

**Alternativas para el mejoramiento de la oferta del recurso hídrico en el sistema de
abastecimiento de la vereda el Progreso, en el Páramo de Berlín**

Cristian David Ortiz Pico

Jonny Diego Bustos León

Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Civil

Director

Isabel Cristina Domínguez Rivera

PhD. en Agricultura, Alimentación y Desarrollo Rural.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco Teórico.....	14
1.1 Protección de captaciones	14
1.2 Corredor ribereño.....	14
1.3 Tecnologías de potabilización del agua	15
1.4 Filtro Lento	16
2. Metodología	17
2.1 Revisión de literatura	17
2.2 Identificación de las características del ecosistema	17
2.3 Propuesta y selección de alternativas de mejoramiento de la oferta hídrica en el acueducto Los Andes- El Progreso	18
2.4 Diseño de la alternativa de mejoramiento.....	19
2.4.1 Alternativa para la protección de la captación.....	19
2.4.2 Diseño de la alternativa para el tratamiento del agua de consumo	21
2.4.2.1 Periodo de diseño	21
2.4.2.2 Población de diseño	21
2.4.2.3 Dotación neta y dotación bruta	22
2.4.2.4 Demanda diaria de diseño.....	22

2.4.2.5 Área del filtro	23
2.4.2.6 Longitud total de las paredes	24
2.4.2.7 Características del lecho filtrante y medio de soporte	24
2.4.2.8 Caja del filtro	25
2.4.2.9 Estructura de entrada.....	25
2.4.2.10 Estructura de salida.....	26
2.4.2.11 Sistema de drenaje	26
2.4.2.12 Presupuesto de Construcción	27
3. Resultados	27
3.1 Caracterización del área de estudio.....	27
3.1.1 Vereda El Progreso	30
3.1.2 Sistema de abastecimiento de agua de la Vereda Los Andes-El Progreso	31
3.1.3 Calidad del agua en la vereda El Progreso.....	32
3.2 Selección de la alternativa de mejoramiento	33
3.3 Diseño preliminar de la alternativa de mejoramiento	37
3.3.1 Diseño preliminar del aislamiento de la zona de captación	37
3.3.2 Diseño preliminar del Filtro Lento de Arena	39
3.3.2.1 Periodo de diseño	39
3.3.2.2 Población de diseño	39
3.3.2.3 Dotación neta y dotación bruta	40
3.3.2.4 Demanda diaria de diseño	41
3.3.2.5 Área del filtro	41
3.3.2.6 Longitud total de las paredes	41

3.3.2.7 Características del lecho filtrante y medio de soporte	42
3.3.2.8 Caja de filtro	43
3.3.2.9 Estructura de entrada.....	43
3.3.2.10 Estructura de salida.....	44
3.3.2.11 Sistema de drenaje	44
3.3.2.12 Presupuesto del Filtro Lento de Arena.....	44
4. Discusión.....	45
5. Conclusiones.....	46
6. Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	49
Apéndices.....	51

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1: El corredor ribereño.</i>	15
<i>Figura 2: Sistema de Strahler.</i>	19
<i>Figura 3. Esquema gráfico de las características del ecosistema.</i>	30
<i>Figura 4. Localización de la cuenca y de los usuarios.</i>	32
<i>Figura 5. Hidrografía.</i>	37
<i>Figura 6. Clasificación de la hidrografía de la zona según Strahler.</i>	38
<i>Figura 7. Aislamiento de la quebrada las puentes (buffer 20 metros).</i>	38
<i>Figura 8. Longitudes de las unidades de filtración.</i>	42

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: <i>Recomendaciones para el ancho de corredores ribereños</i>	20
Tabla 2: <i>Especies de flora amenazadas</i>	29
Tabla 3: <i>Parámetros de calidad del agua en la quebrada "Las Puentes"</i>	34
Tabla 4: <i>Técnicas de tratamiento de agua cruda</i>	35
Tabla 5: <i>Comparación de los valores críticos del sistema con la alternativa seleccionada</i>	36
Tabla 6: <i>Dotación neta máxima para uso doméstico</i>	40

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Sistemas de drenaje más comunes para filtros lentos.	51
Apéndice B. Parámetros de calidad del agua en el tanque de almacenamiento.	52
Apéndice C. Hidrografía del Páramo de Berlín.	54
Apéndice D. Clasificación de la hidrografía de la zona según Strahler.	55
Apéndice E. Aislamiento de la quebrada las puentes (buffer 20 metros).	56
Apéndice F. Presupuesto del aislamiento	57
Apéndice G. Detalle capas de lecho filtrante y caja de filtro.	58
Apéndice H. Vista en planta del filtro lento.	60
Apéndice I. Vista de perfil del filtro lento.	61
Apéndice J. Detalle de las tuberías del sistema de drenaje.	62
Apéndice K. Presupuesto para la construcción del Filtro Lento.	63
Apéndice L. Isométricos del filtro lento de arena.	64

Resumen

TÍTULO: Alternativas para el mejoramiento de la oferta del recurso hídrico en el sistema de abastecimiento de la vereda el Progreso, en el Páramo de Berlín *

AUTOR: CRISTIAN DAVID ORTIZ PICO
JONNY DIEGO BUSTOS LEÓN **

PALABRAS CLAVE: Páramo, protección de captaciones, Filtro lento, Corredor ribereño, Tecnologías de potabilización del agua.

DESCRIPCIÓN:

En este documento se presenta un estudio realizado en la vereda El Progreso localizada en el municipio de Tona, en áreas pertenecientes al páramo de Berlín, que cuenta con una población de 340 habitantes aproximadamente, los cuales se benefician del agua de la Quebrada Las Puentes, gracias a un sistema de captación y tratamiento, el cual, presenta deficiencias de diseño y construcción. Con el objetivo de contribuir a la solución de este problema, se plantearon diferentes alternativas para el mejoramiento de la calidad del agua. Se seleccionaron dos alternativas a nivel colectivo. La primera alternativa consiste en una medida de prevención que es el aislamiento de la quebrada, el cual busca afrontar el problema disminuyendo las probabilidades de contaminación y la segunda es una medida de solución seleccionada de acuerdo con los parámetros de calidad del agua, economía y mantenimiento, como lo es el Filtro Lento de Arena. Las estrategias seleccionadas se diseñaron de manera preliminar para satisfacer la necesidad de agua apta para el consumo y se elaboraron los presupuestos para su construcción, obteniendo un valor general de COP\$ 67'643,074 para llevar a cabo estas obras. Se recomienda que estas estrategias sean complementadas con planes de monitoreo comunitario que ayuden al control y mantenimiento, contribuyendo a garantizar una larga vida útil del proyecto.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera

Abstract

TITLE: Alternatives for the improvement of the supply of water resources in the supply system of the path El Progreso, in the Páramo de Berlín *.

AUTHOR: CRISTIAN DAVID ORTIZ PICO
JONNY DIEGO BUSTOS LEÓN **

KEYWORDS: Páramo, catchment protection, slow sand filter, riparian corridor, water treatment technologies.

DESCRIPTION:

This document presents a study carried out in El Progreso village, located in Tona (Santander), in areas inside the Berlin paramo. The study area comprises a population of approximately 340 inhabitants, who benefit from Quebrada Las Puentes water source from a system which has design and construction deficiencies. With the aim of contributing to the solution of this problem, different alternatives at the collective level were proposed for improving water quality. The first alternative consists of a riparian corridor to isolate the stream, looking to prevent pollution associated to land use activities in the surrounding area of the intake. The second alternatives is the implementation of a slow sand filter, which is a treatment measure, selected according to water quality parameters, economy, and maintenance. The selected strategies were preliminary designed to satisfy the need for water suitable for consumption. In addition, the budget required for the implementation was prepared, resulting in an investment of COP\$ 67'643,074. It is recommended that these strategies are complemented with community monitoring plans that contribute with long term sustainability..

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera

Introducción

Los seres vivos dependen de recursos esenciales como el agua, recurso que con el paso del tiempo se hace más escaso y su calidad se deteriora considerablemente debido a las actividades humanas. Conservar la calidad del agua es de vital importancia, pues de ello depende que las personas tengan acceso al agua potable utilizada en consumo humano y en actividades agrícolas y pecuarias (Organización Mundial de la Salud [online], 2017).

Se dice que los páramos son “fábricas de agua” y que tienen una alta capacidad de regulación hídrica; debido a esto, son considerados ecosistemas que deben protegerse. Sin embargo, el páramo ha sido objeto de ocupación humana desde tiempos ancestrales (Conant & Fadem, 2011).

Actualmente en Colombia, tanto los páramos como los bosques altos andinos están fuertemente intervenidos por actividades humanas y en ocasiones han sido reemplazados por plantaciones forestales o por sistemas agropecuarios a diferente escala. Así, todos los páramos colombianos han sufrido algún tipo de intervención antrópica, especialmente por el aumento de los cultivos de papa y cebolla (Morales betancourt, 2006). Estos cultivos, al igual que las plantaciones de pino y el pastoreo extensivo de ganado ovino, bovino y caprino, se encuentran entre los principales usos dados a la tierra en el páramo (Abell, Lehner, Thieme, & Linke, 2017). Estas actividades generan la pérdida gradual de formaciones arbustivas y frailejones, la pérdida de la capacidad de almacenamiento e infiltración de agua en los suelos, así como la contaminación del agua (Conant & Fadem, 2011).

En todo el mundo, al menos 2,000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces (Organizacion Mundial de la Salud [online], 2017), lo que genera graves problemas a la salud humana; por ejemplo diarrea, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis (Organizacion Mundial de la Salud [online], 2017). A lo anterior, se suma el poco interés del Estado para la adecuación de instalaciones hidráulicas que cumplan todos los requisitos de seguridad ambiental; producto de esto es común encontrar procesos de captación de agua con grandes falencias, aumentando así el riesgo de contaminación (Morales betancourt, 2006).

El Progreso, una de las 20 veredas que constituyen el área del páramo de Berlín, evidencia deficiencias en el suministro de agua para consumo humano, ya que el acueducto existente no fue diseñado y construido cumpliendo estándares técnicos, no hay tratamiento del agua, y además se presenta riesgo de contaminación por la actividad pecuaria y agrícola cerca de las fuentes de recurso hídrico (UIS, CDMB, 2017).

Como respuesta a estos problemas, el presente trabajo tuvo como objetivo proponer alternativas para el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico en el sistema de abastecimiento de la vereda El Progreso en el páramo de Berlín. Para ello, se identificaron las características del ecosistema, luego se seleccionaron dos alternativas con la intención de disminuir las fuentes de contaminación del agua y se realizaron sus respectivos diseños y presupuestos.

1. Marco Teórico

Los referentes teóricos para el desarrollo de este trabajo se explican a continuación:

1.1 Protección de captaciones

El agua es quizás el recurso natural más valioso en la tierra, lo que hace necesario buscar medidas para conservarla, pues proteger las fuentes de agua es proteger la salud de las generaciones presentes y venideras, garantizando un desarrollo sostenible del planeta.

La protección de captaciones se basa en la delimitación territorial de zonas geográficas denominadas perímetros de protección que tiene como objetivos impedir la avería de las instalaciones de captación del agua, evitar el vertido de sustancias contaminantes que podrían afectar la calidad del agua captada y controlar el desarrollo de cualquier nueva actividad incompatible con la preservación de los recursos captados (Pivetta, Celular, Industrial, & Sogayar, 2011).

1.2 Corredor ribereño

Es una zona de transición entre la tierra, medio ambiente y el curso de agua (ver Figura 1). Las principales funciones son: proporcionar estabilidad en el lecho del banco; proteger la calidad del agua atrapando sedimentos, nutrientes y otros contaminantes; y proporcionar diversidad de hábitat para plantas terrestres, ribereñas y acuáticas (DPI, 2012).

