

**DESARROLLO DE UN FILTRO RÁPIDO DE ARENA, PARA
MEJORAR LAS CONDICIONES DEL AGUA EN ÁREAS RURALES,
ZONA DE ESTUDIO: CARMEN DE CARUPA – CUNDINAMARCA
(2020-2021)**

Sebastian Perez & Valentina Rojas.
Marzo 2021.

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
BOGOTÁ D.C
PROYECTO DE GRADO



**DESARROLLO DE UN FILTRO RÁPIDO DE ARENA, PARA
MEJORAR LAS CONDICIONES DEL AGUA EN ÁREAS RURALES,
ZONA DE ESTUDIO: CARMEN DE CARUPA – CUNDINAMARCA
(2020-2021)**

Jeffrey Sebastian Perez Guerrero
Laura Valentina Rojas Rojas

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero(a) Civil

Ing. Yuri Alejandra Caicedo Páez
Asesora

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ D.C
2021

Copyright © 2021 por Sebastian Perez & Valentina Rojas. Todos los derechos reservados.



Dedicatoria

Dedicamos la tesis de grado a nuestros padres Blanca Guerrero, Jeison Mendez (Padres de Sebastian Perez), Nubia Rojas y Mario Rojas (Padres de Valentina Rojas), por habernos brindado la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Piloto de Colombia, gracias a ustedes por apoyarnos y enseñarnos los valores éticos que hoy día nos forman como profesionales que están para servir y otorgar un cambio en nuestro ser para con el mundo.

Agradecimientos

Agradecemos a la Ingeniera Alejandra Caicedo por brindarnos la oportunidad de otorgar una solución a la problemática de saneamiento básico que se padece en el municipio de Carmen de Carupa, a partir del concepto de desarrollo de un Filtro Rápido de Arena. También queremos agradecer a la Universidad Piloto de Colombia por formarnos como Ingenieros Civiles en un país que necesita un cambio profundo en su sociedad actual.



Resumen

Las zonas rurales pobres no cuentan con una infraestructura de agua y a causa de ello es insuficiente garantizar una cobertura completa de agua y saneamiento, por lo tanto, el desarrollo de un filtro rápido de arena ofrece la oportunidad de purificar el agua de consumo doméstico para la población rural del Municipio de Carmen de Carupa que no cuenta con un servicio de saneamiento básico.

El acceso al agua potable es un derecho que tiene toda la población mundial, aun así, la desigualdad aflige a las personas pobres, desfavorecidas y/o marginales del mundo. La mejora en la gestión del recurso hídrico y el acceso a los servicios de agua y saneamiento atienden la inequidad social y económica para que así todos puedan disfrutar de los beneficios y oportunidades que brinda el agua.

En las zonas rurales de Colombia el uso que se emplea a partir del recurso hídrico incide de manera directa en la salud del ser humano y de la misma manera en los ecosistemas donde se encuentra este. La clasificación del agua depende del uso al cual va a ser empleada bien sea: recreativo, domestico, agrícola, ganadero, industrial, entro otros.

Como bien sabemos el uso doméstico del agua es el recurso destinado para el consumo humano y este requiere cumplir con los criterios máximos admisibles de los parámetros que determinan la calidad de esta, ya que su destino es para abastecer la población no debe representar un riesgo para la salud del consumidor.

Es esencial mejorar la gestión de los recursos hídricos y el acceso al suministro de agua y al saneamiento para abordar varias desigualdades sociales y económicas de manera que “nadie se quede atrás” a la hora de disfrutar de los múltiples beneficios y oportunidades que brinda el agua. (Mundial & Unidas, 2019)



Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Introducción y Estado del Arte	9
1.1 Introducción	9
1.1.1 Formulación del problema	12
1.2 Estado del arte	14
1.2.1 Legislación del agua para abastecimiento público.....	16
1.2.2 El agua en el departamento de Cundinamarca	18
1.2.3 Problemas con el agua	21
1.2.4 Contaminación del agua.....	23
1.2.5 Enfermedades relacionadas con el agua	25
1.2.6 Calidad del agua.....	29
1.2.7 Generalidades sobre las fuentes de abastecimiento	32
1.2.8 Los aspectos más importantes por considerar para el diseño de un filtro rápido de arena	35
1.2.9 Proceso de potabilización	39
1.2.10 Tratamiento para la potabilización del agua	40
1.2.11 Problemática en el abastecimiento de agua en la zona rural de Carmen de Carupa.	54
1.2.12 Abastecimiento de agua en el Municipio de Carmen de Carupa	54
1.3 Objetivos	56
1.3.1 Objetivo General.....	56
1.3.2 Objetivos Específicos.....	57
1.4 Justificación	57
Capítulo 2 Metodología	58
2.1 Investigación Bibliográfica	58
2.2 Inspección en la captación de la toma de evidencias	59
2.2.1 Líneas de Conducción.....	61
2.2.2 Filtro.....	62
2.3 Ensayos de laboratorio.....	63
2.3.1 Ensayo de Colorimetría y Turbiedad	66
2.3.2 Ensayo de pH (Potencial de Hidrógeno).....	68
2.3.3 Ensayo Test de jarras	70
2.3.4 Ensayo de Granulometría.....	75
2.3.5 Registro Fotográfico de los Ensayos de Laboratorio	82
2.4 Revisión del proceso de filtración.....	83
2.4.1 Proceso de selección de filtro	83
2.4.2 Selección de los puntos de muestreo del material filtrante, en el filtro seleccionado.....	84
2.4.3 Toma de muestra de filtro seleccionado	85
2.4.4 Determinación de los distintos espesores de cada lecho filtrante, en el Filtro Rápido de Arena	86
2.4.5 Determinación de los porcentajes de bolas de lodos en los lechos filtrantes...	87



2.4.6 Determinación de la granulometría de los medios filtrantes (antracita, arena y grava)	87
2.5 Presupuesto de Materiales.....	90
2.6 Diseño, construcción y operación del Filtro Rápido de Arena	93
2.6.1 Diseño y construcción del Filtro Rápido de Arena	93
2.6.2 Lavado del Filtro Rápido de Arena.....	95
2.6.3 Homogenización de las muestras y carga en la columna de filtración	96
2.6.4 Expansión de los lechos filtrantes.....	96
2.6.5 Descarga del Filtro Rápido de Arena.....	97
Capítulo 3 Análisis de resultados.....	97
3.1 Colecta de información de la fuente de agua seleccionada.....	97
3.2 Revisión del proceso de filtración.....	98
3.2.1 Espesores de los lechos filtrantes.....	98
3.2.2 Granulometría	99
3.3 Ventajas y desventajas del Filtro Rápido de Arena	102
3.3.1 Ventajas.....	102
3.3.2 Desventajas	102
3.4 Diseño Filtro Rápido de Arena en Software Revit	102
Capítulo 4 Conclusiones y Recomendaciones	104
4.1 Conclusiones	104
4.2 Recomendaciones	107
Bibliografía	109



Lista de tablas

Tabla 1 Resultados IRCA consolidado, urbano y rural municipio Carmen de Carupa, Cundinamarca, 2017.	20
Tabla 2 Características físicas.	40
Tabla 3 Descripción de las cuencas río Suarez.	55
Tabla 4 Tipo de Material, cantidad y espesor del lecho filtrante.	66
Tabla 5 Pruebas Ensayos Test de Jarras	71
Tabla 6 Resultados de Jarra No. 3	73
Tabla 7 Registro fotografico de los resultados de la Jarra No. 3	74
Tabla 8 Juego Completo de tamices	76
Tabla 9 Registro Granulométrie Grava	79
Tabla 10 Registro Granulométrie Arena	79
Tabla 11 Registro Granulométrie Antracita	79
Tabla 12 Ensayos de laboratorio.....	82
Tabla 13 Tipo de material, cantidad y espesor del lecho filtrante	86
Tabla 14 Presupuesto de materiales para construcción del Filtro Rápido de Arena.....	91
Tabla 15 Características del medio filtrante	99
Tabla 16 Antracita.....	100
Tabla 17 Arena.....	101
Tabla 18 Grava.....	101



Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de Carmen de Carupa.	15
Figura 2. Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipios, Cundinamarca, 2017... ..	19
Figura 3. Comportamiento del IRCA consolidado Cundinamarca, 2007 - 2017.	21
Figura 4. Fuentes de contaminación hídrica.	23
Figura 5. Enfermedades transmisibles más importantes en el país.	28
Figura 6. Calidad del agua de consumo.	30
Figura 7. Cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento por regiones	32
Figura 8. Procesos unitarios posibles para llevar a cabo en función de contaminantes....	39
Figura 9. Render Ubicación estratégica del filtro.	45
Figura 10. Río Mortiño.	56
Figura 11. Río La Playa satelital	60
Figura 12. Río La Playa	61
Figura 13. Muestra de agua del río Mortiño	64
Figura 14. Tecnologías de tratamiento de potabilización	65
Figura 15. Turbidímetro del laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	67
Figura 16. Colorímetro del laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.	68
Figura 17. Multímetro del laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	69
Figura 18. Test de Jarras en el laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	72
Figura 19. Jarra No. 3	72
Figura 20. Lavado del material	77
Figura 21. Muestras del material.....	78
Figura 22. Peso del material lavado.....	78
Figura 23. Vereda Alto de Mesas	85
Figura 24. Plano en detalle del filtro piloto	93
Figura 25. Detalle del Filtro Rápido de Arena.....	94
Figura 26. Colador	95
Figura 27. Vereda Mortiño	97
Figura 28. Materiales del Filtro Rápido de Arena	103
Figura 29. Espesores de los lechos filtrantes	103
Figura 30. Ilustración de modelo ubicado en cocina	104

