento anuales de \$100 USD, obteniéndose un total de costo de producción de \$909,71 USD, siendo viable para implementarlo en zonas rurales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Emplear recipientes esterilizados para evitar variaciones en las muestras de agua durante el proceso de monitoreo.
- Dar mantenimiento semanal a la resina catiónica, mantenimiento semestral a los filtros de grava gruesa y zeolita y a los de carbón

activado o cuando aumente considerablemente la presión y realizar análisis a cada lugar que sea trasladado.

- Realizar estudios sobre automatización del sistema, en el caso de tener mayor presupuesto para el abastecimiento de líquido vital en zonas rurales sin que la población tenga la necesidad de manipular el equipo constantemente.
- Para temporada invernal es recomendable el uso de un sistema UV, puesto que la turbidez, sólidos suspendidos y coliformes totales, aumentan considerablemente.

BIBLIOGRAFÍA

- Aristegui, J. (Abril de 2016). Obtenido de Cómo funciona una red de abastecimiento de agua potable: <https://www.aristegui.info/>
- ARQHYS. (2012). Sistema de abastecimiento de agua. ARQHYS. Obtenido de <https://www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.html>.
- Avellaneda, L. M. (2018). Diseño, propuesta e implementacion de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la poblacion del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima. Obtenido de <https://www.docsity.com/es/filtro-de-arena-para-filtrar-agua/4153175/>
- Ávila García, P. (2010). Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1a ed. Obtenido de <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1624?show=full>
- Barahona, M., & Tapia, R. (Noviembre de 2010). Calidad y tratabilidad de aguas provenientes de rios de llanura y embalses eutrofizados, caso de estudio: Carrizal - Chone La Esperanza. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Barrenechea Martel, A. (2005). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Bobadilla, F. (2016). Modelado del índice de calidad del agua del río Daule en el sector de La Toma, utilizando VBA. Obtenido de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12879/1/TESIS%20MGA%20003_FELIX%20BOBADILLLA_FINAL%20Corregido.pdf
- Buelta Serrano, A., & Martínez, R. (2015). Guía básica de control de calidad de agua. Madrid, España: ONGAWA. Obtenido de <https://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2015/09/Agua-CAS-revisar2.pdf>

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2014). Sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades. Obtenido de <https://www.ircwash.org/sites/default/files/201-88SI-6153.pdf>
- Cerezo, C. (30 de Marzo de 2009). Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano. Guatemala. Obtenido de <http://sysaguatemala.com/wp-content/uploads/2016/06/Acuerdo-Ministerial-1148-09.pdf>
- Chaucachicaiza, A., & Orozo, L. (2012). Diseño e implementación de un sistema automatizado para la dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable en la comunidad San Vicente De Lacas. Riobamba, Ecuador.
- Chuchón, S., & Aybar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta zde tratamiento de aguas residuales "La Totorá", Ayacucho, Perú. *Ecología Aplicada*, 166.
- Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria. (2015). Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria. Obtenido de Instructivo para la toma de muestra de agua para análisis microbiológicos, físico-químicos y contaminantes.: www.ciatl.org
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Título II. Capítulo segundo. Sección primera y segunda. 24.
- Córdova Guambo, L. A. (2015). La evacuación de las aguas servidas y su incidencia en la salubridad de los habitantes del barrio la merced de la parroquia juan benigno vela del cantón Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10330>
- Cortijo, D. (2013). Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (REDALYC)*, 165-171.

- El Diario . (2012). 47,98% de hogares no tiene el agua potable. Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/245804-4798-de-hogares-no-tiene-el-agua-potable/>
- Empresa Pública Municipal Mancomunada de Agua Potable, Alcantarillado y Servicio Integral del Manejo de Residuos Sólidos, Urbanos y Rurales. (2016). Obtenido de <http://emaarsep.gob.ec>
- Ente Provincial del Agua y de Saneamiento Gobierno de Mendoza. (2014). Secretaría de Servicios Públicos EPAS . Obtenido de <http://www.epas.mendoza.gov.ar/index.php/sistema-sanitario/agua-potable>
- Environmental Protection Agency. (2018). In-depth Studies on Health and Environmental Impacts of Selected Water Pollutants. Obtenido de https://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do?matchCriteria=Contains&checkedTerm=on&checkedAcronym=on&search=Search&term=Turbidity
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170 . Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- FUNIBER. (2011). Programa Máster en Gestión Integrada. I. Barcelona, España.
- Håkanson, L. (2004). Internal loading: A new solution to an old problem in aquatic sciences. *Lakes & Reservoirs*(9 (1)), 3-21. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2004.00230.x>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2014). Introducción a la hidrogeología del Ecuador. (N. Burbano, S. Becerra, & E. Pasquel, Edits.)
- INEN 1108. (2006-2014). Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 1108. Obtenido de <http://www.pudeleco.com>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Calidad de agua – determinacion de cloruros. Titulación con nitrato de plata, indicador

cromato (Metodo Mohr's) (IDT). Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec>

Kulkarni, A. (2011). Water Quality Retrieval from Landsat TM Imagery. *Science Direct*, 475-480. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.088>

Larrea Murrell, J. A., Rojas Badía, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernández, N. M., & Hedrich Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC*, 44(3), 24-34. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>

Larrea, C. (2015). Aplicación de un filtro de zeolita para potabilización del agua nivel domiciliario, sitio Palestina, cantón El Guabo, provincia El Oro. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3120/1/TESISPORCENTAJE20-PORCENTAJE20JONATHANPORCENTAJE20LARREA.PDF>

López Hernández, E., Martínez Nava, J. G., & García Santiago, J. L. (2014). Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).

Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. En Libro Vi Anexo 1 Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes : Recurso Agua. Ecuador. Obtenido de extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf

Martínez Bayas, J. R., & Idrobo Jaya, M. G. (2012). Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento. Riobamba, Chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec>

Martínez, R., & Buelta, A. (2015). Guía Básica de Control de Calidad de Agua. Obtenido de <https://ongawa.org/publicaciones/guia-basica-de-control-de-calidad-de-agua/>

Mejía, C. A. (2007). Indicadores de efectividad y eficacia. Obtenido de <http://www.ceppia.com.co/Herramientas/INDICADORES/Indicadores-efectividad-eficacia.pdf>

- Ministerio del Ambiente Ecuador. (2015). Acuerdo No. 061: Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- Navarro Pérez, Á. A., Padilla Bejarano, J. B., & Prías Barragán, J. J. (2013). Construcción de un Sistema de Instrumentación para la Medición de la Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto presentes en la Piscicultura. *Scientia et Technica* Año XVIII, 18(2). Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929153017>
- Neira Gutiérrez, M. A. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable (3 ed., Vol. 1). Obtenido de <http://www.who.int>
- Organización Mundial de la Salud. (Mayo de 2009). Obtenido de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). OMS. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). Guía para la selección de sistema de desinfección. Lima.
- Orjuela Orjuela, L. C., & López Castro, M. O. (2013). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co>
- Pérez Garrido, C., León Rodríguez, F. M., & Delgadillo García, G. R. (2013). Asesorías Cuautitlan. Obtenido de <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx>

- Pérez López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14. doi:10.18845/tm.v29i3.2884
- Ramírez Flores, E., Robles Valderrama, E., Ayala Patiño, R., & Martínez Rodríguez, B. (2012). Calidad amebológica del agua de pozos utilizados para suministro de agua potable en el Estado de Hidalgo. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, 16(3), 219-228.
- Rivera, B. (2014). La calidad del agua E. coli y su salud. 2. Obtenido de <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Robredo, R. (2014). Importancia de la medida de Turbidez en inundaciones y lluvias torrenciales. HANN Instruments.
- Rodríguez Momroy, J., & Durán de Bazúa, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 21(1), 25-33.
- Romero, G. (2014). Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta. 10. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- Ruiz Martínez, A. I., & Coronado Coronel, M. Y. (2017). Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector Chuina, Morales-San Martín-2015. Obtenido de revistascientificas.upeu.edu.pe
- Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Revistas Científicas de la Universidad de la Costa CUC*, 17(1), 29-48. Obtenido de https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/1527/pdf_84