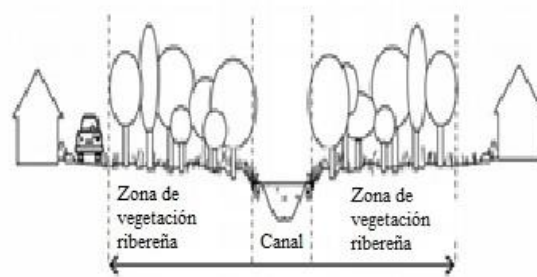


Figura 1: El corredor ribereño.

Nota. Tomado de: Guidelines for riparian corridors on waterfront land

1.3 Tecnologías de potabilización del agua

Desde los años 90, la contaminación del agua ha empeorado en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia. Se espera que la calidad del agua se deteriore aún más en las próximas décadas, lo que aumentará las amenazas para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Wwap, 2018).

El uso de agua de mala calidad contribuye a la transmisión de enfermedades endémicas, debidas a contaminación de las fuentes de agua por excretas humanas y animales, y de enfermedades producidas por agentes físicos o químicos, por la ingestión de agua que contiene sustancias tóxicas, daño que se da comúnmente después de un largo y periódico consumo de bajas concentraciones de agua. Por esta razón, es de gran importancia tomar medidas para disminuir el impacto en las fuentes de agua.

Para potabilizar el agua, las poblaciones utilizan plantas de tratamiento y una amplia variedad de tecnologías que van desde el simple desbaste o filtración gruesa, los filtros de arena y la desinfección, hasta procesos químicos y mecánicos de gran complejidad (Casero, 2007).

Las tecnologías de potabilización de agua pueden dividirse en colectivas e individuales. Adicionalmente, se pueden establecer dos métodos: i) mediante la utilización de sustancias tóxicas a los microorganismos patógenos; y ii) mediante procesos indirectos que provocan la destrucción de los organismos al romper el equilibrio favorable del medio en que ellos viven. Entre los sistemas colectivos que utilizan el segundo método de desinfección están los filtros lentos.

1.4 Filtro Lento

La Filtración Lenta en Arena (FLA) es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo (Visscher, Paramasivan, Raman, & Heijnen, 1992). FLA copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos. El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, pero si se diseña y opera convenientemente, puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua (Rojas & Guevara, 2000).

La FLA consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruye los microorganismos patógenos del agua. Ello constituye una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente (Rojas & Guevara, 2000).

Los filtros pueden alcanzar remociones hasta un 99% de las bacterias presentes en el agua cruda y además, remover un buen porcentaje de sólidos suspendidos y sedimentables presentes en el agua (Rivas, 1963).

Un filtro lento consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control; se considera que estos filtros son ideales para zonas rurales que brinden un espacio amplio

para su instalación. Además, permite un diseño con materiales locales como grava, arena y uso de mano de obra local, su costo de construcción y operación es bajo, ya que no depende de la necesidad de ningún tipo de energía y no requiere productos químicos (Visscher et al., 1992).

2. Metodología

Para la ejecución de este trabajo se realizaron las actividades que se describen a continuación:

2.1 Revisión de literatura

Se realizó una revisión bibliográfica utilizando bases de datos, artículos científicos, portales institucionales y gubernamentales, de allí se obtuvo la información necesaria para desarrollar el proyecto y cumplir los objetivos.

2.2 Identificación de las características del ecosistema

Se recogió información acerca de las características del ecosistema de estudio como aspectos geográficos, división política, demografía, uso y cobertura del suelo, zonificación ambiental, fauna, flora, economía y datos hidro-climáticos de la zona.

Esta información se obtuvo de documentos relacionados con estudios previos realizados en la zona, con la finalidad de analizar el estado actual y las condiciones en las que se encuentra el

ecosistema para implementar las propuestas de solución a los problemas que se presentan. Para su análisis y presentación se organizó mediante un esquema grafico ayudando a la interpretación de estos datos.

2.3 Propuesta y selección de alternativas de mejoramiento de la oferta hídrica en el acueducto

Los Andes- El Progreso

Después de realizar la revisión bibliográfica se obtuvo información que permitió identificar las posibles alternativas que podrían ser aplicadas en este caso. Se encontró que, varias alternativas podrían dar respuesta a la problemática, por lo que fue necesario seleccionar una de estas. Para esto, se obtuvieron los parámetros necesarios para poder compararlas e identificar cuál era la mejor opción a implementar.

Se revisó información de calidad de agua de la quebrada “Las Puentes”, así como de los riesgos en la zona de captación obtenida por el Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) (UIS, CDMB, 2017).

Se identificaron los parámetros críticos del agua abastecida (turbiedad, color, coliformes fecales y coliformes fecales totales). Con base en esta información se recogieron las posibles soluciones que mejor se adaptaran a las condiciones actuales de calidad del agua, que garantizaran el menor presupuesto y el más sencillo mantenimiento y control. Para esto, se hizo una comparación entre las alternativas, teniendo como referencia los valores límites de calidad para el agua cruda. Con base en esto, se decidió la alternativa tecnológica a diseñar, junto con la implementación de una alternativa de protección para así poder brindar una alta efectividad de remoción de los agentes contaminantes, garantizando la buena calidad del agua.

2.4 Diseño de la alternativa de mejoramiento

Después de seleccionar las alternativas de mejoramiento se procedió a realizar los diseños como se muestra a continuación.

2.4.1 Alternativa para la protección de la captación Se seleccionó como alternativa para la protección de las fuentes de agua un aislamiento de la quebrada teniendo en cuenta las recomendaciones de corredor ribereño, facilidad de consecución de los materiales, mano de obra y espacio disponible.

Se utilizó la hidrografía de la zona, descargada de la página del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (<https://www.igac.gov.co/>).

Se usó el sistema de Strahler(DPI, 2012) para hacer la clasificación del cauce de la quebrada Las Puentes y así seleccionar la distancia del corredor ripario.

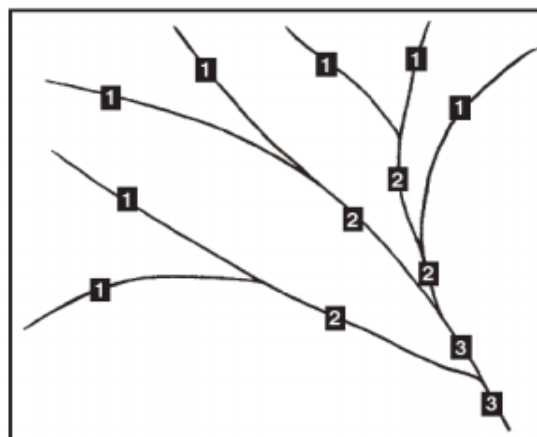


Figura 2: Sistema de Strahler.

Nota. Tomado de Guidelines for riparian corridors on waterfront land

La oficina de agua NSW Department of industry de Australia recomienda una anchura de zona ribereña con vegetación (ZRV) (ver Tabla 1) basada en el orden del curso de agua, clasificados bajo el sistema de Strahler (Figura 2).

Tabla 1:

Recomendaciones para el ancho de corredores ribereños.

Tipo del curso de agua	Ancho ZRV	Ancho total de CR
1 Orden	10 metros	20 m + ancho de canal
2 Orden	20 metros	40 m + ancho de canal
3 Orden	30 metros	60 m + ancho de canal
4 Orden	40 metros	80 m + ancho de canal

Nota. Tomado de: Guidelines for riparian corridors on waterfront land [7.]

Notas:

ZRV: Zona ribereña con vegetación.

CR: Corredor ribereño.

La anchura de la zona ribereña con vegetación se debe medir desde la parte superior del banco más alta en ambos lados del curso de agua (DPI, 2012).

Basándose en las recomendaciones del ancho de corredor ribereño, se realizó el modelo del aislamiento utilizando la herramienta del software ArcMap (<http://www.arcgis.com/index.html>) Buffer, que permitió generar la zona que hará parte del corredor ripario.

Después de realizar el modelamiento en ArcMap se elaboró el mapa de la zona y se exportó al software AutoCAD (<https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview>), identificando el área de corredor ribereño, lo que permitió calcular el perímetro del encerramiento.

Se realizó el presupuesto estimado para la construcción del aislamiento, consultando el costo de los materiales, equipos y mano de obra disponibles en la región.

2.4.2 Diseño de la alternativa para el tratamiento del agua de consumo Se seleccionó como alternativa para el tratamiento de la calidad del agua, un Filtro Lento en Arena, teniendo en cuenta aspectos como: compatibilidad entre las características del agua a tratar y los requerimientos de calidad de agua cruda de la tecnología, facilidad de consecución de los materiales, mano de obra y espacio disponible.

2.4.2.1 Periodo de diseño El periodo de diseño se define como el número de años dentro de los cuales la unidad prestará su servicio con eficiencia. El período de diseño fue seleccionado, con base en los criterios establecidos por la Resolución 0330 del 08 de junio del 2017 del RAS (Ministerio, 2017).

2.4.2.2 Población de diseño Para estimar la población de diseño se usó el método geométrico (ver Ecuación 1) (Visscher et al., 1992).

$$P_d = P_a(1 + 0.01r)^n \quad (1)$$

Donde:

P_d : Población de diseño [hab].

P_a : Población actual [hab].

r : Tasa de crecimiento anual [%].

n : periodo de diseño [años].

La tasa de crecimiento se calculó según la Ecuación 2 teniendo en cuenta la población inicial referente al año 1990 cuando se asentaron las primeras familias y la población del año 2017.

$$r = \ln \left(\frac{P_f}{P_i} * \frac{1}{t} * 100 \right) \quad (2)$$

Donde:

P_f : Población final [hab].

P_i : Población inicial [hab].

t : tiempo de diferencia entre los censos [años].

2.4.2.3 Dotación neta y dotación bruta La dotación neta cubre las necesidades básicas de un habitante y no tiene en cuenta ninguna eventualidad que pudiera presentarse como pérdidas en la red de distribución o cualquier hecho particular que pudiese aumentar considerablemente y por cierto periodo, la demanda de agua (Visscher et al., 1992).

La dotación bruta de diseño tiene en cuenta las pérdidas de agua que pueden generarse en el sistema de abastecimiento y se calcula conforme a la Ecuación 3:

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{(1 - \%perdidas)} \quad (3)$$

Donde:

D_{neta} : Dotacion neta $\left[\frac{L}{habitante \times Dia} \right]$.

$\%pérdidas$: Porcentaje de Pérdidas [%].

2.4.2.4 Demanda diaria de diseño La demanda de agua diaria de diseño es la cantidad total que el sistema de abastecimiento tiene que proporcionar por día. Esta demanda puede calcularse como el producto entre la población de diseño y la dotación bruta. Si la demanda considerada no incluye

pérdidas, este valor debe ser incrementado en un 20% o 30% aproximadamente (Visscher et al., 1992).

2.4.2.5 Área del filtro Para determinar el área del filtro es necesario establecer un valor de velocidad de filtración que funcionará como criterio de diseño y permitirá garantizar un adecuado tiempo de funcionamiento y crecimiento de la capa biológica, además de tratar la totalidad del agua captada.

La carga superficial o velocidad de filtración está dada por la Ecuación 4, de la cual se puede obtener el área superficial del lecho filtrante (Visscher et al., 1992).

$$q_f = Q/A \quad (4)$$

Donde:

q_f : Carga superficial $\left[\frac{m}{h}\right]$.

Q : caudal que entra al filtro lento $\left[\frac{m^3}{h}\right]$.

A : Área superficial de lecho filtrante $[m^2]$.

Para fines de un mantenimiento más práctico y sencillo es recomendable distribuir el área superficial en varias unidades, esto facilitará también una operación segura y continua, además de poder realizar su limpieza alternadamente (Visscher et al., 1992).

Para determinar el número de unidades en las que se distribuirá el área del lecho filtrante se utilizó la Ecuación 5:

$$n = 0.5\sqrt[3]{A} \quad (5)$$

Donde:

n : número de unidades.

A : Área superficial total $[m^2]$.