Lista de gráficas

Gráfica 1. Curva Granulométrica Grava.....	80
Gráfica 2. Curva Granulométrica Arena.....	81
Gráfica 3. Curva Granulométrica Antracita.....	81



Capítulo 1

Introducción y Estado del Arte

1.1 Introducción

El agua es el recurso hídrico natural indispensable para el desarrollo de toda forma de vida y es el elemento más abundante en los medios orgánicos. Siendo así indispensable para la subsistencia de la vida vegetal, animal y humana del planeta, puesto que los seres vivos contienen por término medio un 70% de agua. Seres y organismos que habitan dentro de ella contribuyen con la estabilidad en el funcionamiento de los ecosistemas, ya que es un bien de primera necesidad para todo ser vivo e imprescindible en el sistema medioambiental.

A su movimiento continuo por la Tierra en los tres estados de la materia (Sólido, líquido y gaseoso), se le denomina ciclo hidrológico y se estima que en su totalidad es relativo que permanezca en el tiempo, dado que es vulnerable frente al cambio climático en lo que respecta al descongelarse los glaciares y aumentar sequía en zona mediterránea. Como consecuencia la producción de alimentos tiende a descender y así mismo habrá una modificación en las precipitaciones y caudales de ríos, lo que llega a causar contaminación y escasez del agua, dos factores que generan un riesgo para la salud humana y la calidad de vida. Así que, para el sostenimiento de los ecosistemas el flujo de agua no contaminada resulta ser una pieza clave, teniendo en cuenta que cuando hay escasez el medio acuático, húmedo y terrestre se ve perjudicado, más aún la flora y la fauna en lo que incide las repercusiones de la urbanización. El hombre conoce desde hace mucho tiempo su dependencia del agua, hoy en día se da cuenta de que su oferta no es



ilimitada y empieza a valorarla de manera que gestiona, protege y sabe que no es un producto de consumo, sino un preciado recurso natural esencial para las futuras generaciones y la nuestra, pues no hay vida si no hay agua.

La supervivencia de todo ser humano está condicionada en gran medida a la existencia del agua, de lo contrario queda en alto grado de vulnerabilidad, ya que este líquido hace parte fundamental del funcionamiento adecuado de su organismo y le permite cumplir con sus tareas más sencillas; es así como, el acceso al agua potable y al saneamiento básico son uno de los recursos más importantes que deben garantizar los gobiernos de todas las naciones para prevenir las enfermedades infecciosas y proteger la salud de las personas, permitiendo así el desarrollo social y económico de la población. Es así como dentro de los protocolos internacionales se ha reconocido el acceso al agua potable como un derecho básico. (Herrington et al., n.d.)

El término “consumo básico de agua”, está definido en la compilatoria de normas de La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) del 2010 denominada “Regulación Integral del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico” de la siguiente forma: “Consumo Básico. Es el destinado a satisfacer las necesidades esenciales de consumo de las familias, cuyo valor es definido por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Hasta tanto no se expidan normas que lo modifiquen, el valor del consumo básico es equivalente a 20 metros cúbicos por usuario al mes”. (M et al., 2012).

La Constitución Política de Colombia establece como uno de los fines principales de la actividad del Estado, la solución de las necesidades básicas insatisfechas, entre las



que está el acceso al servicio de agua potable, que es fundamental para la vida humana. El abastecimiento adecuado de agua de calidad para el consumo humano es necesario para evitar casos de morbilidad por enfermedades como el cólera y la diarrea. (UNICEF, 2004)

El problema no es sólo la calidad del agua; también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable al día. En promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de líquido al día dependiendo el peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud. (UNICEF, 2004)

En la actualidad, más de 11 millones de colombianos habitan en el campo. Sin embargo, una tercera parte de esta población no tiene acceso a agua potable ni a soluciones adecuadas de saneamiento básico. El balance de los Objetivos de Desarrollo de Milenio (ODM) deja mal parado el sector de agua y saneamiento rural en Colombia: según cifras del Joint Monitoring Program, el país no cumplió con las metas pactadas para el 2015, y de continuar con esta tendencia en materia de inversiones y apoyo institucional para el área rural, tampoco se espera que se cumplan las nuevas metas pactadas para el año 2030 en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (Mantilla, 2016)

El sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible dice: El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño. La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones



de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo. La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición. Para 2050, al menos una de cada cuatro personas probablemente viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce. *(La Agenda 2030 y Los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una Oportunidad Para América Latina y El Caribe Gracias Por Su Interés En Esta Publicación de La CEPAL, n.d.)*

En el área rural se calcula que solo el 12% (que equivale a 1.47 millones de personas) reciben agua tratada. Las comunidades rurales dispersas y de baja densidad poblacional se caracterizan por una menor cobertura. (UNICEF, 2004)

La deficiencia en la gobernanza del agua que existe en Colombia y la inaccesibilidad a un servicio de agua potable, conduce a tomar iniciativas que provean una solución eficiente de consumo para los habitantes en estado vulnerable frente a estos problemas. Se ha abordado a un sistema de tratamiento básico de saneamiento de agua que resulte óptimo en términos de calidad y al mismo tiempo sea accesible desde el punto de vista económico para familias con bajos niveles socioeconómicos en la zona rural del Municipio de Carmen de Carupa en el departamento de Cundinamarca. Sistema creado a partir de la filtración rápida de agua, considerando un diseño de un filtro rápido de arena.

1.1.1 Formulación del problema

Según evaluaciones del IDEAM, cerca del “50%” de la población colombiana que vive en las áreas urbanas municipales está expuesta a sufrir problemas de suministro de agua, como consecuencia de la presión sobre las cuencas hidrográficas y las restricciones



de uso por contaminación de las aguas superficiales. Como agravante, más del 80% de las cabeceras municipales tienen como fuente de suministro de agua pequeños riachuelos o quebradas que en épocas de estiaje no garantizaran el abastecimiento a la población. (Ballen, Galarza & Ortiz. Ballen et al. 2006, p.01)

De acuerdo con la cartilla ENA (Estudio Nacional del Agua) la población toma el agua del entorno en el que habita para suplir sus necesidades, sin embargo, el acceso al recurso hídrico es limitado por el déficit en la oferta natural, reducción de la precipitación o insuficiencia en la infraestructura de abastecimiento.

En base a las experiencias en las comunidades vulnerables de las cabeceras municipales y sus áreas rurales, en los 32 departamentos que registra el estado colombiano, las bajas condiciones de la calidad del agua de consumo para la población es un problema de salubridad que afecta familias enteras, por lo que se conocen particularmente enfermedades gastrointestinales y deficiencia en el saneamiento básico del agua. La OMS - Organización Mundial de la Salud - (2020) afirma que:

- ✓ “1,6” millones de personas mueren cada año de enfermedades diarreicas (incluido el cólera) atribuibles a la falta de acceso a un agua potable salubre y al saneamiento básico, y un “90%” de esas personas son menores de 5 años, principalmente de países en desarrollo;
- ✓ “160” millones de personas están infectadas por la esquistosomiasis, que causa decenas de miles de muertes anuales; “500” millones de personas corren riesgo de contraer tracoma, por cuya causa “146” millones están amenazadas de ceguera y “6” millones padecen deterioro visual;



- ✓ Las helmintiasis intestinales (ascariasis, tricuriasis y anquilostomiasis) están azotando al mundo en desarrollo por falta de agua, saneamiento e higiene adecuados, y “133” millones de personas sufren de fuertes parasitosis intestinales causadas por helmintos; cada año hay aproximadamente “1,5” millones de casos de hepatitis A clínica.

De acuerdo con lo anterior, se confirma que a nivel mundial las regiones de escasos recursos a nivel económico no tienen una medida en particular para el tratamiento del agua de consumo, lo que indica que las afectaciones por la baja calidad de agua pueden llegar a hacer no solo perjudiciales para la salud, sino además un factor de causal de muerte.

¿Cómo las personas de la zona rural del municipio de Carmen de Carupa, desarrollan sus actividades diarias con el uso de agua con un estándar de calidad deficiente para su consumo general?