- Salas, R., Torres, D., Reyes, P., & García, C. (2016). Efectividad de las resinas de intercambio iónico para la eliminación de hierro en aguas subterráneas. *Revista Estudiantil URU*, 39.
- Sánchez, J. A., Álvarez, T., Pacheco, J., Carrillo, L., & González, R. A. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 75-96. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/3535/353549828005/>
- Saravia, F., González, S., Albornoz, C., & Calvo, F. (2017). Evaluación del Ambiente Urbano. Buenos Aires: Consejo Económico y Social de la Ciudad de Buenos Aires. Obtenido de <http://bdigital.cesba.gob.ar/bitstream/handle/123456789/442/INFORME%20UP%20DIGITAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Secretaria Nacional de Plan y Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Obtenido de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Serrano Ceballos, J., Granados Torres, J. M., & Avendaño González, E. A. (2017). Equidad y desarrollo humano sobre la base del acceso al agua. *Méd. Electrón.*, 39(1). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1684-18242017000700006
- Severiche Sierra, C. A., Acevedo Barrios, R. L., & Jaime Morales, J. D. (2015). Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco-Bolívar, norte de Colombia. (A. K. Petro Niebles, & T. Wees Martínez, Edits.) Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282493297_Calidad_del_agua_para_consumo_humano_municipio_de_Turbaco-Bolivar_norte_de_Colombia
- TESACUA S.L. (2015). Obtenido de Filtración por carbón activado: carbón activado adsorción:

http://www.tesacua.es/index_htm_files/Filtracion%20por%20Carbon%20Activado.pdf

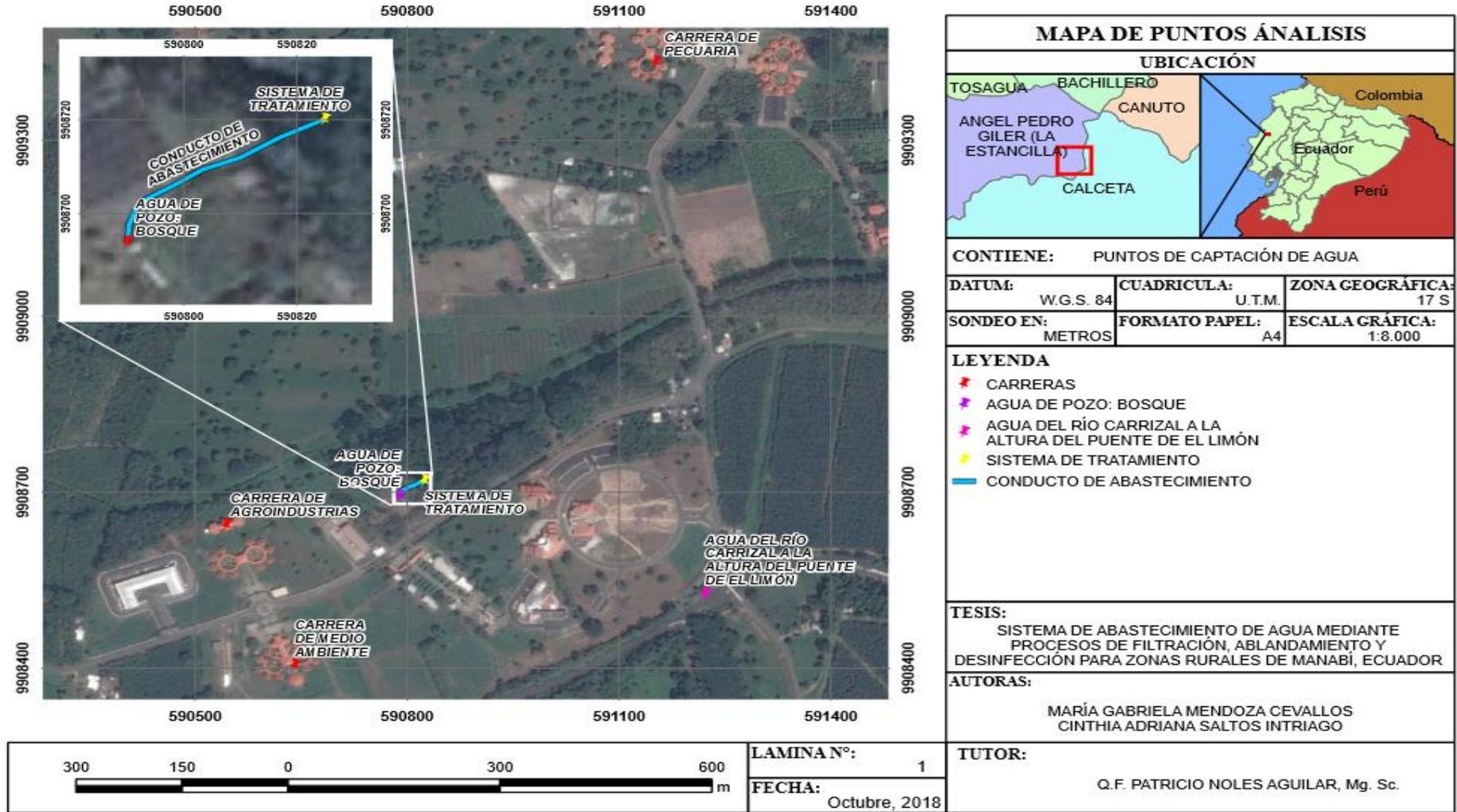
TESACUA S.L. (2015). Obtenido de Intercambio Iónico:
http://www.tesacua.com/index_htm_files/Principios%20basicos%20del%20Intercambio%20Ionico.pdf

Universidad Nacional de Costa Rica. (2013). Informe de la Calidad de las Aguas Superficiales. Obtenido de <https://www.msj.go.cr>

Vinza. (2012). Método de costo de producción. Obtenido de www.epistemus.uson.mx

ANEXOS

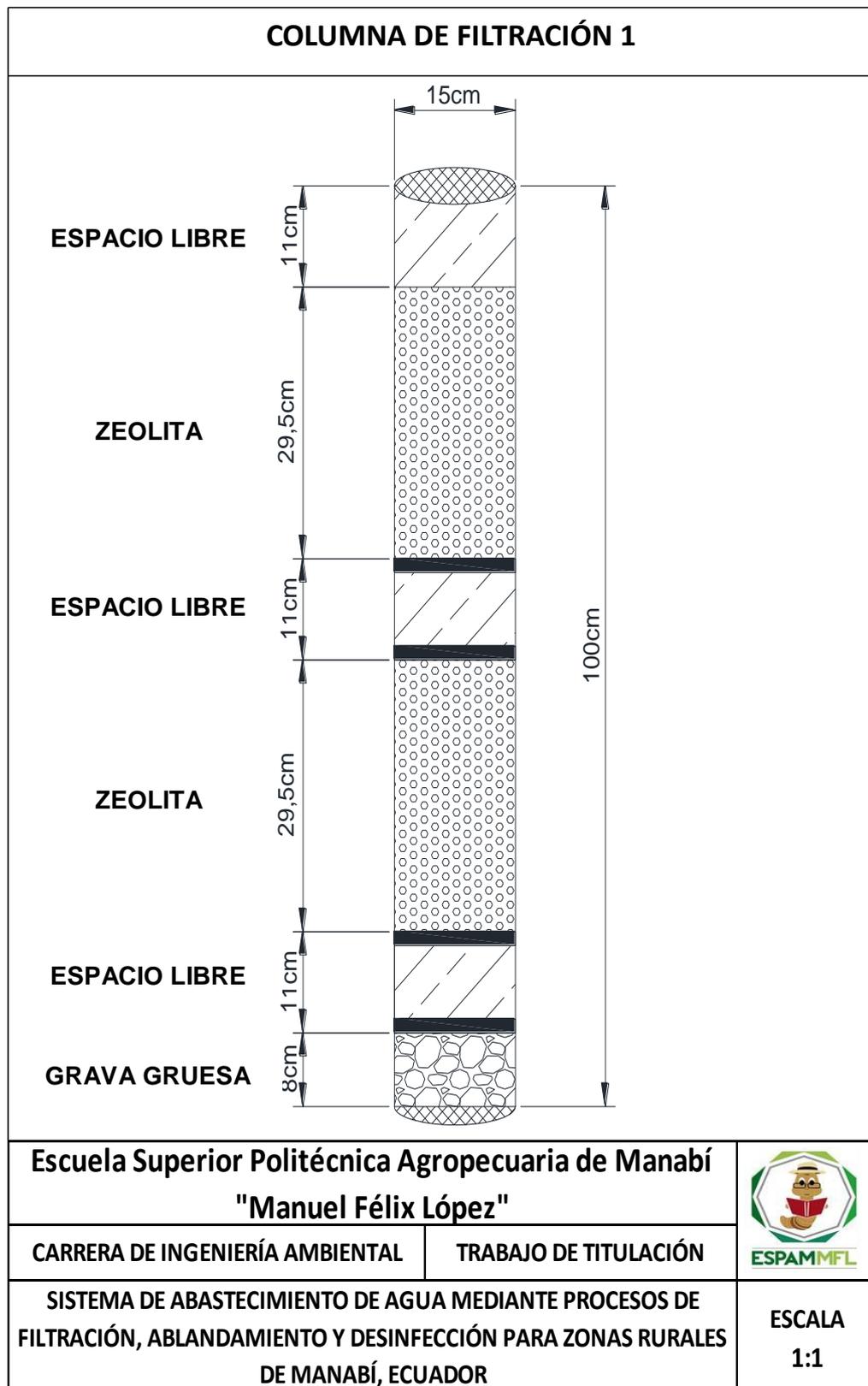
Anexo 1. Puntos de captación de muestras de agua en la ESPAM MFL, sitio “El Limón”.