2.4.2.6 Longitud total de las paredes La longitud de las paredes depende de la forma, el número de unidades de filtración y del área superficial del lecho filtrante, para el caso de unidades con forma rectangular se calcula con la Ecuación 6:

$$L Total_{paredes} = 2nb + l (n + 1) \quad (6)$$

Donde:

$L Total_{paredes}$: longitud total de las paredes [m].

n : número de unidades de filtración.

b : ancho de la unidad [m].

l : longitud de la pared de la unidad [m].

Las longitudes mínimas de las paredes están dadas por las Ecuaciones 7 y 8 (Visscher et al., 1992).

$$l = \sqrt{\frac{2A}{n+1}} \quad (7)$$

$$b = \frac{(n+1)l}{2n} \quad (8)$$

Donde:

l : longitud de la pared de la unidad [m].

b : ancho de la unidad [m].

n : número de unidades de filtración.

A : Área superficial total [m²].

2.4.2.7 Características del lecho filtrante y medio de soporte El lecho filtrante se diseñó de acuerdo a los siguientes parámetros: el tamaño de los granos que se determina por el diámetro

efectivo y su distribución granulométrica determinado por el coeficiente de uniformidad (Visscher et al., 1992).

La arena empleada en los filtros debe ser relativamente fina y tener un diámetro efectivo entre 0.15 y 0.35 mm, y un coeficiente de uniformidad menor de cinco, pero preferiblemente entre 2.0 y 3.5. La arena más fina dará mejor resultado en los filtros en función de la calidad del agua producida. El espesor de esta capa filtrante debe estar entre 0.70 y 1.0 m (Visscher et al., 1992).

El medio de soporte o capa de soporte debe estar constituido por grava, las piedras deben ser duras y redondeadas, debe estar libre de limo, arena y materia orgánica. El espesor de la capa de soporte debe estar entre 0.2 y 0.5 m. El objetivo de esta capa es servir de soporte al medio filtrante y debe cubrir el sistema de drenaje (Visscher et al., 1992).

Después se procedió a diseñar las demás componentes que conforman el FLA: caja de filtro, estructura de entrada, estructura de salida y sistema de drenaje.

2.4.2.8 Caja del filtro La caja del filtro es la estructura que contiene el lecho filtrante, su altura total está determinada por la suma de los espesores del lecho filtrante y medio de soporte, altura máxima de agua sobre el lecho la cual no debe ser superior a 1 metro y el borde libre que debe estar entre 0.2 y 0.3 m. Según las anteriores especificaciones, la altura total de la caja del filtro debe estar entre 1.90 y 2.50 m, generalmente se suele construir en hormigón reforzado (Visscher et al., 1992).

2.4.2.9 Estructura de entrada La estructura de entrada debe tener canales o conductos de acceso que permitan el ingreso del agua, un tanque de llegada y cámaras de entrada para cada unidad de filtración.

El tanque de llegada recibirá todo el flujo y lo repartirá equitativamente a las unidades de filtración; las cámaras de entrada deben disipar la energía y asegurar la entrada del flujo sin turbulencias, de tal manera que se evite el rompimiento de la biomembrana o la no formación de esta sobre el lecho de arena (Visscher et al., 1992).

La estructura de entrada tiene que cumplir las siguientes funciones: realizar una repartición del caudal de manera equitativa a las unidades de filtración, uniformizar el flujo que ingresa a cada caja, en general regular los caudales de ingreso con ayuda de un sistema de válvulas y compuertas (Visscher et al., 1992).

2.4.2.10 Estructura de salida Está constituida por canales o cámaras de salida que funcionan como vertederos, debe contar también con un canal de recolección común a ambas unidades de donde sale el agua ya filtrada hacia el tanque de distribución.

Las funciones principales de la estructura de salida son las siguientes (Visscher et al., 1992):

- Evitar la formación de presión inferior a la atmosférica en el lecho filtrante.
- Desocupar de manera independiente cada unidad de filtración.
- Permitir el llenado de forma ascendente de las unidades de filtración.
- Controlar, medir el flujo y la velocidad de filtración.

2.4.2.11 Sistema de drenaje El sistema de drenaje sirve para dos propósitos: en primer lugar, permite el paso libre del agua tratada y en segundo lugar, soporta el lecho de material filtrante (Visscher et al., 1992). Generalmente consta de un drenaje principal y uno lateral contruidos de tuberías perforadas, o de un piso falso hecho en bloques de hormigón o de ladrillo, cubierto con capas de grava gradada. El espesor del sistema de drenaje, incluyendo las capas de grava, pueden

variar de 0.2 a 0.5 m, aunque su profundidad será de 0.15 a 0.2 si se emplean tuberías corrugadas (Visscher et al., 1992).

El drenaje debe cumplir las siguientes funciones:

- Soportar el material filtrante e impedir que sea arrastrado a través del sistema de drenaje.
- Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada, a través de toda el área de filtración.
- Permitir el llenado ascendente de los filtros.

Para impedir la pérdida de material filtrante se debe colocar una capa de soporte compuesta por grava.

En el Anexo 1 se muestran los sistemas de drenaje más comunes para filtros lentos.

2.4.2.12 Presupuesto de Construcción Se determinó el presupuesto de construcción en función del costo de los materiales como cemento, arena de construcción, grava, acero para refuerzo, arena para filtros, tuberías, válvulas, costo de la mano de obra, transporte de los materiales al lugar y herramientas o equipo menor.

3. Resultados

3.1 Caracterización del área de estudio

En esta sección se expone información sobre el ecosistema páramo Berlín y la zona estudiada, vereda Los Andes-El progreso.

El páramo de Berlín se localiza en el sitio denominado “El Picacho”, siguiendo sobre la vía Nacional Bucaramanga- Pamplona -Cúcuta, vía que durante 39 Km atraviesa el área paramo de Berlín hasta el sitio denominado “La Laguna”, en el Km 87. El territorio tiene alturas entre 2,200 y 4,100 msnm, cuenta con una extensión de 44,272 hectáreas, está ubicado al norte de la Cordillera Oriental de Colombia y comprende los departamentos de Santander y Norte de Santander (UIS, CDMB, 2017). Berlín cuenta con 35,675 hectáreas en vegetación natural de páramo (pajonales, herbáceas de páramos y arbustos) correspondiente al 80.5% del suelo, otro 7.6% concierne a otros usos de suelo como afloramientos rocosos, coníferas secundario, rastrojos, pastos con árboles y pastos naturales (UIS, CDMB, 2017).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial, dentro del área propuesta como DMI- PÁRAMO DE BERLÍN, se han identificado cinco zonas ambientales: zona urbana de producción, zona de recuperación para la producción, zona de protección, zona para la preservación, zona de recuperación para la preservación.

El área de páramo de Berlín cuenta con una población de 8,920 habitantes que ocupan 1,995 viviendas. Esta población se distribuye en 4,128 personas en áreas urbanas de Berlín y centros poblados de Silos, 4,791 habitantes en el área rural(CDMB, 2008). La base de la economía de los habitantes del páramo de Berlín, son las actividades agrícolas que cuenta con un área aproximadamente de 1,716 hectáreas que se distribuyen entre cebolla (610 has) y papa (870 has), las actividades pecuarias, son representadas por la ganadera bovina y ovina(Restrepo, Suárez, & Álvarez, 2008).

La biodiversidad del páramo cuenta con aves de 18 familias, 40 géneros y 43 especies, mamíferos en peligro de extinción y diferentes especies vulnerables como lo son: Tremarctos ornatus, Leopardus tigrinus y Dinmys branickii (CDMB, 2008). En cuanto a las plantas, se han

registrado 34 familias, 84 géneros y 142 especies, de las cuales hasta la fecha figuran en el Libro Rojo de Plantas de Colombia las que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2:

Especies de flora amenazadas.

Categoría de Amenaza	Nombre Común	Nombre Científico
Estado crítico (CR)	Frailejón	Espeletia dugandii
En peligro(EN)	Frailejón aglomerado	Espeletia conglomerata
	Frailejón de Estanislao	Espeletia estanislana
	Frailejón de Rosita	Espeletia rositae
	Frailejón enano	Espeletiopsis caldasii
	Frailejón coriaceo	Espeletiopsis sclerophylla
	Frailejón tabaquero	Tamania chardonii
Vulnerable(VU)	Frailejón	Espeletia standleyana

Nota. Tomado de: Plan integral de manejo del distrito de manejo integrado de los recursos naturales “páramo de Berlín”.

El sistema hídrico de páramo pertenece a dos zonas hidrográficas principales, Cuenca del río Arauca y Cuenca del río Catatumbo, las cuales son de carácter binacional, productoras de agua que abastecen a el área metropolitana de Bucaramanga y Cúcuta, también cuenta con seis Microcuencas (Restrepo et al., 2008).

La región de páramo comprende dos temporadas lluviosas y dos temporadas secas; el mes con mayor precipitación es mayo, mientras que la época más seca comprende los meses de diciembre y enero, variando su temperatura entre 0°C hasta 20°C (UIS, CDMB, 2017) (CDMB, 2008). Los valores totales diarios de brillo solar del año 2016 dan evidencia que el mes de enero tiene la mayor cantidad de horas de brillo solar, a diferencia del mes de marzo que muestra la menor cantidad.

En la Figura 3 se muestra un esquema gráfico resumiendo las características del ecosistema.



Figura 3. Esquema gráfico de las características del ecosistema.

3.1.1 Vereda El Progreso En el año 1990, gracias a diferentes desplazamientos se empieza a asentar la comunidad en estas tierras con aproximadamente 6 viviendas, buscando mejores condiciones de vida para los miembros de sus familias (UIS, CDMB, 2017).

En la actualidad, El Progreso constituye una de las 20 veredas del área de páramo de Berlín, contando con 85 viviendas, con una demografía de 4 habitantes por vivienda, siendo aproximadamente 340 habitantes (UIS, CDMB, 2017). En cuanto a nivel educativo, estudios del grupo GPH, encontraron que el 43% de la población ha completado la primaria, el 31% tiene la primaria incompleta, el 12% bachillerato completo y el otro porcentaje restante se divide en bachillerato completo, ningún estudio y tecnología completa. Respecto a la propiedad de la

vivienda, el 49% de las personas viven en casa propia, el 43% viven en arriendo y el restante vive en casa prestada (UIS, CDMB, 2017).

La actividad agrícola es la principal fuente de ingreso económica para la población, principalmente el cultivo de cebolla, ya que 95.4% de los usuarios encuestados tiene cultivos de cebolla y el 4.7% cultivos de papa, también, parte de los habitantes incursiona en el sector pecuario; 58% reportó tener animales (ganado vacuno, ovino y aves) en el predio (UIS, CDMB, 2017).

3.1.2 Sistema de abastecimiento de agua de la Vereda Los Andes-El Progreso La comunidad de la Vereda Los Andes – El Progreso cuenta con un sistema de abastecimiento de agua conformado por una estructura de captación, un desarenador y una red de tuberías de PVC, con conexiones domiciliarias. El agua almacenada no recibe ningún tratamiento y existe evidencia de la presencia de animales cerca al punto de captación. Este sistema fue construido por el municipio y lleva más de 5 años funcionando (UIS, CDMB, 2017). En la Figura 4 se puede observar la ubicación de los usuarios del sistema de abastecimiento.

El sistema de captación consiste en una bocatoma de fondo con un muro transversal de longitud 2.44m y espesor de 40cm, la cámara de recolección se encuentra ubicada entre los muros transversales y oblicuos. La tubería de aducción conecta la estructura de captación con el desarenador por medio de una tubería de PVC de 4”, ubicado 6m aguas debajo de la estructura de captación, también cuenta con una cámara de salida junto con su vertedero de salida (UIS, CDMB, 2017).

El sistema cuenta con un tanque de almacenamiento cuadrado 5.7m de lado, con una profundidad de 2.2m, dos tuberías de ventilación de 3” de diámetro sin ningún tipo de protección

ubicados en la parte superior; el 34% de las personas encuestadas manifestó que no conoce las actividades de operación y mantenimiento (UIS, CDMB, 2017). En la Figura 4 se puede observar la ubicación de la bocatoma y del tanque de almacenamiento.