1.2 Estado del arte

El estudio objeto de investigación se realizó en el Municipio de Carmen de Carupa, el cual pertenece al Departamento de Cundinamarca. El municipio se localiza al norte del departamento de Cundinamarca. La ubicación geográfica del Municipio de Carmen de Carupa parte del límite con los municipios de San Cayetano, por el Occidente, con los municipios de Tausa y Sutatausa por el sur, con Ubaté y Susa por el Oriente y con Simijaca y el Departamento de Boyacá (Municipios de Buenavista y Coper) por el Norte. Cuenta con una extensión total de 295 Km². Su altura sobre el nivel del mar oscila entre los 2960 m, dada su caracterización topográfica. La población total del municipio es 8247 habitantes que representan el “0,3 %” de la población del Departamento de Cundinamarca. (*Carmen de Carupa En La Region de Cundinamarca - Municipio y*



Alcaldía de Colombia - Alcaldía Colombia - Información Alcaldía, Ciudades y Pueblos de Colombia, n.d.). Ver figura 1.

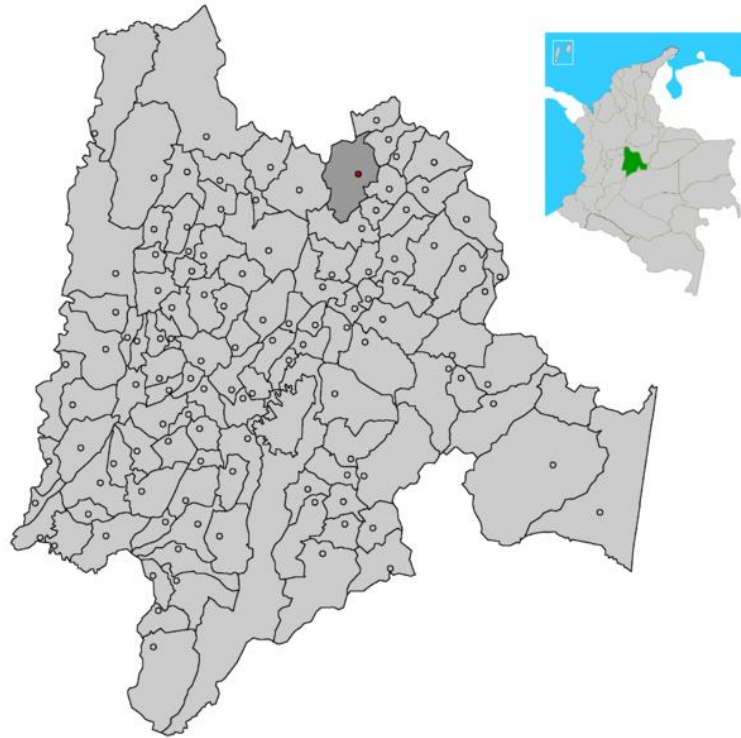
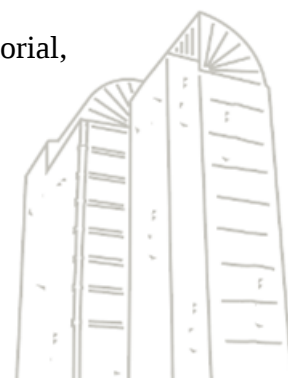


Figura 1. Ubicación de Carmen de Carupa

Fuente:(Ubicación de Carmen de Carupa - Promotores Carmen de Carupa, n.d.)

Agua potable es aquella que no contiene contaminantes tales como: agente infeccioso y/o químico, que no llegue a ser causal de efecto nocivo para la salud, según la resolución 2115 del 22 de junio de 2007 – Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. El agua debe someterse a tratamientos para su potabilización de acuerdo con los límites permisibles de calidad. (Ambiente & Territorial, 2007)



El agua potable para el consumo humano debe ser garante en base a las: leyes, reglamentos y/o normas que rigen la calidad del agua potable en Colombia. Los organismos de carácter público o privado encargados del abastecimiento serán los responsables de que se lleven a cabalidad el cumplimiento estricto de estas.

Es fundamental que sea de conocimiento colectivo la aplicación de leyes, reglas y/o normas en relación con el suministro de agua potable, ya que en ellas se determinan las funciones y responsabilidades de aquellos quienes prestan este servicio. En cuanto a la autoridad competente que determina si se presta un buen servicio o no, esta se forma dentro de estas mismas leyes, reglas o normas.

El sector de agua potable y saneamiento básico rural en Colombia ha pasado por diferentes etapas en las últimas cinco décadas: Entre 1968 y 1987, la División de Saneamiento Básico Rural del Instituto Nacional de Salud (INS) desarrolló el Programa de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural (PASBR), dirigido a comunidades de menos de 2.500 habitantes, para asistirles en la construcción, operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento de bajo costo. (Mantilla, 2016)

1.2.1 Legislación del agua para abastecimiento público.

El marco normativo está compuesto por:

- a) La Constitución Política de Colombia (2016). En el artículo 366 del capítulo 5, referido a la Finalidad Social del Estado y los Servicios Públicos. “El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objeto fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de



educación, de saneamiento ambiental y de agua potable”

(CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991 Actualizada Con Los Actos Legislativos a 2016, 2016).

- b) El Decreto Número 1575 de mayo 9 de 2007. En su Artículo 1°. Capítulo 1, el que se refiere a Disposiciones Generales. El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. (Lundberg, 1992)
- c) La Resolución 2115 del 22 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Los ministros de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Ambiente & Territorial, 2007)

El Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002), desarrolla junto con: División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana y Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, La Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano explica la manera de planificar programas de vigilancia y control de la calidad del agua, define los criterios a tener en cuenta para concretar el nivel de intervención, indica los alcances que debe tener la legislación, reglamentación, políticas y gestión



básica, e identifica las principales labores de apoyo para la adecuada planificación de futuras intervenciones de vigilancia y control. (Rojas & Rojas, 2002)

El Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio climático y el Agua. Ejerce atribuciones en la materia ofreciendo recomendaciones viables respecto a los foros de escala mundial y regional, en donde invita a las entidades gubernamentales del agua en general a participar de ellos y conocer los procesos que se llevan a cabo en el mundo.

El documento Conpes 3810 (Consejo Nacional de Política Económica y Social) Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en zona rural, somete a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES, los lineamientos de política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales de Colombia, en cumplimiento a lo dispuesto por el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010 -2014, en el cual se contempló la formulación de la política de agua potable y saneamiento básico rural y la articulación con las estrategias de vivienda rural del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (DNP, 2014)

1.2.2 El agua en el departamento de Cundinamarca

El departamento de Cundinamarca cuenta con 116 municipios fue reportada información de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en el SIVICAP para todos. En el año 2017, se registraron 3.279 muestras, correspondientes a 256 prestadores de servicio de acueducto, lo cual arrojó un IRCA consolidado para el departamento de 8.71% considerándose el agua con nivel de riesgo bajo para el consumo. El 38,0% (44) de los municipios tuvieron agua sin riesgo, el 28% (32) presentó riesgo



bajo, el 34% (39) riesgo medio y el 1% (1) riesgo alto que correspondió a Yacopí.

(Ministerio de Salud y Protección Social, 2019). Ver figura 2.

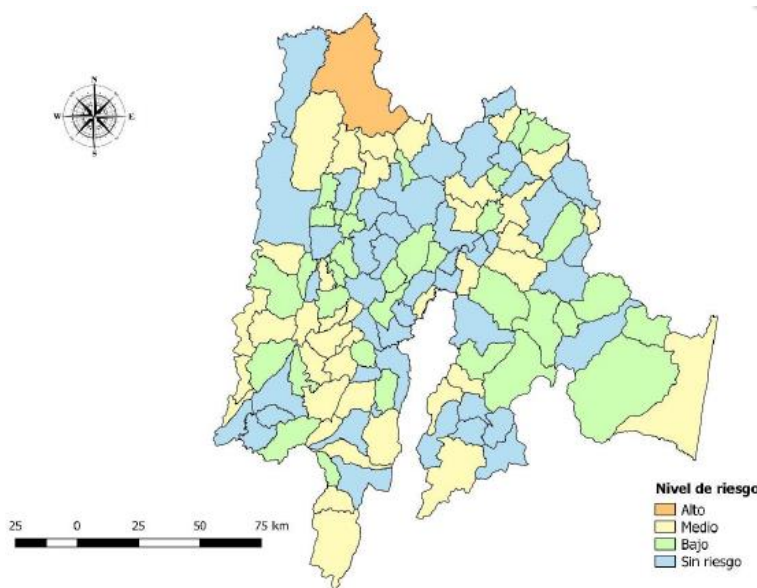


Figura 2. Nivel de riesgo de la calidad del agua por municipios, Cundinamarca, 2017

Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019)

✓ Cobertura de la vigilancia de la calidad del agua en Cundinamarca: Del total de muestras reportadas por la Autoridad Sanitaria del departamento durante el 2017, el 37,3% (1.224) fueron recolectadas en la zona urbana con un IRCA de 6,9% correspondiente al nivel de riesgo bajo; el 13,7% (448) se recolectaron en la zona rural con un IRCA de 11% que corresponde al nivel de riesgo bajo para el consumo y el 49% (1.607) restante no cuenta con registro de zona (urbana o rural). El 82,8% (96) de los municipios reportaron datos en la zona urbana, de los cuales, el 46,9% (45) de tuvieron agua sin riesgo, el 24% (23) presentó riesgo bajo, el 26% (25) riesgo medio y el 3,1% (3) riesgo alto. Por su parte, el 50% (58) de los municipios reportaron muestras en la zona rural, de los cuales el 43,1% (25) presentó agua sin riesgo, el 24,1% (14) con riesgo bajo,

el 29,3% (17) con riesgo medio y el 3,4% (2) con riesgo alto. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019). A continuación, se relacionan del departamento de Cundinamarca, el municipio de Carmen de Carupa. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Resultados IRCA consolidado, urbano y rural Municipio Carmen de Carupa, Cundinamarca, 2017.