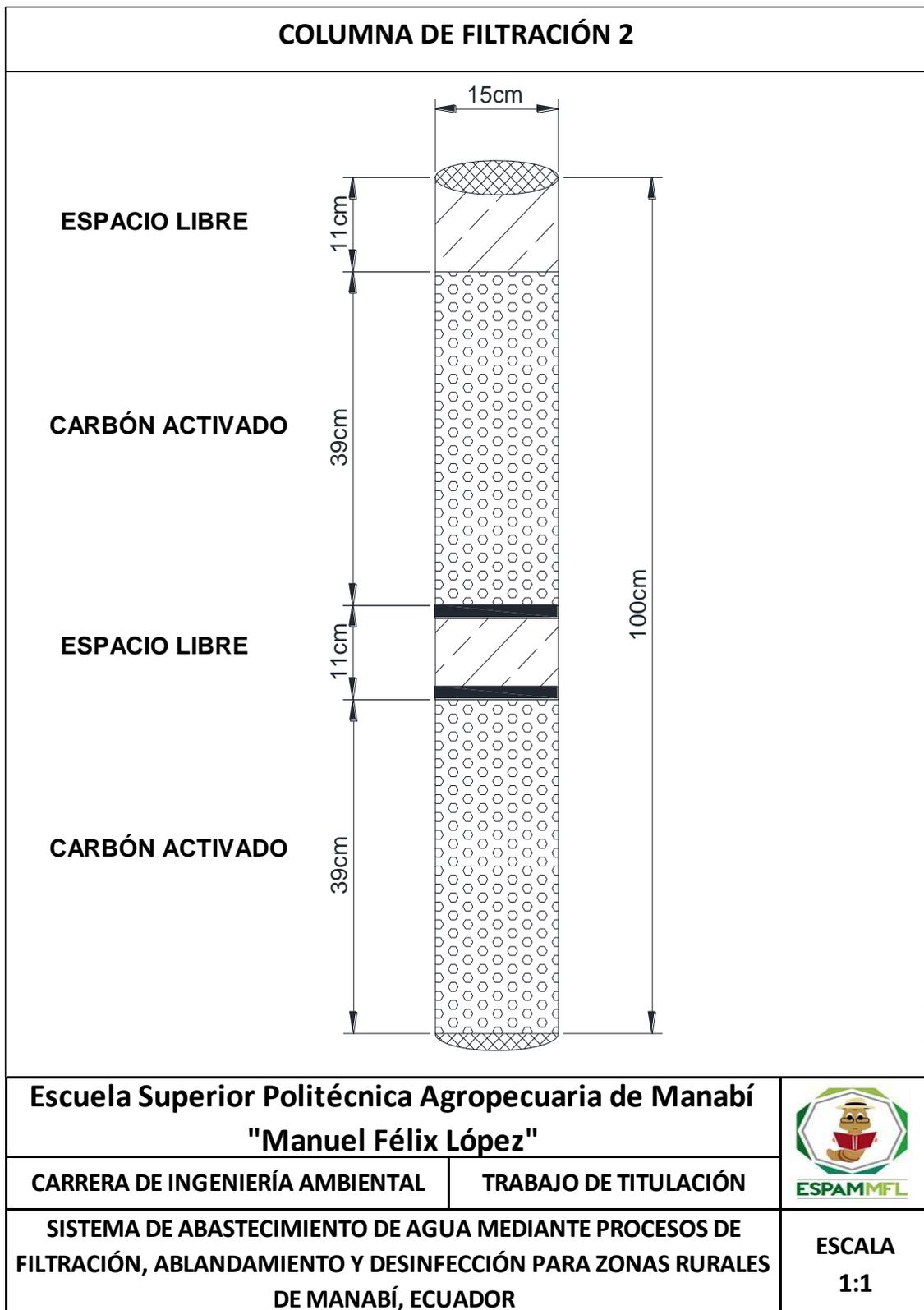
Anexo 2. Georreferenciación de los puntos de muestreo.**Anexo 3.** Recolección de muestras de agua de pozo y de río.

Anexo 4. Análisis físico-químicos y microbiológicos.**Anexo 5. Tamizado, limpieza y relleno de materiales a emplear.**

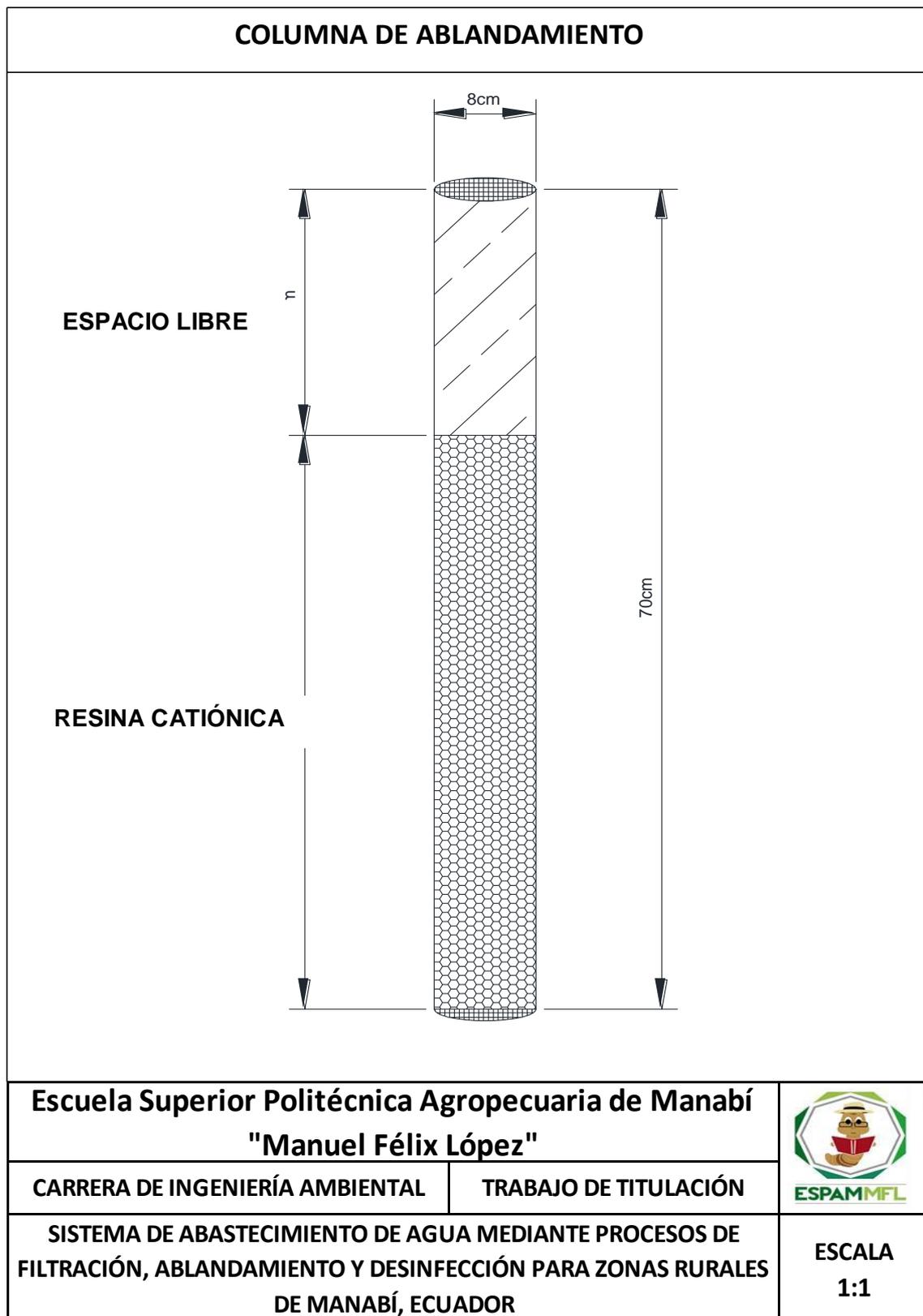
Anexo 6. Columna de filtración con grava gruesa y zeolita.