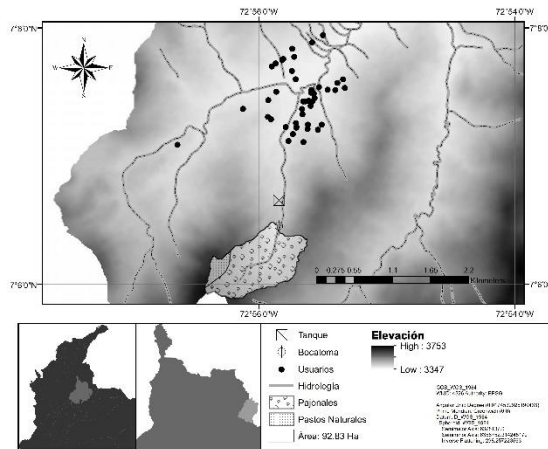


Figura 4. Localización de la cuenca y de los usuarios.

Nota. Tomado de Grupo GPH referencia (UIS, CDMB, 2017).

3.1.3 Calidad del agua en la vereda El Progreso Existen datos disponibles de calidad de agua en la bocatoma del sistema de abastecimiento para los parámetros de pH, Turbiedad, Color, Conductividad, Sulfatos, Cloruros, Dureza, Alcalinidad, Sólidos totales, Coliformes totales y E. coli. Para el tanque de almacenamiento y la vivienda más alejada solo se analizaron los parámetros de turbiedad, coliformes totales y E. coli. (ver Anexo 2). En la Tabla 3 se muestran los resultados promedio de los parámetros analizados en la bocatoma del sistema de abastecimiento. Este análisis permite concluir que la calidad de agua no cumple los estándares para consumo establecidos por la resolución 2115 del 22 de junio del 2007. A estos resultados se le suma que el 74% de los encuestados no realiza ningún tipo de tratamiento al agua previamente a su consumo (UIS, CDMB,

2017). Según lo anterior, se determinó la necesidad de implementar una alternativa de solución que ayude a mejorar la calidad del agua.

3.2 Selección de la alternativa de mejoramiento

Después de analizar los resultados de los estudios realizados por el grupo GPH a la calidad del agua; se encontró que los parámetros de coliformes totales, E coli, y en algunas ocasiones el color y la turbiedad superan los límites máximos permitidos por la normativa colombiana en la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007, establecida por el Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial como se muestra en la Tabla 3.

Siendo los parámetros microbiológicos los de mayor riesgo de acuerdo con los resultados de la calidad del agua de la zona, se identificó la necesidad de contar con una alternativa de desinfección. Las diferentes alternativas de desinfección del agua se pueden dividir entre colectivas e individuales, siendo estas últimas responsabilidades de aplicar o no por parte de cada una de las familias. Entre estas se encuentran: asentar el agua y vaciarla en otro recipiente para después hervirla, la desinfección solar, la utilización de un filtro casero de tela o de carbón y el uso de algún químico como el Cloro o Bromo (Conant & Fadem, 2011).

Entre las medidas colectivas se encuentran: desde un filtro de arena hasta una alternativa más compleja como lo es una planta de tratamiento de agua potable, estas deben ir acompañadas con medidas de protección que ayuden a la conservación y defensa del ecosistema allí presente, actuando como escudo contra contaminantes (Conant, 2005).

Sin embargo, debido a las condiciones naturales del agua de Páramo, se determinó que no era necesario una alternativa compleja de mejoramiento y que lo más adecuado consiste en una medida de protección ribereña acompañada de un sistema sencillo de desinfección del agua.

Tabla 3.

Parámetros de calidad del agua en la quebrada "Las Puentes"

Parámetro estudiado	Época	Resultados promedios	Valor Máximo Aceptable*	Porcentaje veces que cumplió norma
pH	seca	7.29	[6.5-9]	100%
	lluviosa	7.38		100%
Turbiedad	seca	1.97[NTU]	2[NTU]	50%
	lluviosa	3.53[NTU]		20%
Color	seca	14 [UPC]	15[UPC]	60%
	lluviosa	15.6[UPC]		50%
Conductividad	seca	26.7[μ S/cm]	1,000[μ S/cm]	100%
	lluviosa	26.3[μ S/cm]		100%
Sulfatos	seca	4.17[mgSO ₄ /L]	250[mgSO ₄ /L]	100%
	lluviosa	1.18[mgSO ₄ /L]		100%
Cloruros	seca	6.03[mgCl/L]	250[mgCl/L]	100%
	lluviosa	6.56[mgCl/L]		100%
Dureza	seca	24.2[mgCaCO ₃ /L]	300[mgCaCO ₃ /L]	100%
	lluviosa	30.2[mgCaCO ₃ /L]		100%
Alcalinidad	seca	43.92[mgCaCO ₃ /L]	200[mgCaCO ₃ /L]	100%
	lluviosa	34.83[mgCaCO ₃ /L]		100%
Coliformes totales	seca	191[UFC/100 ml]	0[UFC/100 ml]	0%
	lluviosa	600 [UFC/100 ml]		0%
E. coli	seca	61 [UFC/100 ml]	0[UFC/100 ml]	0%
	lluviosa	197 [UFC/100 ml]		0%

Nota. Tomado de Grupo GPH.

* Valores máximos permitidos por la normativa colombiana en la Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 capítulo II.

Nota: Los resultados en la Época seca son el promedio de 6 mediciones y para Época lluviosa son el promedio de 5 mediciones menos los parámetros de pH, conductividad, sulfatos, cloruros y alcalinidad que fueron el resultado promedio de 4 mediciones.

Para esto, se ha buscado un sistema de tratamiento de las aguas crudas, que facilite operación y mantenimiento simple, sencillo y económico para el sector rural y que garantice una remoción del problema (coliformes) de un 99%, además, que no genere gastos adicionales por energía eléctrica y su construcción sea simple.

En la Tabla 4 se pueden ver las posibles técnicas que reúnen estas características y los parámetros que se usaron para la selección de la alternativa final.

Tabla 4.

Técnicas de tratamiento de agua cruda.

Alternativas	Límites de calidad del agua cruda aceptables		
	90 % del tiempo	80 % del tiempo	Esporádicamente
Filtro Lento de arena (FLA)	To < 50 UNT Co < 50 UC Cf < 10^4 / 100 ml	To < 20 UNT Co < 40 UC	To Max < 100 UNT
FLA + Prefiltros de Grava (PG)	To < 100 UNT Co < 60 UC Cf < 10^4 / 100 ml	To < 60 UNT Co < 40 UC	To Max < 150 UNT
FLA + PG + Sedimentador (S)	To < 300 UNT Co < 60 UC Cf < 10^4 / 100 ml	To < 200 UNT Co < 40 UC	To Max < 500 UNT
FLA + PG + S + Predisementador	To < 500 UNT Co < 60 UC Cf < 10^4 / 100 ml	To < 200 UNT Co < 40 UC	To Max < 1,000 UNT

Nota.: Adaptado por autores en base en R. Rojas and S. Guevara, “Construcción, Operación y Mantenimiento del Filtro Lento de Arena”.

Donde:

Co: Color de agua cruda. To: Turbiedad del agua cruda. Cf: Coliformes fecales.

Para seleccionar una alternativa se compararon los valores críticos de coliformes, turbiedad y color presentes en el sistema de abastecimiento como se muestra en la Tabla 5 con los valores de la Tabla 4.

De acuerdo con lo anterior, todas las opciones podrían ser implementadas, sin embargo, la opción más viable para el sistema de abastecimiento corresponde a un Filtro Lento de Arena (FLA). No obstante, la quebrada Las Puentes se encuentra permanentemente bajo el riesgo de contaminación por cualquier acción eventual.

Por tanto, para reducir esta vulnerabilidad, se planteó complementar el FLA con un encerramiento de la zona de quebrada, siendo este un aislamiento a personas y animales que generen contaminación. De esta manera, se seleccionaron estas dos alternativas a nivel colectivo. En el futuro, mediante algún programa de capacitación a la comunidad, podría complementarse estas alternativas, con opciones de mejoramiento del agua a nivel individual.

Tabla 5.

Comparación de los valores críticos del sistema con la alternativa seleccionada.

Alternativas	Comparación valores críticos	Cumple los criterios
Filtro Lento de arena (FLA)	$7.5 < 50 \text{ UNT}$ $19 < 50 \text{ UC}$ $1,010 < 10^4 / 100 \text{ ml}$	Si
FLA + Prefiltro de Grava (PG)	$7.5 < 100 \text{ UNT}$ $19 < 60 \text{ UC}$ $1,010 < 10^4 / 100 \text{ ml}$	si
FLA + PG + Sedimentador (S)	$7.5 < 300 \text{ UNT}$ $19 < 60 \text{ UC}$ $1,010 < 10^4 / 100 \text{ ml}$	si
FLA + PG + S + Predisementador	$7.5 < 500 \text{ UNT}$ $19 < 60 \text{ UC}$ $1,010 < 10^4 / 100 \text{ ml}$	si

3.3 Diseño preliminar de la alternativa de mejoramiento

A continuación, se muestran los resultados del proceso de diseño de las alternativas de mejoramiento.

3.3.1 Diseño preliminar del aislamiento de la zona de captación Para proteger la fuente de agua se diseñó un aislamiento que permitirá preservar la calidad inicial, a continuación, se muestra los resultados.

Según lo dicho en 3.4.1. se representó gráficamente la hidrografía de la zona a la cual pertenece la quebrada las puentes y se muestra en la Figura 5. Ver Anexo 3.

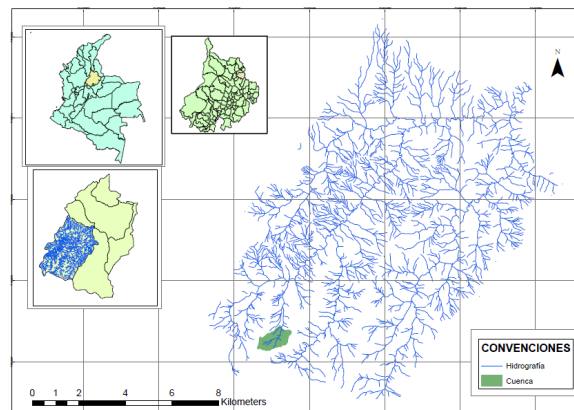


Figura 5. Hidrografía.

Nota. Tomado de: IGAC (www.Igac.com.co).

Según lo dicho en 3.4.1. se realizó la clasificación de la hidrografía bajo el sistema de Strahler como se evidencia en la Figura 6 que indica que para la quebrada las puentes el tipo de curso del agua es de orden 2. Ver Anexo 4.

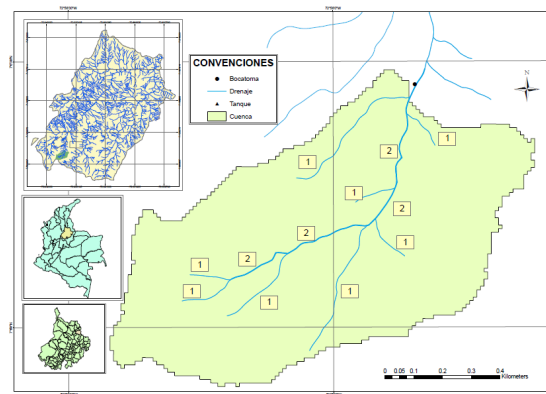


Figura 6. Clasificación de la hidrografía de la zona según Strahler.

Según la Tabla 1 y de acuerdo con las características de tipo de curso de agua, se eligió el ancho del corredor ribereño que es 20 metros, para un total de 40 metros de ancho ribereño más el ancho del canal de cauce.

Según lo dicho en 3.4.1 se realizó el buffer en el software ArcMap el resultado se muestra en la Figura 7, después se exportó al software AutoCAD para calcular el perímetro total de la zona a aislar y poder así con este calcular el presupuesto. Ver Anexo 5.