Municipio	Total Muestras	IRCA	Nivel de riesgo	No. Muestras urbano	IRCA Urbano	Nivel de riesgo urbano	No. Muestras rural	IRCA Rural	Nivel de riesgo rural
Carmen de Carupa	11	2,8	Sin riesgo	5	1,1	Sin riesgo	0	NC	NC

Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019)

✓ Comportamiento del IRCA y nivel de riesgo en Cundinamarca: El IRCA para el departamento de Cundinamarca en el año 2017 fue de 8.71% con un nivel de riesgo de la calidad de agua bajo, de acuerdo con este indicador. Al compararlo con los datos del IRCA a partir del año 2007, se observa que el riesgo de la calidad del agua para consumo humano en el departamento de Cundinamarca se ha mantenido en el nivel bajo. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019). Ver figura 3.



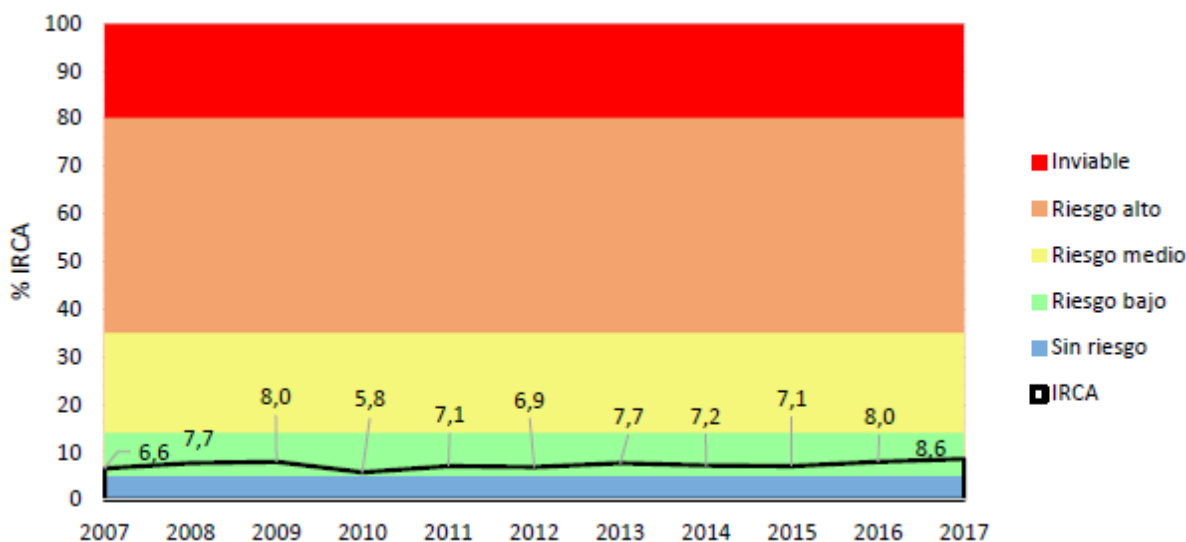


Figura 3. Comportamiento del IRCA consolidado Cundinamarca, 2007 - 2017

Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019)

1.2.3 Problemas con el agua

El agua es un recurso natural cada vez más escaso en el mundo. La demanda de recursos naturales crece más rápido que la oferta; y la velocidad de reposición de la existente está disminuyendo. Según The World Resources Institute, más de la mitad del planeta afrontará escasez de agua para el año 2040. Esto se explica por: i) el rápido crecimiento de la población mundial, que se expande a tasas del 1.2% anual; ii) el cambio climático, que ha acelerado el ciclo del agua; y iii) el desperdicio del preciado líquido.

(La Problemática Del Agua, n.d.)

Colombia, es un país caracterizado por su variedad de fuentes hídricas, las cuales han sido afectadas de manera paulatina por vertimientos que no consideran el impacto o las consecuencias ambientales producidas. Esto no solo altera negativamente al ecosistema, sino que indirectamente a la población con problemas de salud pública,



bienestar y carencia del recurso hídrico de excelente calidad. (*Análisis de Los Principales Sistemas Biológicos de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas En Colombia*, n.d.)

Son muy pocos los colombianos que tienen conciencia de la problemática actual con respecto a la contaminación del recurso hídrico en el país. Según el ENA (IDEAM, 2018) la oferta hídrica del país asciende a 37.287,1 millones de metros cúbicos por año. De los cuales el 43,1 % corresponde a la demanda agrícola, el 8,2 % a la demanda pecuaria, el 8,1% a la demanda piscícola, el 2,9 % a la demanda industrial, el 1,2 % al sector de la construcción, el 1,8 % al sector minero, el 1,6 % al sector de hidrocarburos, el 24,3 % al sector de energía, el 1,5 % al sector servicios y el 7,4 % al sector doméstico. En términos de dotación per cápita, la demanda doméstica corresponde a 0,157 m³/hab/día (157 L/hab/día) y la demanda hídrica total del país a 2,117 m³/hab/día (2117 L/hab/día). Estas cifras muestran claramente que la oferta hídrica disponible superficial en un año hidrológico promedio supera por más de 30 veces la demanda (68/2.117), ratificando nuevamente la riqueza hídrica del país. La problemática social y ambiental asciende a su vez que demanda al Gobierno nacional y los gobernantes locales, ya que de este problema se desprenden los impactos adversos en los recursos naturales y el medio ambiente, generando así consecuencias de gravedad en la salud pública de los más vulnerables en sentido socioeconómico. Este deterioro del agua superficial y subterránea es el resultado obtenido por múltiples causas y las fuentes de contaminación. Como consecuencia se presentan atrasos en cuanto a la cobertura de acueducto, alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, a su vez que no es admisible el vertimiento de residuos industriales en las cabeceras de los ríos y los acuífero sin un



previo tratamiento adecuado al cuerpo de agua que pasa a través de las fuentes receptoras, puesto que la contaminación dará origen a una escorrentía difusa en temporada de precipitación, desde la zona rural pasando por la zona urbana hasta la zona minera, transportando sedimentos orgánicos e inorgánicos con metales pesados y sustancias tóxicas disueltas y absorbidas a dichos sedimentos, hacia los ríos, lagos, lagunas y embalses. (Camacho Botero, 2020). Ver figura 4.

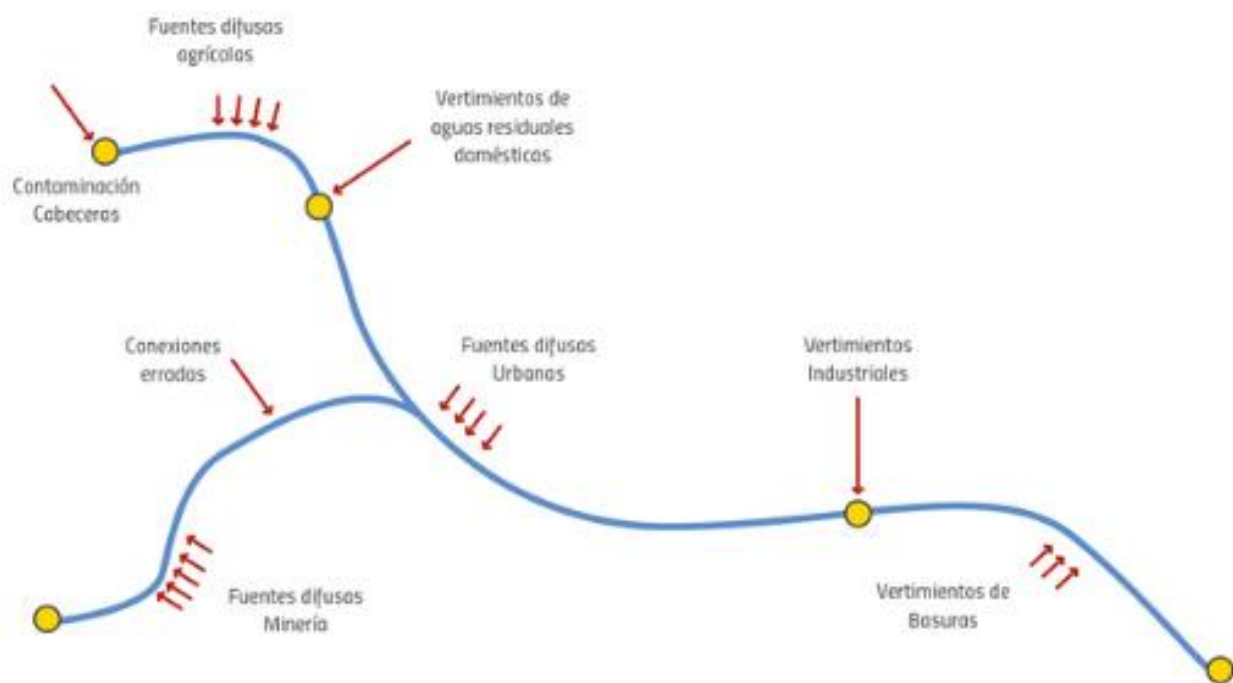


Figura 4. Fuentes de contaminación hídrica.