Anexo 7. Columna de filtración con carbón activado.



Anexo 8. Columna de ablandamiento.



Anexo 9. Conexión de bomba.**Anexo 10. Prueba del sistema de abastecimiento de agua.**

Anexo 11. Manual para uso del Sistema de Abastecimiento de agua.

MANUAL DE SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE PROCESOS DE FILTRACIÓN, ABLANDAMIENTO Y DESINFECCIÓN PARA ZONAS RURALES DE MANABÍ, ECUADOR



Elaborado por: Mendoza y Saltos, 2018.

INTRODUCCIÓN

Desde inicios de la civilización humana, el hombre se ha establecido cerca de fuentes de agua por la disponibilidad de cierta cantidad para su bebida y uso doméstico, sin embargo, este hecho no implica que la fuente tenga suficiente capacidad ni sea de buena calidad.

Los abastecimientos de aguas seguras, accesibles y con tratamientos adecuados, son necesidades básicas y componentes esenciales de la atención primaria de salud, puesto que reducen enfermedades que afectan principalmente a las poblaciones rurales.

Con estudios previos realizados, se ha determinado que las fuentes de aguas superficiales y subterráneas no son aptas al ser comparadas con los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su desinfección, estipulados en el Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria Ecuatoriana.

Sin embargo, el sistema de abastecimiento con procesos de filtración, ablandamiento y desinfección diseñado para poblaciones rurales, permite eliminar los niveles de turbidez y sustancias perjudiciales para la salud, además, filtra las partículas disueltas y mejora la composición causante de los olores y sabores de una fuente de agua cumpliendo con los requisitos de agua potable de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108.



DATOS IMPORTANTES

Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2010):

- Cada año mueren más personas por enfermedades relacionadas con el agua contaminada que por cualquier forma de violencia, incluidas las guerras.
- Anualmente, fallecen 1,8 millones de niños menores de cinco años por esta causa, uno cada 20 segundos.
- Las víctimas de estas dolencias ocupan la mitad de las camas de los hospitales de todo el mundo.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018):

- 844 millones de personas carecen de agua potable.
- 263 millones de personas viajan para recoger agua de fuentes lejanas a su hogar.
- 159 millones emplean agua superficial.
- 423 millones se abastecen de agua proveniente de pozos o manantiales.
- De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. La reutilización de las aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante.

BENEFICIOS

- Cuando el agua procede de fuentes de abastecimiento mejoradas y más accesibles, las personas gastan menos tiempo y esfuerzos en recogerla físicamente, lo que significa que pueden ser productivos en otras esferas. Esto también puede redundar en una mayor seguridad personal, puesto que reduce la necesidad de hacer viajes largos o peligrosos para recoger agua.



- La mejora de las fuentes de abastecimiento de agua también conlleva la reducción del gasto sanitario, debido a que las personas tienen menos probabilidades de enfermarse y de incurrir en gastos médicos y están en mejores condiciones de permanecer económicamente productivas.
- Dado que los niños corren especial riesgo de contraer enfermedades relacionadas con el agua, el acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua puede tener como resultado un ahorro del tiempo que pasan recogiendo agua y una mejora de su salud y, por lo tanto, un mayor índice de asistencia a la escuela, con las consecuencias positivas a largo plazo para sus vidas que ello conlleva.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un manual para las personas o grupos comprometidos en la Operación y Mantenimiento del Sistema de Abastecimiento de Agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detallar el funcionamiento del Sistema de Abastecimiento de agua.
- Establecer los procedimientos para su operación y mantenimiento periódico.

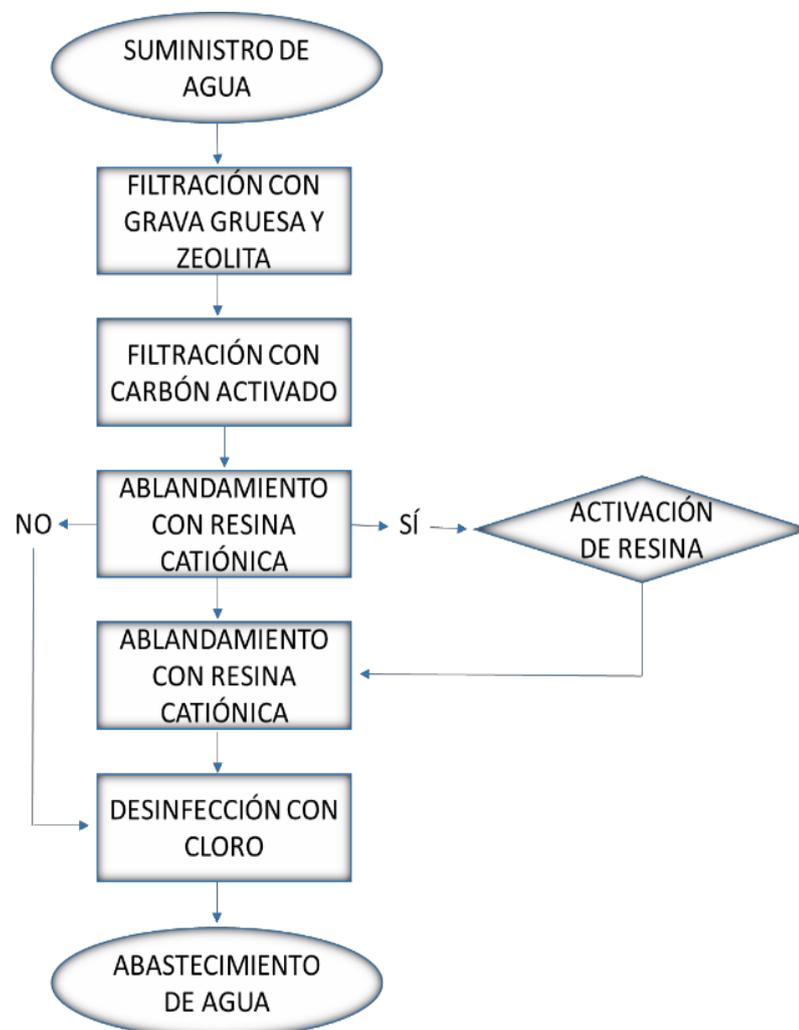
TÉRMINOS BÁSICOS

- **Impureza del agua:** El agua está contaminada cuando tiene la presencia de organismos extraños y cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su uso en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Rodríguez Momroy y Durán de Bazúa, 2006) y/o defensa de la vida acuática o al ambiente general, debiendo ser tratada si se requiere para el consumo humano, caso contrario, la población en general sufriría graves enfermedades (Salamanca, 2016).
- **Tratamiento de agua:** Conjunto de operaciones unitarias, físicas, químicas y biológicas que tienen como finalidad la reducción o eliminación de características no deseables de las aguas, sean naturales, de abastecimiento o residuales. Con estas operaciones se obtiene agua con características adecuadas dependiendo el uso que se les vaya a dar (Martínez Bayas e Idrobo Jaya, 2012).
- **Factores de la Calidad del Agua:** La calidad del agua se establece midiendo las características físicas, químicas y biológicas de una muestra de agua comparadas con los estándares de calidad del agua a fin de darle un uso específico dependiendo la actividad (UNA, 2013).



FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El presente Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Abastecimiento de Agua para consumo humano, detalla los procedimientos básicos que deben realizarse para contribuir a la sostenibilidad del proyecto.

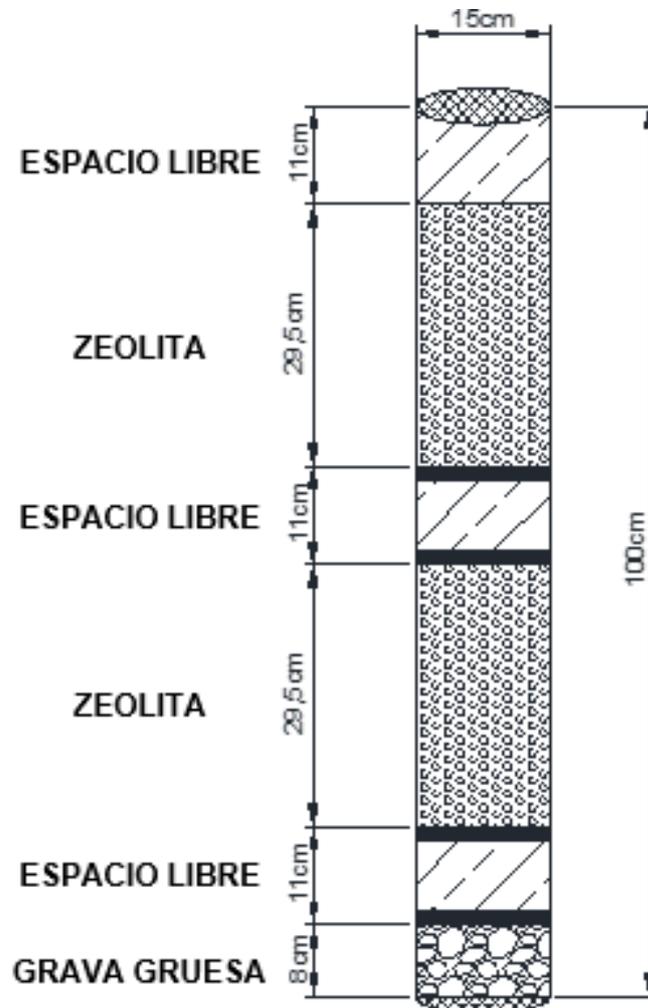


PRIMERA FASE

- El agua se capta por la tubería con ayuda de una bomba de ½ hp.

SEGUNDA FASE

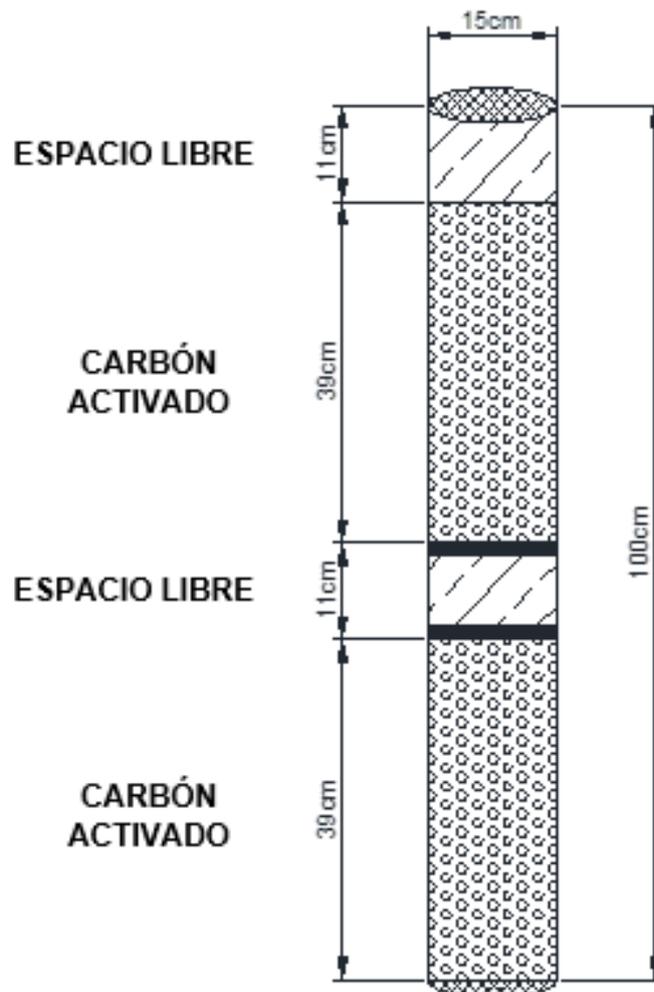
- Ingresa al primer filtro compuesto por grava gruesa y zeolita, el cual retiene a las partículas de mayor tamaño (sólidos disueltos y suspendidos), para pasar al siguiente filtro.



TERCERA FASE

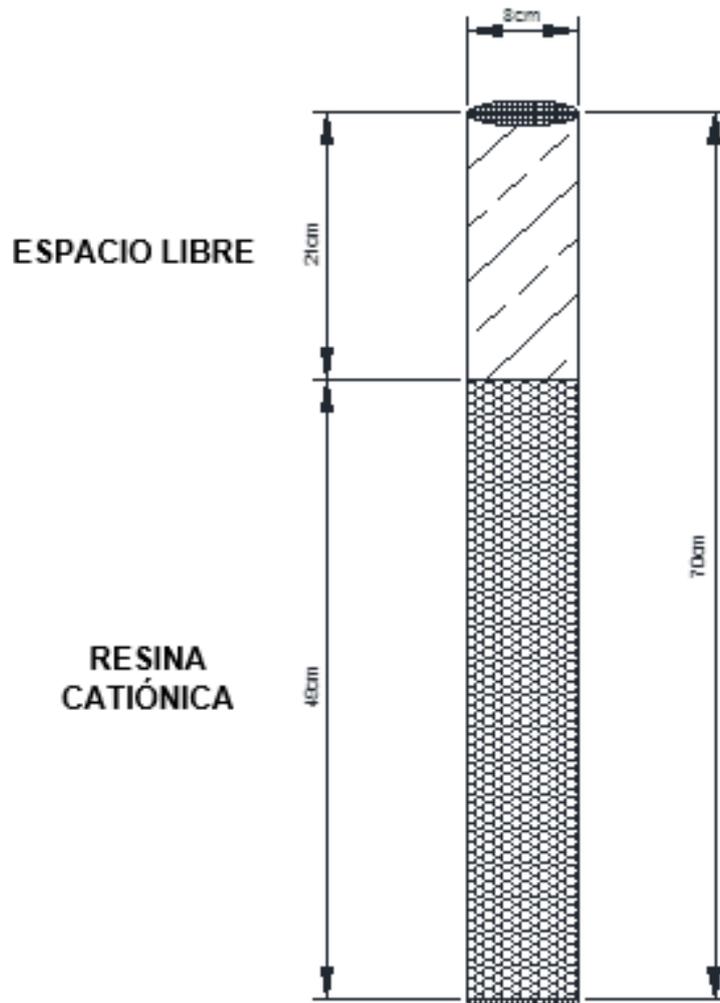
- El segundo filtro está compuesto por carbón activado, el cual elimina pesticidas, compuestos con trihalometano, herbicidas, compuestos orgánicos volátiles y retiene partículas de menor tamaño.