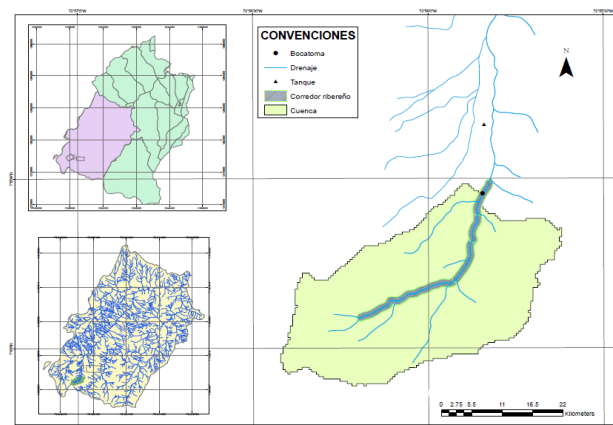


Figura 7. Aislamiento de la quebrada las puentes (buffer 20 metros).

Tradicionalmente las cercas en las zonas rurales de Colombia son construidas con alambre de púas y postes de cemento, metal, madera o plástico.

Según el mapa del aislamiento propuesto, la longitud del perímetro a cercar corresponde a 2,395[m]. Para un adecuado funcionamiento es recomendable que la distancia entre los postes sea entre 2 [m]. Según el mercado nacional y local el costo total del aislamiento es de COP\$ 20'614,879, (ver Anexo 6). Este valor fue calculado usando, los precios unitarios del material a utilizar, el valor del transporte y la mano de obra. Los postes a utilizar son de plástico, amigables con el medio ambiente, cotizados en una empresa nacional.

3.3.2 Diseño preliminar del Filtro Lento de Arena Se diseñó un FLA con la finalidad de mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. A continuación, se muestra los resultados.

3.3.2.1 Periodo de diseño De acuerdo con lo descrito en 3.4.2.1, se determinó un periodo de diseño de 25 años.

3.3.2.2 Población de diseño La población actual que se abastece del acueducto Los Andes-El progreso es de 340 Habitantes, se calculó una tasa de crecimiento poblacional según la Ecuación 2 y se estableció un periodo de diseño de 25 años, luego conforme a la Ecuación 1 se realizó el cálculo de la población de diseño.

$$r = \ln \left(\frac{340}{24} * \frac{1}{27} * 100 \right) = 3.96 \approx 4 \%$$

$$P_d = 340(1 + (0.01)(4))^{25} = 906 [hab]$$

De acuerdo con el método geométrico poblacional las personas beneficiadas dentro de 25 años serán de 906 habitantes.

3.3.2.3 Dotación neta y dotación bruta Según los estudios realizados por el grupo GPH de la UIS, la población actual demanda una tasa de 740 l/hab/día, dado que utilizan el recurso hídrico para fines domésticos, agrícolas y pecuarios. Sin embargo, la Resolución 0330 del 08 de junio del 2017 del RAS establece que la dotación neta máxima para uso doméstico se rige según la Tabla 6.

Tabla 6.

Dotación neta máxima para uso doméstico.

Altura Promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
> 2,000 m.s.n.m	120
1,000 – 2,000 m.s.n.m	130
< 1,000 m.s.n.m	140

Nota. Tomado de Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS.

Según lo anterior se establece como demanda neta del sistema un valor de 120 L/Hab/Día, sin embargo se consideró contemplar la demanda de agua debido a la actividad pecuaria que corresponde a 25 L/Hab/Día(UIS, CDMB, 2017) lo que da un total de 145 L/Hab/Día.

La dotación bruta de diseño tiene en cuenta las pérdidas de agua que pueden generarse en el sistema de abastecimiento, se asume un porcentaje de pérdidas de 30% debido a las malas condiciones en las que se encuentra el sistema de distribución del agua, y se realizó el cálculo de acuerdo con la Ecuación 3.

$$D_{bruta} = \frac{145}{(1 - 30\%)} = 207.14 \text{ L/Hab/Dia.}$$

Según lo anterior el valor de la dotación bruta corresponde a 207.14 L/Hab/Dia.

3.3.2.4 Demanda diaria de diseño De acuerdo con 3.4.2.4, se realizó el cálculo de demanda diaria de diseño:

$$Demanda_{Diseño} = 906 * 207.14 = 187,688 \text{ L/Dia}$$

Según lo anterior la demanda de diseño corresponde a 187,688 L/Dia.

Este valor representa el 12 % del caudal total disponible registrado en la bocatoma en época seca, lo que indica que la tecnología utilizada es viable.

3.3.2.5 Área del filtro Según la literatura, los valores recomendados de velocidad de filtración están entre 0.1 y 0.3 m/h. Para este caso, se tomó un valor de 0.2 m/h y el cálculo se realizó según la Ecuación 4.

$$Q = 187,688 * \frac{1}{1000} * \frac{1}{24} = 7.82 \frac{m^3}{h}$$

$$A = \frac{Q}{q_f} = \frac{7.82}{0.2} = 39 \text{ m}^2$$

Según lo anterior el área mínima del lecho filtrante corresponde a 39 m².

Por lo tanto, se aplica la Ecuación 5 para el cálculo de cantidades de filtración:

$$n = 0.5 \sqrt[3]{A} = 0.5 \sqrt[3]{39} = 1.69 \approx 2$$

El número de unidades de filtración corresponde a dos.

3.3.2.6 Longitud total de las paredes Longitudes mínimas de cada unidad se realiza según las Ecuaciones 7 y 8, son las siguientes:

$$l = \sqrt{\frac{2A}{n+1}} = \sqrt{\frac{2(39.1)}{2+1}} = 5 \text{ [m]}$$

$$b = \frac{(n+1)l}{2n} = \frac{(2+1) * 5}{(2) * (2)} = 3.75 \text{ [m]}$$

Por lo tanto, las longitudes de cada unidad de filtración son las siguientes:

$$l = 5 \text{ [m]}$$

$$b = 4 \text{ [m]}$$

En la Figura 8 se muestra las dimensiones de las unidades de filtración.

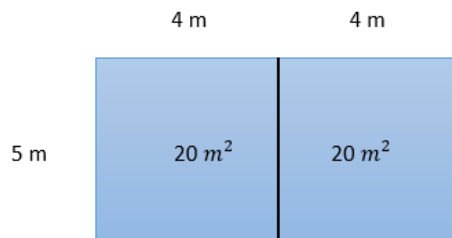


Figura 8. Longitudes de las unidades de filtración

Por lo tanto, se realiza el cálculo para la longitud total de las paredes, según la Ecuación 6.

$$L Total_{paredes} = 2nb + l(n+1)$$

$$L Total_{paredes} = 2(2)(4) + 5(2+1)$$

$$L Total_{paredes} = 31 \text{ [m]}$$

El espesor de las paredes debe ser de 0.2 [m] y deben estar construidas en concreto reforzado.

3.3.2.7 Características del lecho filtrante y medio de soporte De acuerdo con las recomendaciones establecidas en 3.4.2.7, el espesor de las capas del lecho filtrante y del medio de

soporte corresponde a una capa de arena fina de espesor 35 cm con partículas de diámetro entre 0.2 y 0.3 mm, una capa de arena gruesa de espesor 35 cm con partículas de diámetro entre 1 y 1.4 mm, estas dos capas de arena deben tener un coeficiente de uniformidad menor a 5.

El medio de soporte debe contar con dos capas de grava una de ellas de espesor 15 cm con partículas de diámetro entre 4 y 5.6 mm y la otra de espesor 25 cm con partículas de diámetro entre 16 y 23mm.

En el Anexo 7 se puede apreciar con más detalle el lecho filtrante y el medio de soporte.

3.3.2.8 Caja de filtro De acuerdo con las recomendaciones establecidas en 3.4.2.8, la altura total del filtro es de 2.35 m y está distribuida en un medio de soporte con un espesor de 40 cm, el lecho filtrante con espesor de 70 cm, la capa de agua sobrenadante de 100 cm y un borde libre de seguridad de 25 cm de espesor. En el Anexo 7 se encuentra con más detalle las especificaciones de la caja de filtro.

3.3.2.9 Estructura de entrada De acuerdo a 3.4.2.9, la estructura de entrada contará con un tanque de llegada de 3.50 [m] de ancho y 1.0 [m] de largo, el agua llegará a través de una tubería de diámetro de 4" y se repartirá a cada unidad de filtración por medio de cámaras de entrada de longitudes de 4 [m] de ancho y 0.8 [m] de largo, para poder controlar el nivel del agua en el filtro y poder hacer las labores de mantenimiento se debe instalar dos válvulas para cada unidad de filtración: una que permita controlar el ingreso del flujo a la cámara de entrada y otra en la tubería de desagüe que permita desocuparla (Ver Anexos 8 y 9).

3.3.2.10 Estructura de salida De acuerdo a 3.4.2.10, la estructura de salida contará con una cámara de salida para cada unidad de filtración de dimensiones 1.65 [m] de ancho por 1.5 [m] de largo a las cuales el agua llegará por medio de un canal de recolección común disponible en el sistema de drenaje para posteriormente depositarse en el tanque de salida de dimensiones 3.5 [m] de ancho por 1.0 [m] de largo y saldrá del sistema de filtración a través de una tubería de diámetro de 4" hacia el tanque de distribución, al igual que en la estructura de entrada se debe instalar válvulas para el control del agua y permitir labores de mantenimiento (Ver Anexos 8 y 9).

3.3.2.11 Sistema de drenaje De acuerdo con 3.4.2.11, el sistema de drenaje escogido es el de tuberías perforadas (ver Anexo 1) y contará con un drenaje principal de tubería de PVC de diámetro de 3" con longitud de 5.20 m y un drenaje lateral de tubería de PVC de longitud de 3 m, diámetro de 1.5" que debe tener en su superficie orificios de 1 cm de diámetro separados a una distancia de 20 cm por donde el agua entrará para ser transportada al drenaje principal y de allí a la cámara de salida. La separación de los tubos laterales debe ser de 0.5 m entre ellos, conservando una distancia entre la pared de la caja de filtro y estos de 0.5 m. (Ver Anexo 10).

3.3.2.12 Presupuesto del Filtro Lento de Arena Según la cotización realizada en empresas de la región, el costo total del filtro lento es de COP\$ 47'028,195. Este valor se calculó sumando el costo de los materiales necesarios para realizar la construcción y la mano de obra. No incluye el costo del área requerida para la obra. (ver Anexo 11).

Se realizó un modelo tridimensional del filtro lento el cual se puede observar en el Anexo 12.

4. Discusión

En Colombia, de acuerdo con el artículo 3 del Decreto 1449 de 1977 (República de Colombia, 1977), son consideradas *áreas forestales* una franja de al menos 30m a partir de la cota máxima de inundación de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua. En el proceso de determinación del corredor ribereño, este artículo es general, no hace una respectiva clasificación de acuerdo con el cauce ni a la zona en la cual este se encuentra.

El ancho del cauce estudiado es de aproximadamente 2 metros, lo que no justifica una franja tan extensa como lo son 30 metros. Además, en muchos casos es difícil negociar con los propietarios de los predios que renuncien a estas extensiones de sus parcelas. Por lo tanto, desde una perspectiva más pragmática se usó lo propuesto por la oficina de agua NSW de Australia, con esto se evidencia que la normativa colombiana es limitada en algunas situaciones, principalmente en zonas rurales.