Fuente: (Camacho Botero, 2020)

1.2.4 Contaminación del agua

Colombia es un país rico en agua, llegando a ser uno de los nueve territorios del mundo con los más altos recursos hídricos, aun así, de esta riqueza que se tiene del agua no todos los colombianos disfrutan de su abundancia, ya que un tercio de toda la



población urbana se ve afectada por estrés hídrico. Debido al cambio climático y al crecimiento demográfico en el mundo; desde los mediados de la década de los 2000 ha venido disminuyendo la disponibilidad del agua, lo que ha llegado a ser la causa de sequías extremas hasta de inundaciones graves, además de que Colombia presenta indicios de inseguridad hídrica en todo el territorio nacional, se denota la problemática de “exceso, escasez y contaminación” del agua. Colombia también representa una de las tasas más elevadas de desplazamiento en el mundo y se le atribuye a este hecho la presente incertidumbre pluvial y el aumento en los niveles de contaminación del agua, lo que significa una clara dificultad a la hora de elaborar planes para el desarrollo territorial y definir políticas que sean inclusivas con las zonas rurales. (*Colombia: Rica En Agua, Pero Con Sed de Inversiones*, n.d.)

Si una actividad produce bienes, por ende, genera algún contaminante por un subproducto no deseado y el agua se ve afectada por ser portadora de microbios patógenos, nutrientes, sustancias que consumen el oxígeno del agua, metales pesados y materia orgánica persistente, también se encuentran sedimentos suspendidos y pesticidas que suelen provenir en su mayoría de fuentes no localizadas, la pérdida de la calidad del agua parte de este principio; sin embargo el problema más común es la eutrofización, que “es el proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, balsas, ríos, embalses, etc. Este proceso está provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, procedentes mayoritariamente de la actividad del hombre” (*Eutrofización: Causas, Consecuencias y Soluciones* | *IAgua*, n.d.). La eutrofización resulta ser la causa del deterioro considerable del beneficio en cuanto el uso



del agua. (*Hecho 15: La Contaminación Del Agua | Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura, n.d.*)

La eliminación de desechos debe llevarse a cabo de una manera racional con el medio ambiente para reducir la contaminación y así mismo el riesgo de enfermedades. Mas del 80% de las aguas residuales de los municipios e industrias en el mundo, retorna de nuevo al medio ambiente sin haber recibido un tratamiento previamente. El hecho de realizar un tratamiento en las aguas residuales genera la liberación de cuerpos de agua superficial, al tiempo que los sedimentos suspendidos son enviados a vertederos. Es necesario crear una solución adaptable, rentable, pertinente para la recolección segura, de fácil transporte, que ofrezca un tratamiento y eliminación de desechos. “Las soluciones también deben adaptarse e implementarse localmente de manera colaborativa e incluyente, involucrando a todos los actores clave y beneficiarios, sin dejar a nadie atrás” (WWAP, 2017). (Mundial & Unidas, 2019)

La activista por la justicia del agua Maude Barlow (2020) señala que, “El compromiso de honrar el derecho humano al agua se ve fuertemente socavado tanto por la falta de fondos invertidos por los gobiernos como por la contaminación, la extracción excesiva, el desvío y la mala gestión de las fuentes de agua del planeta. Todos los derechos humanos del mundo no proporcionarán agua limpia donde no la hay” (Coronavirus, n.d.).

1.2.5 Enfermedades relacionadas con el agua

El cambio climático tiene importantes repercusiones de diversa índole sobre el derecho humano a la salud. Un impacto de primer orden es la propagación de



enfermedades infecciosas, muchas de las cuales se transmiten a través del agua y ya representan una carga considerable para las poblaciones vulnerables de todo el mundo. Las enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera, son muy sensibles a los cambios de temperatura, precipitación y humedad de forma indirecta, el cambio climático puede reducir la productividad agrícola, afectar negativamente a la nutrición y favorecer la propagación de las enfermedades transmitidas a través de los alimentos (ONU, 2019). El agua puede contener impurezas o microorganismos que provocan enfermedades por su consumo. Los estándares de calidad establecidos en la legislación correspondiente buscan definir límites que reduzcan el riesgo de contraer dichas enfermedades. Para que el resultado sea efectivo, es necesaria una verificación periódica permanente de que el agua cumple con los estándares de calidad definidos. Esa verificación se realiza a través de dos mecanismos: la vigilancia y el control de la calidad. (Teresa C & Roger A, 2008)

Prestar servicios básicos es respetar la dignidad humana. Más allá de esta declaración prescriptiva, el valor de la provisión de WASH aumenta cuando se reconoce su impacto en la redistribución. De hecho, atender las necesidades básicas (como las de WASH) de los menos favorecidos puede corregir las causas subyacentes de las inequidades. Por ejemplo, el deficiente suministro de agua y saneamiento contribuye a enfermedades debilitantes como la diarrea y el retraso en el crecimiento infantil. Estos trastornos de salud resultan además en una menor asistencia escolar de los niños y tiempo no trabajado para los adultos, perpetuando aún más los ciclos de pobreza (Mundial & Unidas, 2019).



Cada 10 segundos muere un niño debido a la pobreza junto con la problemática de saneamiento básico del agua. Un informe emitido por las Naciones Unidas dice que 1.100 millones de personas en el mundo vive sin acceso al agua potable. Esta cifra asciende de manera catastrófica al introducirse en la materia de cuanta gente vive en condiciones indignantes en cuanto a su estado de salubridad, puesto que son 2.400 millones de hombres y mujeres que no cuentan con acceso a instalaciones sanitarias adecuadas para los parámetros estandarizados de salud a nivel mundial. En consecuencia, se predice que al año 2.2 millones de personas en el mundo mueren por causa de enfermedades que se vinculan con la problemática de la contaminación del agua, dentro de las que se encuentran: el colera, la diarrea, la poliomielitis y amibiasis, entre otras. Por lo cual la crisis del agua potable reside en el 80% de las enfermedades y el 33% de las muertes. Así es como el 65% de las hospitalizaciones y el 80% de las consultas médicas son causadas por enfermedades gastrointestinales. Países desarrollados tienen un 25% de su población sin acceso al agua potable ni a la red de alcantarillado. (“La Biofiltración, Una Alternativa Para La Potabilización Del Agua,” 2004)

El indicador más sensible del bienestar de la población es la morbilidad porque proporciona el conocimiento sobre enfermedades que no producen necesariamente la muerte pero que reducen la capacidad para el desarrollo de las actividades laborales o escolares habituales y estimulan la demanda de los servicios de salud. Asimismo, a diferencia de la mortalidad, considera el efecto acumulativo del debilitamiento por enfermedades recurrentes (Rojas & Rojas, 2002). Ver figura 5.



Estados (Por 1.000 nacidos vivos y menores de un año)	Orden de las enfermedades transmisibles más importantes (1999)					
	1	2	3	4	5	6
Zona metropolitana 55-56	Respiratoria aguda	Gastroenteritis y disentería	Tuberculosis	Helmintiasis	Sarampión	Varicela
Frontera norte 80-83	Gastroenteritis y disentería	Tuberculosis	Respiratoria aguda	Sarampión	Tifoidea	Paperas
Frontera sur 92-96	Gastroenteritis y disentería	Respiratoria aguda	Tifoidea	Paperas	Helmintiasis	Tuberculosis
Central 103-115	Respiratoria aguda	Paperas	Gastroenteritis y disentería	Helmintiasis	Tuberculosis	Tifoidea
Costa 66-73	Respiratoria aguda	Gastroenteritis y disentería	Tifoidea	Helmintiasis	Tuberculosis	Paperas
Amazonía 124-142	Gastroenteritis y disentería	Respiratoria aguda	Helmintiasis	Tuberculosis	Tifoidea	Sarampión
Montaña 120-135	Respiratoria aguda	Gastroenteritis y disentería	Tifoidea	Paperas	Helmintiasis	Tuberculosis
El País	Respiratoria aguda	Gastroenteritis y disentería	Tuberculosis	Tifoidea	Helmintiasis	Sarampión

Figura 5. Enfermedades transmisibles mas importantes en el país.