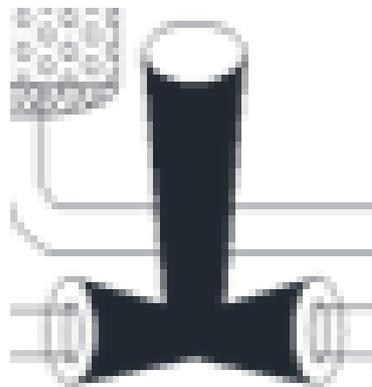
CUARTA FASE

- A continuación el agua fluye a través de los ablandadores compuestos por resina catiónica, la que tiene como propiedad eliminar la dureza del agua (calcio, magnesio), y disminuir materia orgánica, alcalinidad, nitratos y amonio (Después del uso constante por 4 horas es necesario volver a activar la resina con solución salmuera para que siga funcionando óptimamente).



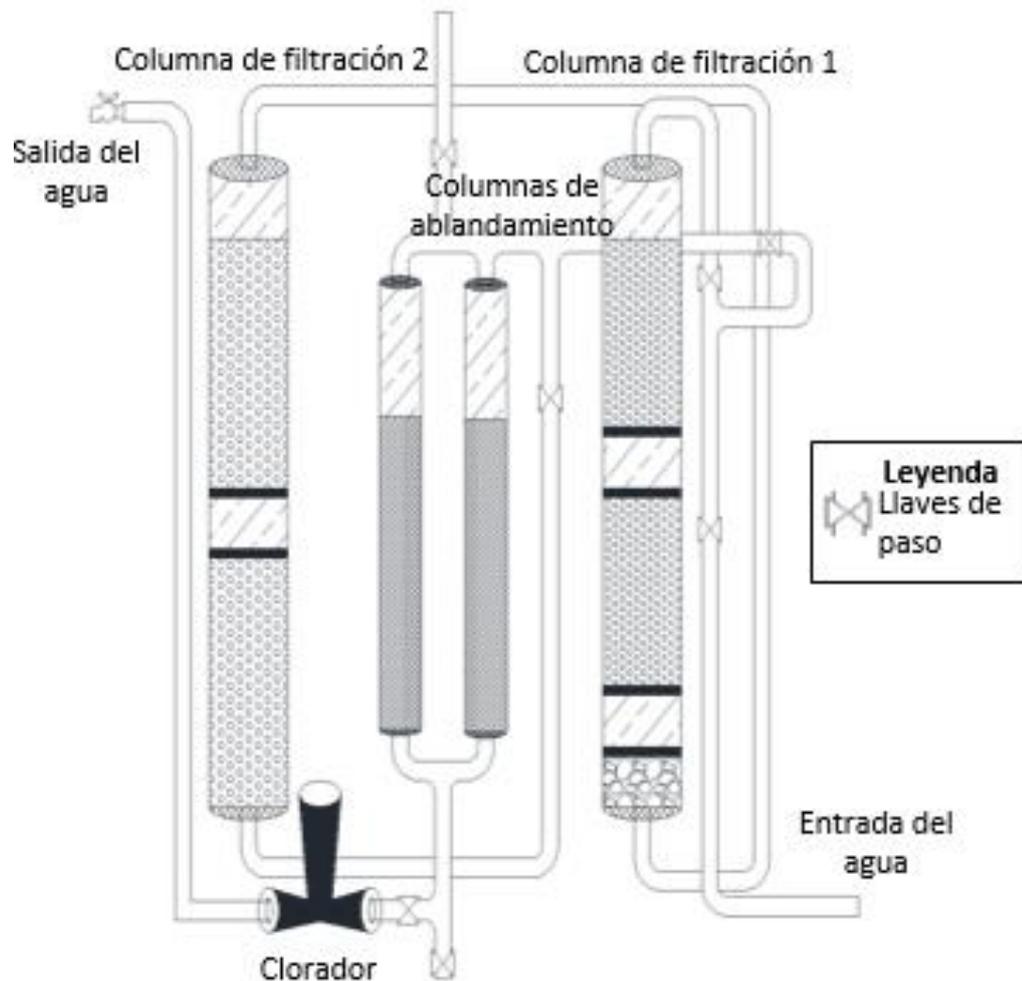
QUINTA FASE

- Una vez filtrada totalmente el agua, pasa por un clorador en línea Hayward, modelo CL-100 con capacidad de 1,9 kg de pastillas, el cual elimina todos los microorganismos presentes en el agua.



SEXTA FASE

- Finalmente se distribuye el agua apta para consumo humano, en el cual se debe esperar por 1 minuto hasta que salga el agua contenida dentro del sistema.



INSUMOS, MATERIALES Y EQUIPOS

INSUMOS: Zeolita, carbón activado, grava gruesa, resina catiónica, cloro en pastillas, sal gruesa y kits con reactivos.

EQUIPOS: Medidores de presión (manómetros), clorador, bomba periférica (1/2 hp), controlador automático de bomba (220-240 v), breakers (20 amperios).

MATERIALES: Tubos de PVC 6 (in), llaves de paso ½ (in), codos de ½ y de 1 (in), T de ½ (in), tubos de ½ y de 1 (in), tubos de 3 (in), cheque vertical de 1 (in), 100 m de manguera de ½ (in), 1 m de manguera de 1 (in), adaptador de manguera ½ (in), reductores de tubos, cables concéntricos, línea y enchufe polarizado de 110 v, varilla de T de cobre, Venturi, llave de jardín, uniones universales, pernos y tuercas de ½ (in), silicón, teflones, busy, neoprenos perdidos de ½ , recipiente de 20 (l), tapas de metal, tapas de PVC, caucho, lienzo, platinas de 3 m, estructura metálica, ruedas, letreros, sprays de pintura, platos difusores de acrílico.

PROPIEDADES

Filtración con zeolita (Larrea, 2015):

Captador de alta capacidad, retiene partículas de hasta 5 micras. Sus propiedades de intercambio del catión neutralizan ciertos elementos.

Filtración con carbón activado (TESACUA S.L., 2015):

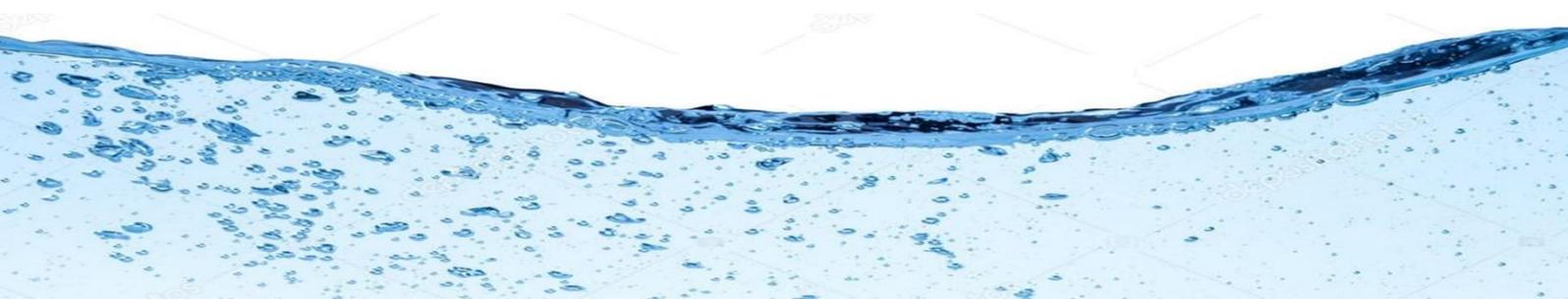
Eliminan los pesticidas, herbicidas, compuestos volátiles (VOC), compuestos con trihalometano, solventes y otras clases de productos creados por el hombre y que se encuentran en el agua.

Ablandamiento con resina de intercambio catiónico (Cortijo, 2013):

Convierte las sales presentes en el agua en ácidos, teniendo como resultado un agua ácida.