Por otra parte, se estableció como demanda neta un valor de 120 L/hab/día. Sin embargo, los habitantes de la zona realizan actividades productivas como la ganadería y la agricultura que demandan el uso de agua, recurso que los usuarios obtienen por medio del sistema, aunque ellos manifiesten que el único uso que le dan al agua es doméstico (UIS, CDMB, 2017). En Colombia es derecho de todos disponer de agua suficiente, salubre, aceptable y asequible para el uso personal o doméstico. Aunque para el cálculo de la demanda en este caso, se usó el enfoque conservador propuesto por la reglamentación nacional, debe reconocerse que el agua en poblaciones rurales se

emplea para usos múltiples, entre ellos productivos, recursos que serán utilizados para la producción de alimentos, contribuyendo a la economía de las familias campesinas y al bienestar de los consumidores. Es importante reconocer el uso múltiple del agua, de no hacerlo podría presentarse un inadecuado funcionamiento del sistema de abastecimiento debido a que los usuarios intentarían abastecerse del recurso accediendo a este de otras maneras por medio de conexiones no autorizadas, llevando a una sobrecarga o posibles conflictos entre los usuarios (Smits, van Koppen, Moriarty, & Butterworth, 2010).

Cada comunidad tiene la capacidad de organizarse y llegar a un acuerdo sobre la cantidad de agua permitida para usos no domésticos, debido a que cada sistema de abastecimiento posee diferentes demandas y dispone de diferentes ofertas del recurso. Según lo anterior se consideró contemplar en el diseño preliminar la demanda de agua debido a la actividad pecuaria que corresponde a 25 L/hab/día. Sumando estos dos valores la demanda neta de diseño corresponde a 145 L/hab/día.

Si se trabaja en el futuro en mejorar las pérdidas en la red de distribución, el ahorro generado por un mejor manejo del sistema puede contribuir a disponer de agua para uso múltiple.

5. Conclusiones

Las condiciones actuales del acueducto son precarias, la tecnología es obsoleta y presenta grandes falencias, por lo tanto, se requiere una pronta intervención en donde las alternativas propuestas en este documento son posibles soluciones al problema.

El aislamiento de la zona de captación disminuiría las condiciones de coliformes presentes en el agua, restringiendo el paso de animales, cerca de la captación de agua y garantizaría el paso exclusivo a personas que estén relacionadas con el acueducto.

La alternativa de filtro lento se constituye como el tratamiento más adecuado que se puede incluir en el acueducto, gracias a su efectividad en el proceso de purificación del agua, factibilidad técnica y económica, su simplicidad de operación y mantenimiento.

Estas alternativas pueden complementarse en el caso de ser instaladas al tiempo dado que el aislamiento se encargaría de tratar el problema aguas arriba de la captación siendo una medida de protección y el filtro lento de arena mediante su acción de potabilización garantizaría una calidad de agua óptima para el consumo humano, también es claro que es un prediseño con fines de planeación y de esbozar unas mejoras, porque claramente no se realizó un diseño hidráulico ni estructural detallado.

Si las alternativas propuestas en este documento se llegan a implementar, es de gran importancia que se realice una socialización con la comunidad sobre la necesidad de contar con agua potable para el consumo y de las ventajas que traería las alternativas mencionadas, esto con la finalidad de motivar el sentido de pertenencia hacia el sistema.

6. Recomendaciones

Es necesario capacitar a las personas encargadas de las labores de mantenimiento y operación garantizando un adecuado funcionamiento que permita que la alternativa tenga una larga vida útil.

Además, es importante realizar mediciones de los parámetros de calidad de agua posteriores a las intervenciones para evaluar la efectividad de estas.

Referencias Bibliográficas

- Abell, R., Lehner, B., Thieme, M., & Linke, S. (2017). Looking Beyond the Fenceline: Assessing Protection Gaps for the World's Rivers. *Conservation Letters*, 10(4), 383–393. <https://doi.org/10.1111/conl.12312>
- Casero, D. (2007). Abastecimiento y saneamiento urbano. *Escuela De Negocios, 3ra Edición*, 1–144.
- CDMB, C. (2008). DECLARATORIA DE UN ÁREA DE MANEJO ESPECIAL EN EL PÁRAMO DE BERLÍN.
- Conant, J. (2005). Agua para vivir, como proteger el Agua comunitaria. *Programa de Las Naciones Unidas Para El Desarrollo*, 52.
- Conant, J., & Fadem, P. (2011). *Guía comunitaria para la Salud Ambiental*.
- DPI. (2012). Guidelines for riparian corridors on waterfront land, 2000, 1–5.
- Ministerio, vivienda ciudad y territorio. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS. Bogotá, Colombia.
- Morales betancourt, J. A. (2006). EL PÁRAMO : ¿ ECOSISTEMA EN VÍA DE EXTINCIÓN ?, (22), 39–51.
- Organizacion Mundial de la Salud [online]. (2017). <http://www.who.int>.
- Pivetta, M., Celular, T., Industrial, P., & Sogayar, M. (2011). La protección de las captaciones, 1–3.

- Restrepo, J., Suárez, C. A., & Álvarez, M. Y. (2008). Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales “Páramo de Berlín.” *Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga.*, 103.
- Rivas, G. (1963). Tratamiento de Potabilizacion de las Aguas, 2319504.
- Rojas, R., & Guevara, S. (2000). Construcción, Operación y Mantenimiento del Filtro Lento de Arena. *Journal of Animal Science*, 42(3), 575. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=8312714&lang=es&site=ehost-live>
- Smits, S., van Koppen, B., Moriarty, P., & Butterworth, J. (2010). Multiple-use services as an alternative to rural water supply services: A characterisation of the approach. *Water Alternatives*, 3(1), 102–121. [https://doi.org/Cited By \(since 1996\) 1](https://doi.org/Cited%20By%20(since%201996)%201%20Export%20Date%209%20July%202012%20Source%20Scopus)Export Date 9 July 2012Source Scopus
- UIS, CDMB, G. (2017). EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA RURALES COLECTIVOS EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO: CASO DE ESTUDIO BERLÍN (SANTANDER – COLOMBIA) GRUPO DE, (10719).
- Visser, J. T., Paramasivan, R., Raman, A., & Heijnen, H. A. (1992). *Filtración Lenta en Arena: Tratamiento de agua para comunidades.*
- Wwap. (2018). *Soluciones Basadas En La Naturaleza Para La Gestión Del Agua*. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Sistemas de drenaje más comunes para filtros lentos.

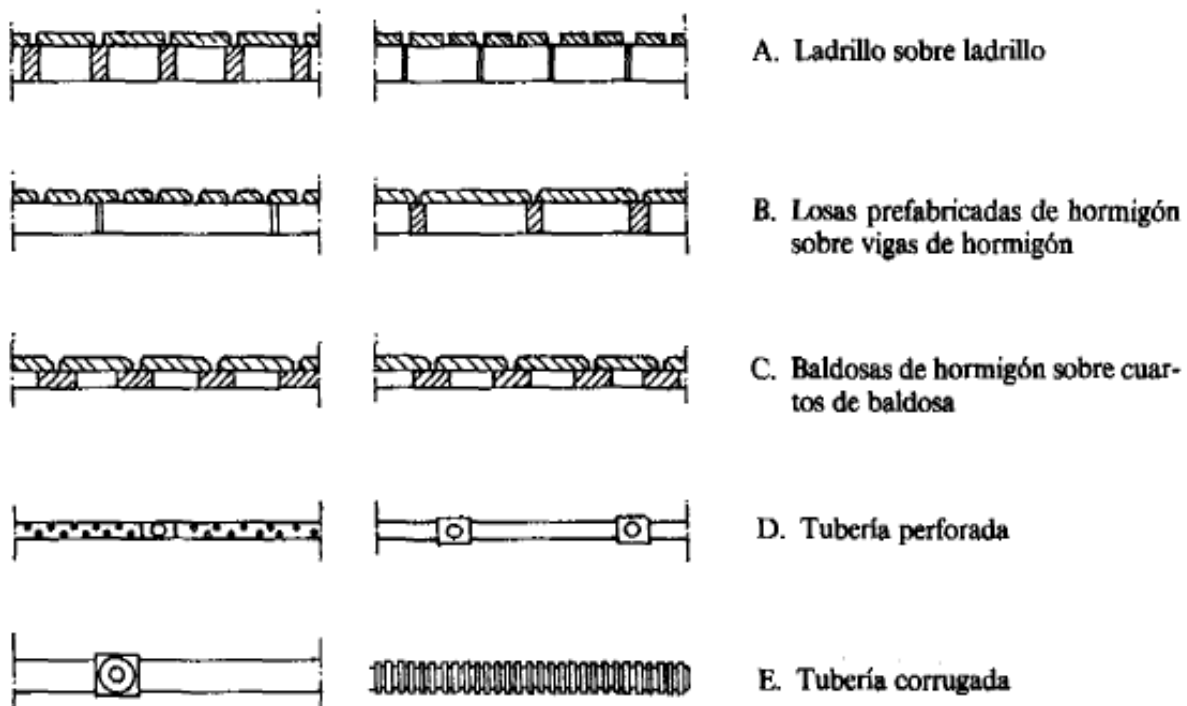


Figura. Sistemas de drenaje más comunes para filtros lentos.

Fuente. Filtración Lenta en Arena: Tratamiento de agua para comunidades.¹

¹ R. Rojas and S. Guevara, "Construcción, Operación y Mantenimiento del Filtro Lento de Arena.," *J. Anim. Sci.*, vol. 42, no. 3, p. 575, 2000.

Apéndice B. Parámetros de calidad del agua en el tanque de almacenamiento.

2

Tabla: Parámetros de calidad del agua. en el tanque de almacenamiento.

Parámetro estudiado	Época	Resultado	Cumplió con la norma
Turbiedad	seca	2.79[NTU]	NO
	lluviosa	5.94 [NTU]	NO
Coliformes totales	seca	253 [UFC/100 ml]	NO
	lluviosa	827 [UFC/100 ml]	NO
E. coli	seca	93 [UFC/100 ml]	NO
	lluviosa	208 [UFC/100 ml]	NO

Fuente: Grupo GPH.

Nota: Los resultados en la época seca son el promedio de 6 mediciones menos el parámetro de turbiedad que fue el resultado de 5 mediciones y para Época lluviosa son el promedio de 4 mediciones.

Parámetros de calidad del agua en la vivienda más alejada.

² G. UIS, cdm, “Evaluación de la sostenibilidad de abastecimientos de agua rurales colectivos en ecosistema de páramo: caso de estudio berlín (santander – colombia)” no. 10719, 2017.

Tabla:*Parámetros de calidad del agua. en la vivienda más alejada*

Parámetro estudiado	Época	Resultado	Cumplió con la norma
Turbiedad	seca	7.7[NTU]	NO
	lluviosa	7 [NTU]	NO
Coliformes totales	seca	370 [UFC/100 ml]	NO
	lluviosa	401 [UFC/100 ml]	NO
E. coli	seca	112 [UFC/100 ml]	NO
	lluviosa	82 [UFC/100 ml]	NO

Fuente Grupo GPH.

Los resultados en la época seca y época lluviosa son el promedio de 5 mediciones en ambos casos.