Fuente: (Rojas & Rojas, 2002)

Aproximadamente un décimo de las enfermedades a escala global podría ser prevenida y/o contenida a partir de la mejora en el sistema de abastecimiento de agua, saneamiento, higiene y la gestión de los recursos hídricos, ya que estas mejoras aportarían a la reducción de la mortalidad infantil y brindarían el ascenso en el nivel nutricional y de salud de una manera sostenible. Para el año 2000, la diarrea fue la causa del 17% de los 10,6 millones de muertes ocurridas en niños menores de 5 años, y el 8% de la malaria. Alrededor del mundo mueren 1,4 millones de niños a diario por enfermedades diarreicas, es la diarrea ordinaria la que genera la muerte por alguna enfermedad relacionada con el agua, saneamiento e higiene y contribuye así con el 43% de las muertes. Por otro lado, está la desnutrición que es la causa del 53% de muertes de niños menores a los 5 años, puesto que el no contar con una nutrición aceptable produce



que un tercio de las enfermedades se generen en territorios nacionales con ingresos medios y bajos. Es la falta de acceso a una nutrición balanceada y segura, que la relación con los recursos hídricos llegan a ser causales de una alimentación inadecuada y donde el 50% está ligada a enfermedades diarreicas crónicas o infecciones por nematodos intestinales que surgen por efecto del agua contaminada, saneamiento inadecuado y carente de higiene (*Hecho 39: Casi Un Décimo de La Carga Global de Enfermedades Podría Ser Contenida a Través Del Mejoramiento Del Agua | Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura, n.d.*).

1.2.6 Calidad del agua

Como criterio de calidad del agua, esta debe cumplir con los parámetros y estándares indicados en la Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Ambiente & Territorial, 2007).

La tasa de morbilidad y mortalidad infantil por enfermedades relacionadas con el consumo de agua de baja calidad, entre las que se encuentran la diarrea y el cólera, aún es alta en el país. Las malas aguas generan un impacto negativo en la salud pública que según cálculos recientes asciende aproximadamente a 1,96 billones de pesos al año, de los cuales el 70% corresponde al impacto de la morbilidad y mortalidad por enfermedades diarreicas y el 30% restante al gasto en prevención (UNICEF, 2004).

El agua cruda que se emplea para el consumo humano se ve afectada por el vertimiento de las aguas residuales domésticas, industriales y aquellas no puntalmente ocasionadas por alguna actividad agropecuaria. El déficit en la disposición final de los



residuos sólidos afecta también la calidad del agua, los cuales producen el lixiviado que contamina la fuente hídrica superficial como subterránea. El nivel porcentual de la siguiente tabla denota que más de la mitad de la población colombiana se encuentra sujeta al riesgo de adquirir una enfermedad por origen hídrico. Ver figura 6.

Zona	Buena	Mala
Urbana	62,2	37,8
Rural	9,1	90,9
Total	45,9	54,1

Figura 6. Calidad del agua de consumo.

Fuente: (Comisión Reguladora de Agua, 1997).

Dentro del marco de entidades que rigen la calidad del agua potable para el consumo humano se encuentran:

- a) El Programa de Intercalibración de Control de Calidad del Agua Potable (PICCAP) forma parte del programa de vigilancia de la calidad del agua. Busca reforzar la calidad de los análisis producidos por los laboratorios de salud pública. El laboratorio del Instituto Nacional de Salud (Laboratorio Nacional de Referencia) es la base de la red nacional de laboratorios. Esta red será la base analítica y cuantitativa para la implementación a nivel nacional del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de las enfermedades asociadas, entre otras, al recurso agua y la certificación y acreditación de los laboratorios a nivel regional (Comisión Reguladora de Agua, 1997).
- b) El objetivo del Sistema de Información sobre la Calidad del Agua y Saneamiento (SICAS) es proveer información del abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento de las zonas urbanas y rurales del territorio nacional cuyo fundamento es el



apoyo necesario en el desarrollo del Programa de Vigilancia de la Calidad del Agua (Comisión Reguladora de Agua, 1997).

La Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano explica la manera de planificar programas de vigilancia y control de la calidad del agua, define los criterios para tener en cuenta para concretar el nivel de intervención, indica los alcances que debe tener la legislación, reglamentación, políticas y gestión básica, e identifica las principales labores de apoyo para la adecuada planificación de futuras intervenciones de vigilancia y control. Se reconoce que los mayores riesgos de enfermedades causadas por microorganismos patógenos están relacionados con la ingestión de agua contaminada con heces humanas o de animales. Sin embargo, esos riesgos no pueden eliminarse por completo porque esas enfermedades también pueden difundirse por contacto personal, aerosoles y alimentos. La importancia de la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano es que la inocuidad del agua abastecida reducirá la posibilidad de difusión de las enfermedades por las vías antes indicadas, al facilitar prácticas de higiene personal y doméstica. (Rojas & Rojas, 2002).

A escala global la calidad y la confiabilidad de los servicios son mediocres y la infraestructura se encuentra en mal estado. Ver figura 7.



	Agua potable			Saneamiento			Tratamiento de las aguas servidas urbanas
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	
África	85	47	62	84	45	60	0
América Latina y el Caribe	93	62	85	87	49	78	14
América del Norte	100	100	100	100	100	100	90
Asia	93	75	81	78	31	48	35
Europa	100	87	96	99	74	92	66
Oceanía	98	63	88	99	81	93	a

Figura 7. Cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento por regiones del mundo,

CIRCA 2000 (Porcentaje).

Fuente: (Jouravlev, 2004)

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), define como agua segura: “el agua apta para el consumo humano, de buena calidad y que no genera enfermedades; es un agua que ha sido sometida a algún proceso de potabilización o purificación casera” (Panamericana, 2008)

Sin embargo, determinar que un agua es segura sólo en función de su calidad no es suficiente. La definición debe incluir otros factores como la cantidad, la cobertura, la continuidad, el costo y la cultura hídrica; es la conjugación de todos estos aspectos lo que define el acceso al agua segura.

Agua segura = Cobertura + Cantidad + Calidad + Continuidad + Costo + Cultura hídrica

1.2.7 Generalidades sobre las fuentes de abastecimiento

Convencionalmente las fuentes de abastecimiento de agua son las aguas superficiales y las aguas subterráneas, aquellas que se caracterizan por ser no



convencionales son el agua de mar y el reúso de las aguas residuales. Debido a que sobre la superficie de la tierra los contaminantes que afectan la calidad del agua son mayores que aquellos que se encuentra subterráneamente, las aguas subterráneas son más fáciles para realizárseles tratamiento que las aguas superficiales, hecho que contribuye a que funcionen como fuentes de abastecimiento para dotar a las comunidades de las zonas rurales; en cuanto estas cumplan con un nivel aceptable de calidad y cantidad, en base a la demanda poblacional en la zona que abarca dicha fuente de agua.

Las características del agua contenida en los cuerpos de agua subterránea y agua superficial deben ser relacionadas con la necesidad de tratamiento que implica para cada una. A continuación, se relacionan las características de análisis:

a) Agua subterránea:

Las aguas subterráneas son aquellas masas de agua encontradas bajo la superficie de la tierra. Las cuales se forman a partir del ciclo hidrológico en su proceso de escorrentía sobre el suelo, infiltradas a través de las precipitaciones, de los cuerpos de agua formados sobre la tierra: como lagunas, embalses, represas, ríos. Generalmente cuando la capa superficial de la tierra se encuentra saturada de agua. Se denominan acuíferos a estos cuerpos de agua que yacen bajo la tierra y se caracterizan por tener un flujo relativamente estable. Se determinan en términos de dirección y velocidad como 10-10 m/s a 10-3 m/s en función de permeabilidad y porosidad de acuerdo con el material geológico.

Las iniciativas para la gestión conjunta del agua, como la recarga gestionada de los acuíferos y el control de crecidas para el riego son soluciones sostenibles, rentables y



escalables y podrían ser especialmente importantes en el contexto de los países en desarrollo (ONU, 2019).

b) Agua Superficial

Se define como agua superficial todo cuerpo de agua que se encuentre abierto a la atmosfera, capaz de fluir por caminos establecidos que cambian a través del tiempo o estar en estado de reposo dando forma a corrientes de agua, ríos, lagunas, lagos y embalses. Las fuentes de agua superficial se forman a partir de la precipitación o ya sea por alguna descarga de agua de un manto freático existente. Se considero flujo lento a los lagos y embalses, ya que en términos de dirección y velocidad se encuentran entre 0,001 y 0,01 m/s. Este contenido de agua retenida ofrece una claridad sobre el cuerpo de agua, debido a que la actividad microbiana actúa para remover materia orgánica y las fluctuaciones físicas, puesto que el proceso de sedimentación separa el material particulado.

El aumento en la calidad del agua se debe al almacenamiento, ofreciendo una oportunidad para reducir el tratamiento previo al suministro y abastecimiento de la población. Desfavorablemente el agua que se encuentra en reposo es propensa a promover la población de algas y su profundidad hace que se genere un sistema de estratificación térmica, particularmente en épocas de verano cuando hay ausencia de oxígeno.

La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas, presencia de animales, residuos sólidos y otros.



Así mismo es importante conocer las particularidades de la cuenca, y determinar la existencia probable de fuentes de contaminación, sea urbana, industrial o agrícola.