Desinfección con cloración (Chaucachicaiza y Orozo, 2012):

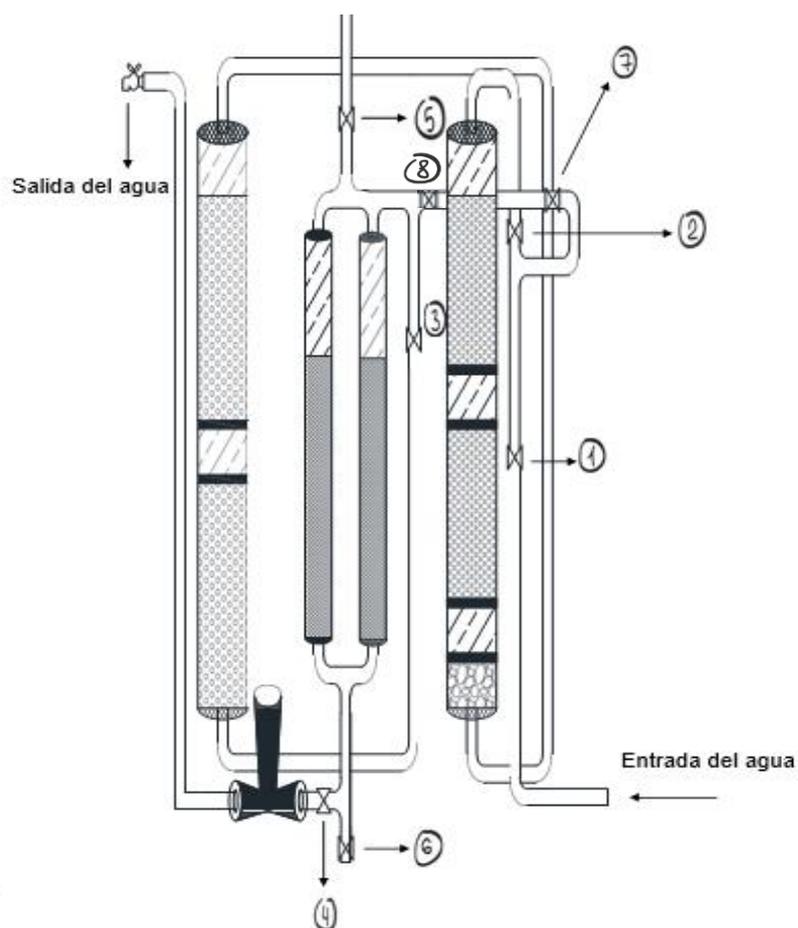
Uno de los elementos más utilizados para desinfectar el agua y se puede aplicar para desactivar la actividad de la mayoría de los microorganismos; el sistema tiene pastillas de cloro (hipoclorito de sodio) de 200 gr.



PROCEDIMIENTO

El sistema cuenta con ventajas prácticas y económicas al emplear productos de fácil alcance, es sencillo de usar, es silencioso y se puede trasladar a cualquier parte.

Para obtener agua tratada se debe esperar por alrededor de 1 minuto para que salga el agua contenida durante el sistema por algún tiempo y se deben abrir las llaves 1, 2, 3 y 4; las llaves 5, 6, 7 y 8 deben permanecer cerradas.



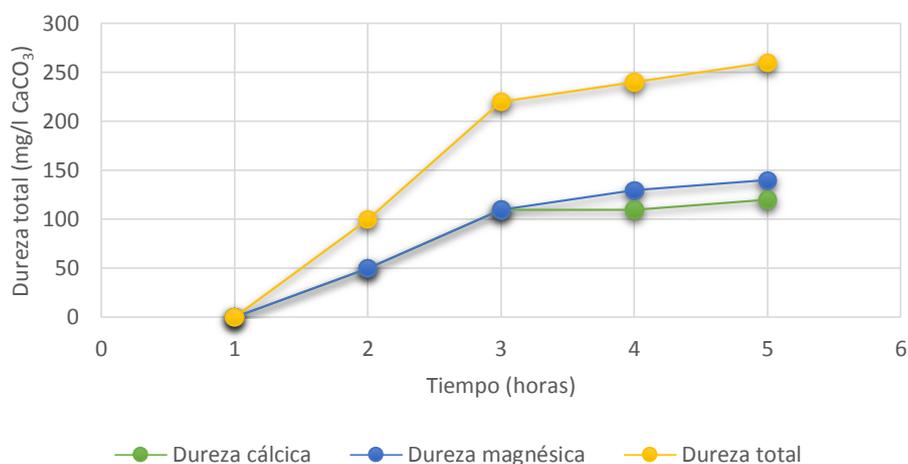
MANTENIMIENTO

Para la activación de la resina se toma en cuenta que al cabo de 1440 litros de agua consumida (4 horas abasteciendo consecutivamente), empiezan a aumentar los niveles dureza y el sabor y olor del agua deja de ser imperceptible puesto que (Barrenechea Martel, 2005) manifiesta que el agua deja de ser

blanda a partir de los 100 mg/l CaCO_3 .

DESGASTE DE RESINA	2 h (720 l)	4 h (1440 l)	6 h (2880)	8 h (5760 l)	10 h (11520 l)
Dureza cálcica	0	50	110	110	120
Dureza magnésica	0	50	110	130	140
Dureza total	0	100	220	240	260

DESGASTE DE RESINA CATIONICA



Cuando se sature la resina suceda, se debe realizar la activación siguiendo estos pasos:

- Se cierra primeramente la llave 4, 6, 7 y 8 y se abren las llaves 1, 2, 3, 5 para llenar el recipiente que se encuentra ubicado encima del sistema con 10 lb sal gruesa común. El tiempo que debe esperarse hasta que se llene será de 2 minutos. Transcurrido el tiempo, se deberá cerrar la llave 5, 1 y 3 y se recomienda dejar disolviendo la sal en agua al menos por 3 horas para que tenga efectividad sobre la resina.
- Para lavar la resina, se cierran todas las llaves y se dejan abiertas las llaves 5 y 6 puesto que el agua con las impurezas irá saliendo por debajo de los ablandadores en un tiempo de 7 minutos.
- Luego se abren las llaves 1, 2, 3 y 6; mientras que las llaves 4, 5, 7 y 8 deben permanecer cerradas, para que el agua desfogue por alrededor de 4-5 minutos y se elimine el sabor salado.



- La solución salmuera también es aplicable a la zeolita rellenando el filtro con una solución de 10% de sal (NaCl) en agua (1 kg de sal en 10 litros) y se deberá lavar la zeolita y el carbón cuando la presión interna del mismo aumente entre 5 y 10 psi con respecto al filtro limpio (40-45 psi).
- La abertura de válvula del clorador debe estar abierta en 1/8 in.

ABASTECIMIENTO EN OTRAS POBLACIONES RURALES

Es importante realizar análisis periódicos cuando el sistema de abastecimiento sea trasladado a otras zonas rurales para saber con qué concentraciones de contaminantes se encuentra la fuente a la entrada y con cuáles a la salida y para ello se deberá realizar lo siguiente:

- Abrir solamente llaves 1 y 7 para extraer el agua directamente sin tratar desde cualquier fuente.
- Abrir llaves 1, 2, 3 y 4 para extraer el agua tratada esperando 1 minuto de salida; las llaves 5, 6, 7 y 8 deben permanecer cerradas.

En cada kit están ilustrados los procedimientos a seguir para realizar los análisis.

VIDA ÚTIL

- La zeolita tiene una vida útil de más de 5 años (Larrea, 2015).
- La grava gruesa tiene larga durabilidad.
- El carbón activado tiene una duración de 8 a 12 meses en uso doméstico (Industrias MASS, 2015).
- La resina catiónica tiene una vida útil aproximadamente de 5 a 10 años (de 200 a 1500 m³), dependiendo también de la calidad del agua a tratar (ResinTech CG8, 2014).
- La pastilla de cloro debe cambiarse cuando se consuma (aproximadamente a los 40000 l) y se debe examinar que el cloro residual esté en el rango de 0,3 a 0,5 mg/l (OMS, 2009).