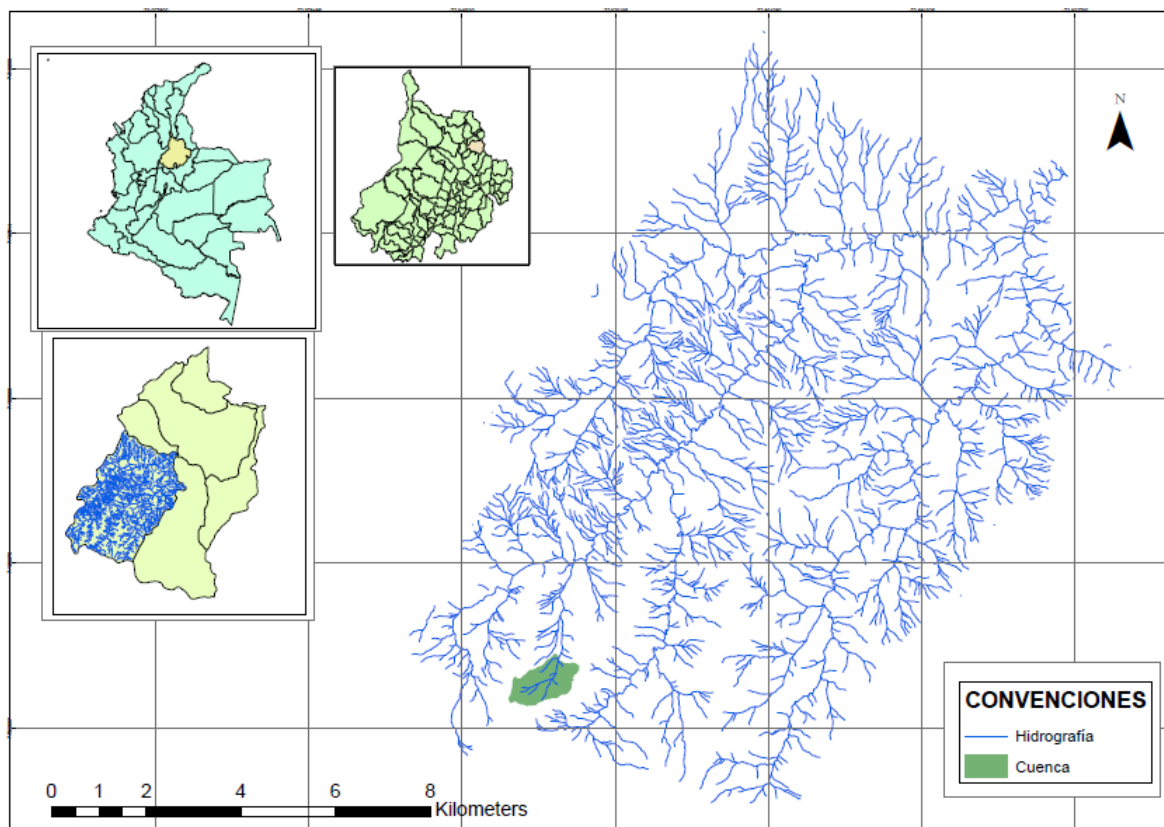
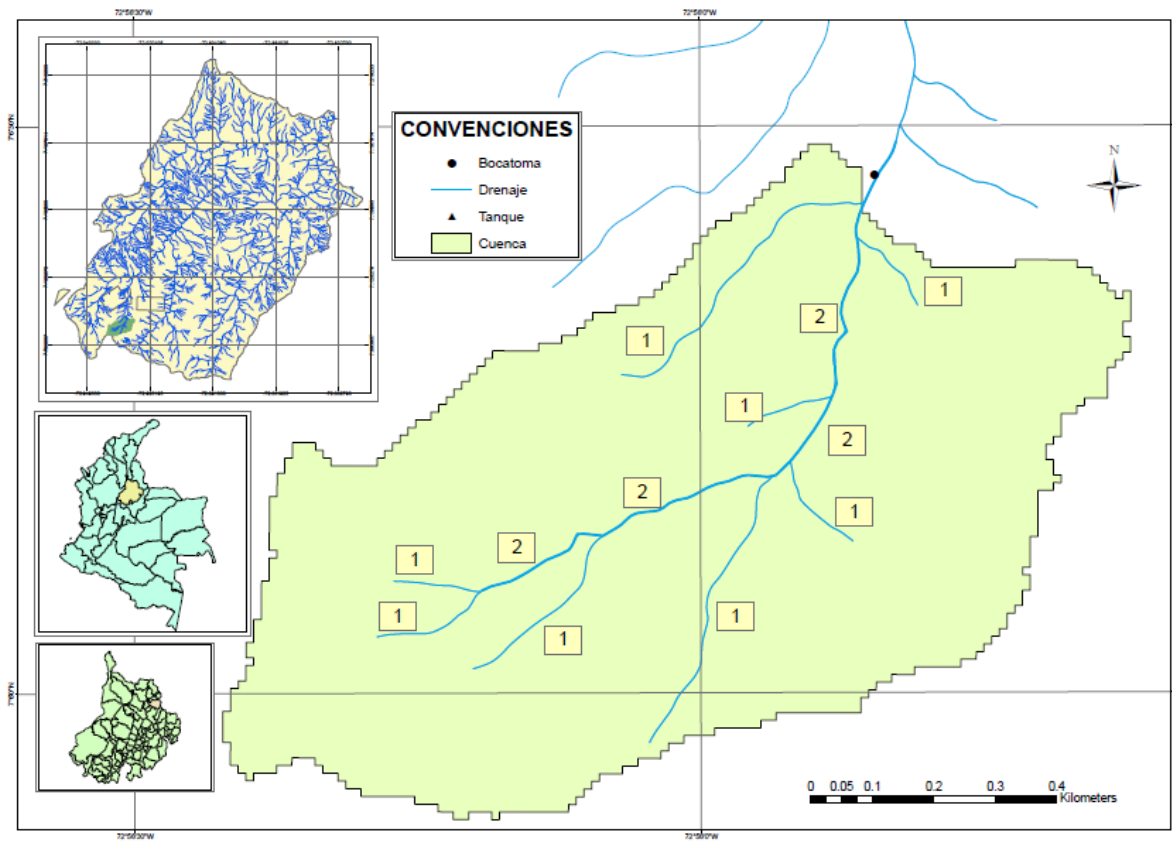
Apéndice C. Hidrografía del Páramo de Berlín.

Figura. Hidrografía del Páramo de Berlín.

Fuente. Autores

Apéndice D. Clasificación de la hidrografía de la zona según Strahler.**Figura.** Clasificación de la hidrografía de la zona según Strahler.

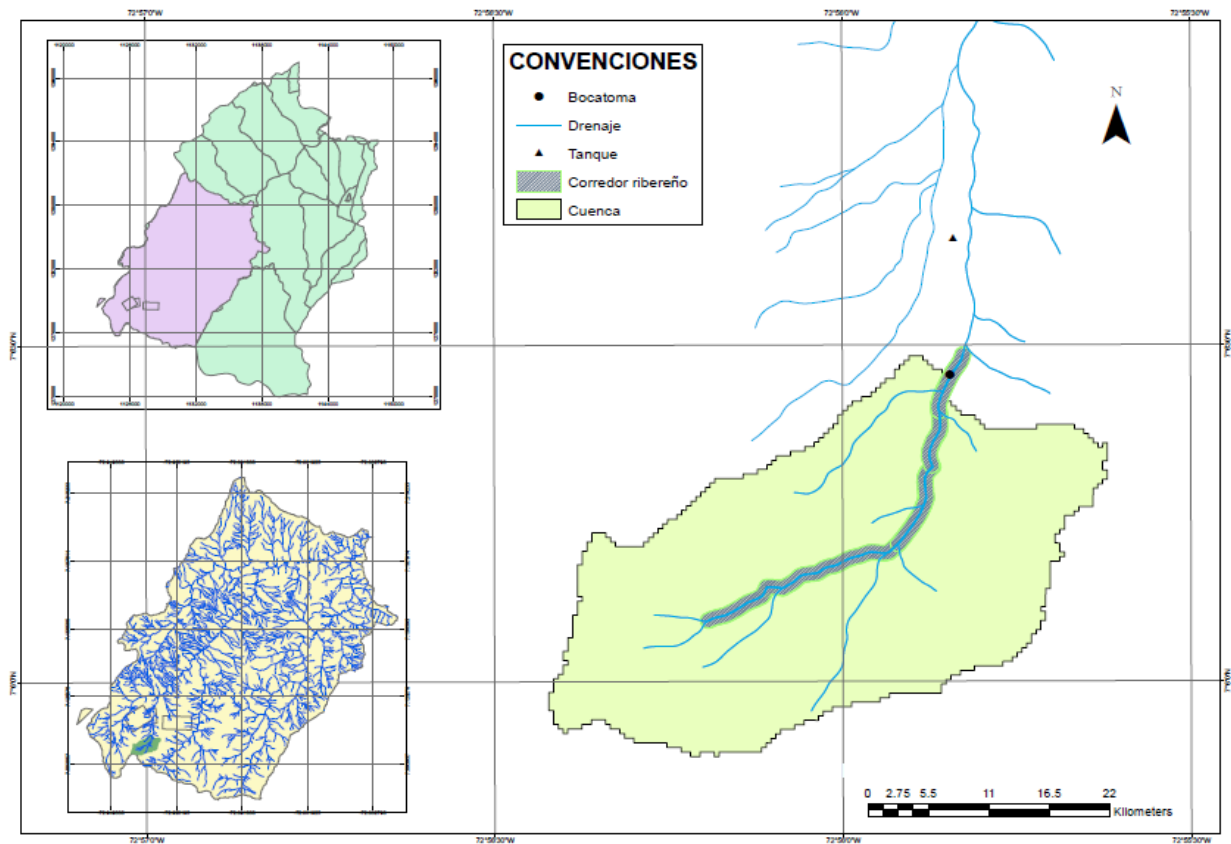
Apéndice E. Aislamiento de la quebrada las puentes (buffer 20 metros).

Figura. Aislamiento de la quebrada las puentes (buffer 20 metros)

Apéndice F. Presupuesto del aislamiento

Tabla. Presupuesto del aislamiento para la quebrada Las Puentes en la vereda El Progreso del corregimiento de Berlín.

Presupuesto para cerca POSTES DE PLASTICO MADERPLAST					
1 Materiales					
ID	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
1.1	Alambre de púas	Rollo [500m]	15	\$ 139,900	\$ 2,098,500
1.2	Postes de plástico cada 2m	unidad	1198	\$ 12,500	\$ 14,975,000
1.3	Grapas	caja	16	\$ 6,900	\$ 110,400
Subtotal					\$ 17,183,900
2 Equipos					
ID	Equipo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
2.1	Martillo	unidad	1	\$ 99,900	\$ 99,900
2.2	Tensor de alambre	unidad	1	\$ 169,900	\$ 169,900
2.3	Alicate	unidad	1	\$ 29,900	\$ 29,900
2.4	Herramienta menor	%	5%	\$ 527,328	\$ 26,366
Subtotal					\$ 326,066
3 Transporte					
ID	Transporte	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
3.1	15 % de los insumos	%	15%	\$ 17,183,900	\$ 2,577,585
Subtotal					\$ 2,577,585
4 Mano de obra*					
ID	Cuadrilla	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
4.1	1 Ayudante	Hora	40	\$ 6,592	\$ 263,664
4.2	1 Ayudante	Hora	40	\$ 6,592	\$ 263,664
Subtotal					\$ 527,328
Total					\$ 20,614,879

*Este ítem se cuantificó, pero podría ser aporte voluntario de personas de la comunidad.

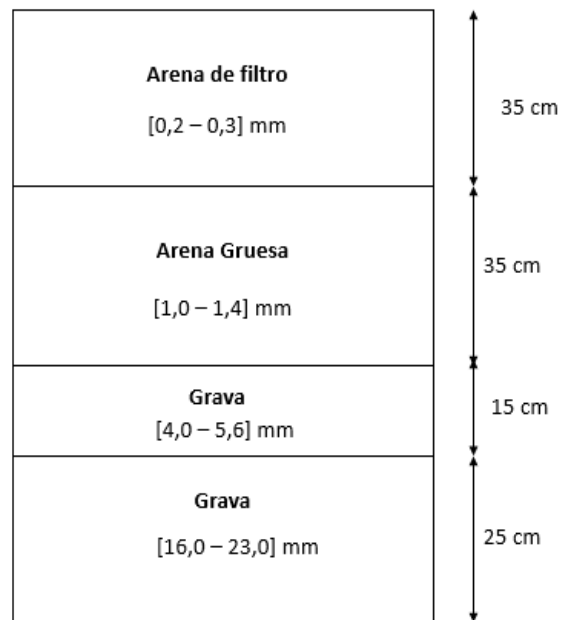
Apéndice G. Detalle capas de lecho filtrante y caja de filtro.

Figura. Longitudes de capas del lecho filtrante.

Fuente. Autores.