(Teresa C & Roger A, 2008).

1.2.8 Los aspectos más importantes por considerar para el diseño de un filtro rápido de arena

Potabilizar el agua lleva a cabo un conjunto de procedimientos que ofrecen que el agua alcance niveles sanitarios aceptables para su consumo, especialmente en los humanos. El agua que consumen los humanos generalmente es captada de un acuífero (rio, presa, agua subterránea), su transporte se efectúa a través de una línea de conducción ejecutada a presión o a partir de la gravedad cuando se trata de una planta potabilizadora, después esta se envía a la población humana por medio de redes de distribución y las tomas hacia los domicilios.

El tratamiento del agua está relacionado con la importancia del agua segura, libre de contaminación bacteriana, libre de metales pesados, libre de mal olor y con poca o ninguna turbidez (Mundial & Unidas, 2019).

Cuando el agua presenta impurezas que impiden su consumo directo deberá ser previamente tratada. Los procesos de tratamiento deben ser definidos de acuerdo con la calidad del agua cruda y al tipo de impureza que se quiere remover. Para definir los requerimientos de tratamiento, es necesario conocer la calidad del agua durante un período mínimo de un año, ya que ocurren variaciones en los períodos de sequía y de lluvia. Para ello, deberán realizarse los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos



correspondientes. Muchos sistemas de tratamiento no funcionan adecuadamente porque la calidad del agua no ha sido evaluada correctamente (Teresa C & Roger A, 2008).

Elaborar un dispositivo simple y funcional como un Filtro Rápido de Arena, a partir del uso de materiales de fácil adquisición y con un valor económico accesible para poblaciones rurales de niveles bajos en términos de recursos socioeconómicos, brinda la oportunidad de mitigar el problema de consumo de agua contaminada o baja calidad que obtienen de fuentes de captación con un grado de contaminación acuífera por debajo del establecido y apto para su empleo doméstico. El municipio de Carmen de Carupa se aborda con esta finalidad, ofreciendo a la zona rural un sistema de tratamiento que sea garante del nivel aceptable de agua potable para consumo humano.

Los microorganismos presentes en el agua son eliminados a altas temperaturas, en general entre 40 y 100 °C. La radiación solar también inactiva los microorganismos, por efecto de los rayos ultravioletas. Por ese motivo, una de las maneras más sencillas de garantizar la calidad del agua a nivel domiciliario es utilizando la desinfección solar del agua (Teresa C & Roger A, 2008).

El trabajo en torno a los residuos líquidos es muy importante porque la comunidad local ha estado aplicando tecnologías adecuadas en zonas a las que no llega el sistema municipal de alcantarillado, debido a las barreras topográficas y a la gran distancia entre las casas. Los hogares rurales separan las aguas que contienen excrementos de las “aguas grises”, que son las generadas por la cocina, la lavandería, la ducha y el fregadero. Para el tratamiento de las primeras, la población rural utiliza fosas sépticas. Para las segundas, utilizan biojardineras, una tecnología que simula los procesos



naturales de descomposición de la materia orgánica que se dan en la naturaleza; también denominados humedales artificiales, estos mecanismos consisten en un simple filtro de grava y piedra sobre el que se cultivan plantas semiacuáticas. Esta tecnología básica elimina la contaminación mediante una secuencia de reciclado y evita que las fuentes de agua superficiales y subterráneas se contaminen con vertidos de aguas residuales sin tratar. Tecnologías como ésta son muy importantes, ya que la Organización Mundial de la Salud ha reafirmado la necesidad de mantener el agua que consumen los hogares lo más limpia posible (WHO 2020). Teniendo en cuenta estas prácticas, podemos afirmar que el agua suministrada por muchos acueductos rurales no ha sido contaminada y, por lo tanto, reduce el riesgo de transmisión del virus de la covid-19 u otros patógenos (Coronavirus, n.d.).

Suministrar agua potable a determinada población implica aspectos relevantes tales como: la adecuación y aceptación de los niveles de calidad para el consumo humano. Para tal fin es necesario indagar sobre la forma más conveniente de llevarlo a cabo, teniendo en cuenta la parte técnica y la parte económica. Comúnmente dicho suministro se realiza desde lo que se conoce como fuente convencional, se encuentra compuesta por las aguas subterráneas como lo son los acuíferos y por las aguas superficiales como lo son ríos, lagunas, embalses, represas.

Esto, a su vez, puede potenciar la filtración al agua subterránea y, por tanto, favorecer un mayor almacenamiento (WWAP/ONU-Agua, 2018).

La elevación de los niveles de turbiedad es proporcional al color aparente del agua, esto ocurre debido a que en ella se encuentra suspendida materia orgánica e



inorgánica dentro de las cuales se encuentran: la arcilla, los sedimentos, el plancton y microorganismos. Así que la medida de turbiedad se entiende como la pérdida de luz que se transmite a través de una muestra por la difracción de los rayos al chocar con las partículas suspendidas en lo que respecta al tamaño de estas, el nivel de concentración y la forma que presentan.

El tamaño de las partículas productoras de turbiedad se encuentra entre 1nm a 1mm, a causa de la erosión del suelo, otros materiales y organismos. La turbidez en el agua yace en la composición arcillosa y orgánica que adsorbe compuestos tales como: plaguicidas, metales y microorganismos; estos compuestos generalmente ocasionan un daño a la salud. La particularidad en lo que concierne a la turbiedad del agua es el desarrollo de microorganismos, puesto que funciona como la base de alimentación y reproducción.

En la selección de la fuente de abastecimiento, es necesario considerar la característica del agua y los requerimientos de tratamiento, asimismo, la capacidad local para el manejo de las unidades de tratamiento. De ser posible, deben ser evitados los procesos con coagulación química, que requieren insumos químicos y personal especializado para operación y mantenimiento. El diseño de una instalación de tratamiento de agua debe efectuarse de la manera más simplificada posible, evitándose equipamientos mecanizados o controles especializados. Para ello, deberán realizarse los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos correspondientes. Muchos sistemas de tratamiento no funcionan adecuadamente porque la calidad del agua no ha sido evaluada correctamente (Teresa C & Roger A, 2008).



1.2.9 Proceso de potabilización

El objetivo de la potabilización será garantizar al consumidor que el tipo de agua captada alcanzará la calidad indicada en la legislación para un determinado uso, de acuerdo con el decreto número 1575 de 2077 – Ministerio de la Protección Social. Para garantizar que el agua para consumo humano está libre de algún contaminante que afecte la salud es indispensable realizar un tratamiento de potabilización, dentro de los cuales se destacan: los componentes o impurezas a eliminar, parámetros de calidad y los grados de tratamiento de agua. En este sentido se puede realizar una lista de procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes. De esta forma, la clasificación sería la siguiente: (Ver figura 8).

TIPO DE CONTAMINANTE	OPERACIÓN UNITARIA
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación+Floculación+Decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia Orgánica	Afino con Carbón Activo
Amoniaco	Cloración al Breakpoint
Gérmenes Patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por Oxidación
Sólidos disueltos (Cl-, Na+, K+)	Osmosis Inversa

Figura 8. Procesos unitarios posibles para llevar a cabo en función de los contaminantes presentes.

Fuente: (Romero, 2008).

Se entiende que la susceptibilidad que presentan las aguas superficiales a fin de abastecer a la población se clasifica con respecto al grado de tratamiento que requieren para que sean aptas para su consumo. Se clasifican de la siguiente manera (Romero, 2008):



TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección

TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección

TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en la Resolución 2115 de 2007, Capítulo II en su Artículo No. 2 Indica cuales deben ser las características físicas del agua para consumo humano y los valores máximos aceptables que no deben ser sobre pasables para cada una de las características físicas que se encuentra en la siguiente tabla. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Características Físicas.

<i>Características Físicas</i>	<i>Expresadas como</i>	<i>Valor máximo aceptable</i>
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: (Ambiente & Territorial, 2007)

1.2.10 Tratamiento para la potabilización del agua

Cualquiera que sea la fuente de captación de agua debe pasar a través de un tratamiento de potabilización en el cual se debe fundamentar estudios de calidad y pruebas de tratabilidad, para lograr obtener agua que cumpla con las características físicas, químicas y microbiológicas que se mencionan en la Resolución 2115 de 2007 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Para llevar a cabo este objetivo existen diferentes procesos de tratamiento para potabilizar el agua cruda. Los sólidos que se encuentran suspendidos en lo que respecta a la turbiedad en el agua superficial deben ser removidos a partir del proceso de filtración. En el caso de que los



valores de turbiedad varíen de manera significativa se recurre a un proceso en donde se realiza aplicación de diferentes productos de tipo químico para eliminar la turbiedad, proceso denominado como coagulación-floculación que resulta funcionar de manera eficaz, ofreciendo rentabilidad para adaptar estos procesos de potabilización (Ambiente & Territorial, 2007).