PRESUPUESTO

COSTOS					
RECURSOS MATERIALES					
ETAPA	CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
CAPTACIÓN DEL AGUA	1	Bomba eléctrica 1/2 hp	\$ 50,00	\$ 50,00	
	1	Controlador de bomba automática	\$ 35,00	\$ 35,00	
	1	Rollo de manguera de 100m	\$ 25,00	\$ 25,00	
	1	Tubo de 1 in	\$ 5,00	\$ 5,00	
	1	Cheque vertical de 1 in	\$ 10,00	\$ 10,00	
	1	Codo de 1 in	\$ 0,60	\$ 0,60	
	1	Reductor de manguera de 1/2	\$ 0,25	\$ 0,25	
	2	Metros de cable concéntrico	\$ 1,50	\$ 3,00	
	1	Enchufe polarizado	\$ 2,20	\$ 2,20	
	1	Tomacorriente con línea de 110v	\$ 3,50	\$ 3,50	
	1	Breaker de 20 amperios	\$ 5,50	\$ 5,50	
	10	Pernos y tuercas de cisterna de 1/2	\$ 0,10	\$ 1,00	
	1	Varilla de T de cobre	\$ 7,00	\$ 7,00	
FILTRACIÓN DEL AGUA	10	Libras de zeolita	\$ 2,40	\$ 24,00	
	25	Libras de carbón activado	\$ 3,00	\$ 75,00	
	3	Libras de grava gruesa	\$ 0,15	\$ 0,45	
	1	Lienzo	\$ 2,60	\$ 2,60	
	1	Tubo de 6 in	\$ 18,00	\$ 18,00	
	3	Llaves de paso de 1/2	\$ 1,25	\$ 3,75	
	1	Tubo de 1/2	\$ 5,00	\$ 5,00	
	1	Manómetro	\$ 4,00	\$ 4,00	
	6	Codos de 1/2 in	\$ 0,50	\$ 3,00	
	3	Uniones de universales	\$ 1,50	\$ 4,50	
	2	T de 1/2	\$ 0,65	\$ 1,30	
	2	Teflones	\$ 1,20	\$ 2,40	
	1	Silicón	\$ 3,50	\$ 3,50	
	20	Pernos y tuercas de cisterna de 1/2	\$ 0,10	\$ 2,00	
	6	Neplos perdidos de 1/2	\$ 0,50	\$ 3,00	
	4	Tapas de metal	\$ 3,00	\$ 12,00	
	6	Platos difusores	\$ 2,00	\$ 12,00	
	1	1 m de caucho	\$ 1,00	\$ 1,00	
	ABLANDAMIENTO DEL AGUA	15	Libras de resina catiónica	\$ 5,30	\$ 79,50
		1	Tubo de 3 in	\$ 15,00	\$ 15,00
4		Codos de 1/2 in	\$ 0,50	\$ 1,00	
3		T de 1/2	\$ 0,65	\$ 1,95	
3		Uniones universales	\$ 0,50	\$ 1,50	
1		Manómetro	\$ 4,00	\$ 4,00	
3		Llaves de paso de 1/2	\$ 1,25	\$ 3,75	
4		Uniones de 1/2	\$ 0,50	\$ 2,00	
1		Recipiente de 20 litros	\$ 10,00	\$ 10,00	
1		Tubo de 1/2 in	\$ 5,00	\$ 5,00	
10		Libras de sal gruesa	\$ 0,10	\$ 1,00	
1		1 m de manguera de 1 in	\$ 1,00	\$ 2,00	
4		Neplos perdidos de 1/2	\$ 0,50	\$ 2,00	
10		Pernos y tuercas de cisterna de 1/2	\$ 0,10	\$ 1,00	
2		Tapas de PVC	\$ 3,00	\$ 6,00	
1		Venturi	\$ 10,00	\$ 10,00	
4		Platos difusores	\$ 1,50	\$ 6,00	
2	Tapas de metal	\$ 4,50	\$ 9,00		
DESINFECCIÓN DEL AGUA	1	Clorador	\$ 70,00	\$ 70,00	
	1	Pastilla de cloro	\$ 1,75	\$ 1,75	
	1	Tubo de 1/2 in	\$ 5,00	\$ 5,00	
	1	Llave de paso de 1/2	\$ 1,25	\$ 1,25	
	6	Reductores de tubos	\$ 0,60	\$ 3,60	
	1	Llave de jardín	\$ 7,00	\$ 7,00	
TOTAL				\$ 574,85	

GASTOS				
TODA LA FASE DE ELABORACIÓN DE SISTEMA	GASTOS ADMINISTRATIVOS			
	CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
	75 (kW)	Electricidad	\$ 0,04	\$ 3,00
	2 m3	Agua	\$ 0,48	\$ 0,96
	5 días	Viáticos	\$ 3,00	\$ 15,00
	TOTAL		\$ 18,96	
TODA LA FASE DE ELABORACIÓN DE SISTEMA	GASTOS OPERATIVOS			
	CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
	5 (días)	Mano de obra	\$ 10,00	\$ 50,00
	1	Transporte	\$ 5,00	\$ 5,00
	TOTAL		\$ 55,00	
TODA LA FASE DE ELABORACIÓN DE SISTEMA	OTROS GASTOS VARIOS FUERA DE FASES DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA			
	CANTIDAD	DETALLE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
	1	Estructura metálica	\$ 40,00	\$ 40,00
	1	Platina de 3 m para abrasadera	\$ 5,00	\$ 5,00
	14	Pernos y tuercas	\$ 0,10	\$ 1,40
	4	Ruedas	\$ 5,00	\$ 20,00
	18	Señalizaciones	\$ 0,25	\$ 4,50
	3	Kits para análisis	\$ 25,00	\$ 75,00
	5	Sprays de pintura	\$ 3,00	\$ 15,00
	TOTAL		\$ 160,90	
INVERSIÓN TOTAL				\$ 809,71

COSTO DE INVERSIÓN	CONSTRUCCIÓN	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
Costo de construcción	\$ 574,85	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Gastos de construcción	\$ 234,86	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
GASTO DE MANTENIMIENTO													
Activación de resina mensual	\$ 0	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Mantenimiento de filtros semestral	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 20,00	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 20,00
TOTAL MES	\$ 809,71	\$ 5,00	\$ 25,00	\$ 5,00	\$ 25,00								
TOTAL ANUAL							\$ 909,71						

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA



BIBLIOGRAFÍA

- Chaucachicaiza, A., & Orozo, L. (2012). Diseño e implementación de un sistema automatizado para la dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable en la comunidad San Vicente De Lacas. Riobamba, Ecuador.
- Cortijo, D. (2013). Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (REDALYC), 165-171.
- Industria MASS. (2015). Instructivo de instalación, operación y mantenimiento de los filtros de carbón activado. Obtenido de <http://www.indmass.com.mx/data/fichas/ba22077c50b248e74d44d371381ecf97be77ce08.pdf>
- Larrea, C. (2015). Aplicación de un filtro de zeolita para potabilización del agua nivel domiciliario, sitio Palestina, cantón El Guabo, provincia El Oro. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3120/1/TESSPORCENTAJE20-PORCENTAJE20JONATHANPORCENTAJE20LARREA.PDF>
- Martínez Bayas, J. R., & Idrobo Jaya, M. G. (2012). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ABLANDAMIENTO. Riobamba, Chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec>
- Organización de las Naciones Unidas. (2010). El agua contaminada causa más muertos que cualquier guerra. Obtenido de https://elpais.com/sociedad/2010/03/22/actualidad/1269212403_850215.html
- Organización Mundial de la Salud. (Mayo de 2009). Obtenido de <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>
- Resin Tech CG8. (2014). CG8. Obtenido de <https://www.resintech.com/products/sac-resins/cg8>
- Rodríguez Momroy, J., & Durán de Bazúa, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. Tecnología, Ciencia, Educación, 21(1), 25-33.
- TESACUA S.L. (2015). Obtenido de Filtración por carbón activado: carbón activado adsorción: http://www.tesacua.es/index_htm_files/Filtracion%20por%20Carbon%20Activado.pdf
- Universidad Nacional de Costa Rica. (2013). Informe de la Calidad de las Aguas Superficiales. Obtenido de <https://www.msj.go.cr>