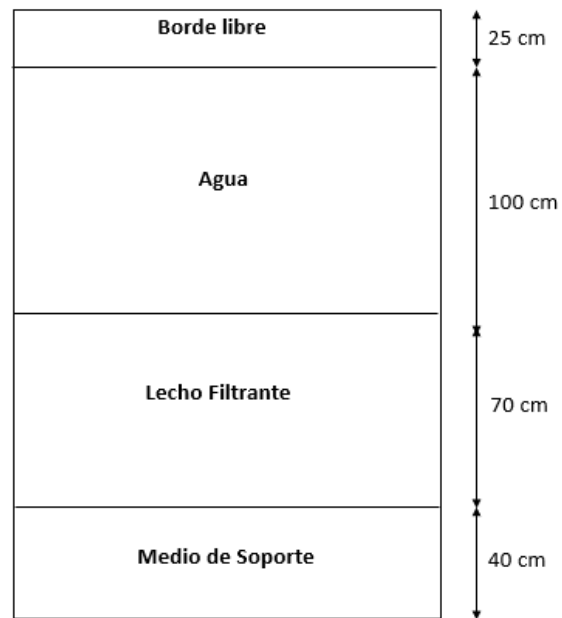


Figura. Longitudes de la caja del filtro.

Fuente. Autores.

Apéndice H. Vista en planta del filtro lento.



Figura. Vista en planta del filtro lento.

Apéndice I. Vista de perfil del filtro lento.

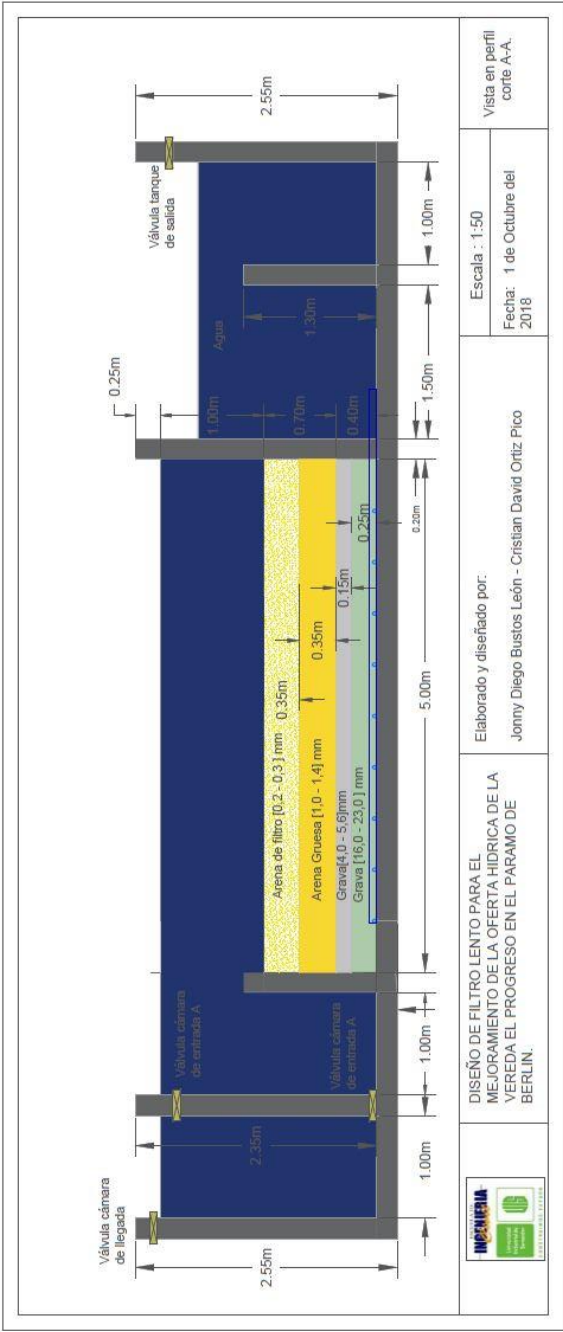


Figura. Vista de perfil del filtro lento.

Apéndice J. Detalle de las tuberías del sistema de drenaje.

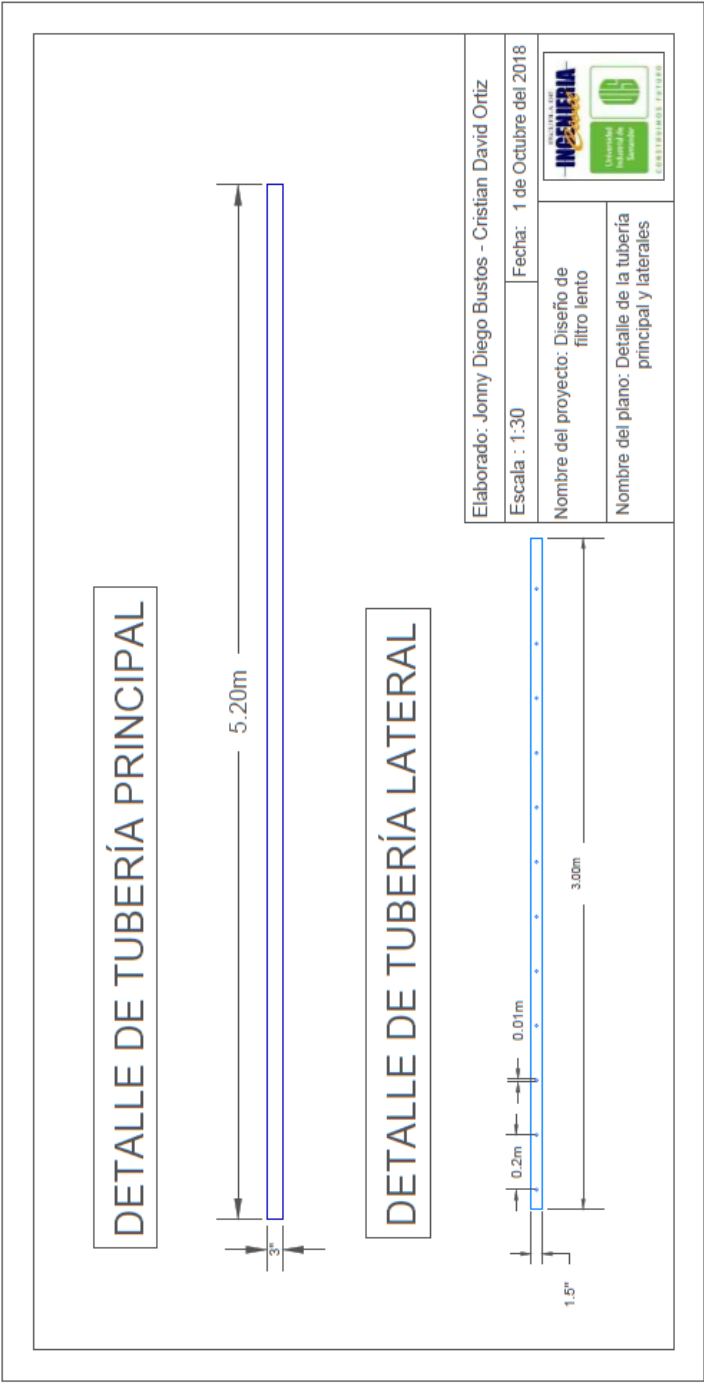
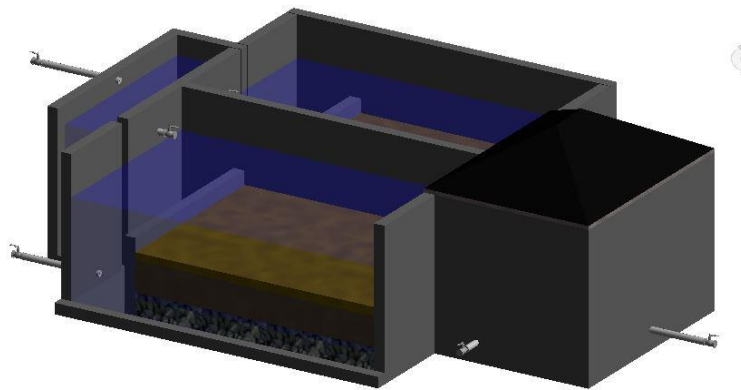
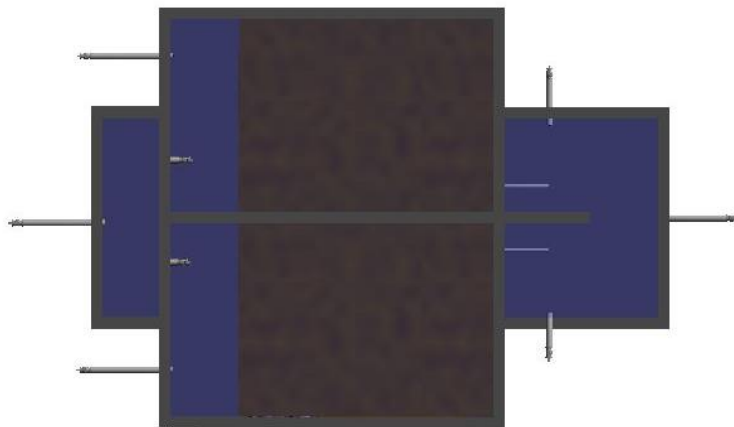


Figura. Detalle de las tuberías del sistema de drenaje.

Apéndice K. Presupuesto para la construcción del Filtro Lento.

Tabla. Presupuesto para la construcción del Filtro Lento.

Presupuesto para la construccion del Filtro Lento					
1	Materiales				
ID	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
1.1	Concreto	m3	42	\$ 313,316	\$ 13,159,272
1.2	Acero de refuerzo	kg	3360	\$ 2,478	\$ 8,326,080
1.3	Grava	m3	16	\$ 140,000	\$ 2,240,000
1.4	Arena para filtro	m3	28	\$ 150,000	\$ 4,200,000
1.5	Tuberia 1.5"	m	54	\$ 8,666	\$ 467,964
1.6	Tuberia 3"	m	10.4	\$ 29,000	\$ 301,600
1.7	Valvulas	Unidad	8	\$ 384,000	\$ 3,072,000
				Subtotal	\$ 31,766,916
2	Equipos				
ID	Equipo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
2.1	Herramientas de construcción (40 % valor de la mano de obra)	%	40%	\$ 1,054,655	\$ 421,862
2.2	Retroexcavadora hidraulica	m3	275	\$ 32,799	\$ 9,019,725
				Subtotal	\$ 9,441,587
3	Transporte				
ID	Transporte	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
3.1	15 % de los insumos	%	15%	\$ 31,766,916	\$ 4,765,037
				Subtotal	\$ 4,765,037
4	Mano de obra				
ID	Cuadrilla	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
4.1	1 Ayudante	Hora	80	\$ 6,592	\$ 527,328
4.2	1 Ayudante	Hora	80	\$ 6,592	\$ 527,328
4.3	1 oficial	Hora	80	\$ 9,887	\$ 790,960
				Subtotal	\$ 1,054,655
				Valor total	\$ 47,028,195

Apéndice L. Isométricos del filtro lento de arena.**Figura. Isométrico 1.****Figura. Isométrico 2.**

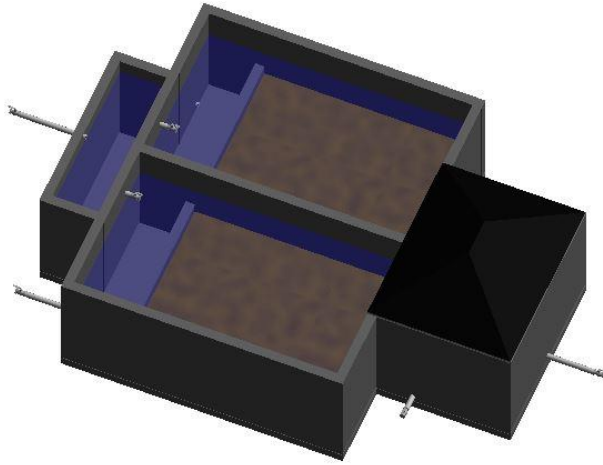


Figura. Isométrico 3