Los métodos más comunes de purificación de agua dependen de que la electricidad/ energía esté disponible durante todo el día, lo que ciertamente no es una realidad en todas partes. Los sistemas PDU y PDE utilizan métodos de purificación que consisten en tres categorías principales (Peter-Varbanets et al., 2009):

- ✓ Calor o radiación
- ✓ Tratamiento químico
- ✓ Procesos de eliminación física

El calor o la radiación pueden destruir patógenos eficazmente (p.ej., las técnicas incluyen la ebullición, la radiación solar, etc.). Aunque estos métodos matan a los patógenos, no ofrecen protección contra la recontaminación. Los productos químicos se utilizan abundantemente para purificar, desinfectar y proteger contra la recontaminación. La eliminación física ayuda a reducir los contaminantes microbianos y químicos al separarlos del agua, utilizando técnicas de sedimentación o filtración (Mundial & Unidas, 2019).



1.2.10.1 La Coagulación y la Precipitación química

En la zona rural de Colombia, frecuentemente las fuentes de aguas disponibles no cumplen con los indicadores de calidad de agua apta para un tratamiento simplificado, siendo necesario llevar a cabo un tratamiento de tipo químico. Debido a que el agua presenta un elevado nivel de impurezas y turbiedad, en sus sedimentos suspendidos se encuentran coloides, los cuales no son posible removerlos haciendo uso del proceso de filtración directa, para ello es necesario emplear el tratamiento químico que conlleve coagulantes para remover todas las impurezas presentes en el agua, a fin de desestabilizar la materia y provocar la acumulación de partículas pequeñas hasta que se formen en tamaños considerables dando origen a los “flocs”, que luego serán removidos por el proceso de filtración directa. Coagulantes como el sulfato de aluminio, es el más utilizado. Este proceso tiene 4 etapas tales como: coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

El aluminio es altamente soluble a pH alcalinos, debido a la formación del ión aluminato $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, la coagulación con aluminio es un efectivo medio de eliminar materia orgánica, especialmente sustancias húmicas, que son precursores de la formación de subproductos de la desinfección. La coagulación preferentemente elimina la materia orgánica natural de más alto peso molecular, en este sentido son mejor eliminados los ácidos húmicos que los fúlvicos, no obstante, suelen eliminarse más del 60% de la mayoría de los precursores. Está comprobado que el pH de coagulación tiene una gran



influencia en la eliminación de materia orgánica, mayor eliminación a $\text{pH} < 7$

(*Coagulación-Floculación*, n.d.).

Para llevar a cabo el proceso de coagulación se deben realizar 3 pasos, ya que este es un proceso que implica bastantes reacciones y así mismo la transferencia de masa. A continuación, se describen los 3 pasos:

1. La formación del coagulante
2. La desestabilización de las partículas y la interacción con el coagulante lo que sucede después de la dispersión de la mezcla rápida.
3. Las colisiones entre las partículas que forman los flóculos durante la mezcla.

El carbón activado se utiliza para los pretratamientos por adsorción para eliminar compuestos tipo organoclorados. También es posible utilizar cal, sulfato de aluminio o policloruros de aluminio. La consecuencia con el sulfato de aluminio se debe al incremento en cuanto a la concentración de sulfatos en el agua, formando flóculos que generan una complejidad para su sedimentación; y la consecuencia con el hierro es al incremento en la concentración de iones cloruro en el agua, que llega a presentar problemas de pH tipo ácido. Por otro lado, la cal genera un floculo denso que se sedimenta fácilmente, sin embargo, presenta dificultades de manipulación. El reactivo más utilizado es el sulfato de aluminio, y también a nivel comercial es conocido como alumbre. Se debe aún solido de forma cristalina de color gris que contiene 17% masa de aluminio (Al_2O_3) soluble en agua.



1.2.10.2 Filtración Rápida

La potabilización del agua superficial se lleva a cabo mayoritariamente por el proceso de filtración rápida. Este proceso se realiza con o sin un pretratamiento de coagulación y sedimentación, para remover los sedimentos suspendidos en el agua. El agua fluye a través de la arena, y en ese recorrido los sólidos se quedan atrapados en la arena. El agua filtrada es recogida en el fondo del filtro a través de un sistema de recolección. Los sólidos retenidos deben ser periódicamente removidos invirtiendo el flujo de agua. El lavado se realiza a intervalos de uno a dos días. Los filtros rápidos de gravedad o de presión también pueden ser usados para filtración directa del agua, sin pretratamiento, cuando el agua tiene baja turbiedad (Teresa C & Roger A, 2008).

El filtro consiste en un artefacto diseñado a partir de un contenedor plástico cilíndrico tipo balde conformado por medios filtrantes de arena y un soporte de grava y en el fondo cuenta con una llave de paso para la salida del agua potabilizada. Los medios filtrantes de área pueden ser de lechos mixtos como arena sílica y antracita. Este sistema funciona de la siguiente manera: el agua entra al filtro de agua por medio de una tubería por la parte superior del recipiente, el cual se encuentra sellado por una tapa, esta a su vez tiene una conexión de dicha tubería en el centro, por donde ingresa el agua y hace contacto con un material absorbente que ayuda a desplazar el cuerpo de agua de manera horizontal, a lo que la gravedad hace descender la columna de agua uniformemente a través de lo largo del material filtrante. Ver Figura 9. Cuando el filtro se encuentra saturado la llave de paso debe abrirse y recoger el agua en otro recipiente limpio para luego hacer uso de esta. Para su limpieza del cumulo de impurezas presentes en el filtro rápido de arena, se debe realizar un retrolavado, que es un proceso que se hace cambiando la dirección del flujo en un sentido ascendente. El



filtro debe estar a una altura determinada, ubicado en un sitio despejado en el que se encuentre inamovible en cuanto se encuentre en uso.

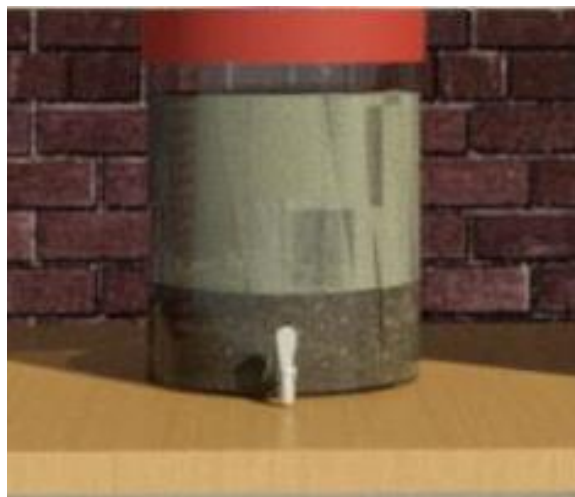


Figura 9. Render Ubicación estratégica del filtro.

Fuente: (Filtro Piloto, 2019)

El diámetro se define con la tasa de filtración que se desea manejar en el sistema, entonces, conociendo que el rango de filtro rápidos está entre 4.17 y 19.8 m/h (Droste, 1997), se desea estudiar dos valores que se encuentren en valores extremos dentro este rango, por lo que se define 5 m/h y 15 m/h como tasas de filtración de prueba. A partir este punto, la definición del diámetro del filtro se restringe por la disponibilidad de materiales estandarizados en el mercado. Con base en esto, se encuentra que una tubería de PVC de presión con diámetro nominal de 4 in permite desarrollar el sistema con caudales de 0.7 lpm y 2 lpm tal que permitiera definir tasas de filtración de 5.18 m/h y 14,8 m/h respectivamente (Torres Puentes & others, 2017).

El documento Conpes 3810 (Consejo Nacional de Política Económico y Social) Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Menciona



que: actualmente, Planes Departamentales de Agua como el de Antioquia y Cundinamarca vienen implementando soluciones individuales y, por su parte, el Ministerio de Salud y Protección Social con el Instituto Nacional de Salud, están en proceso de evaluación de la aplicabilidad de filtros de purificación de agua dentro del hogar, que van a ser distribuidos a nivel nacional (DNP, 2014).

Cuando los “flocs” coagulados que no son sedimentables se retienen en los poros del filtro se garantiza que ha habido una filtración optima. En caso de que se incremente la velocidad de filtración cuando este contiene solidos depositados, las fuerzas hidráulicas de corte también se incrementarían y llevarían los sólidos retenidos hasta el efluente, llevando consigo pérdida de material del lecho filtrante.

1.2.10.2.1 Medio Filtrante

Para garantizar que la función del filtro cumpla con los estándares establecidos de potabilización se debe contar con las siguientes características:

- 1) Contar con una abertura de recipiente lo suficientemente amplia para que los intersticios entre los granos de arena sean de gran capacidad de almacenamiento.
- 2) El lecho filtrante debe contar con un material que sea lo bastante fino como para cumplir con la retención.
- 3) La dimensión de altura del recipiente debe ser proporcional al tiempo de duración de salida del agua potabilizada.
- 4) Debe cumplir con una graduación adecuada para que se permita un lavado eficiente cuando se requiera realizar limpieza del filtro.



El filtro rápido necesita que alrededor de sus granos se forme rápidamente una capa de materia coloide que va a retener la arcilla que existe en el agua al estado coloidal. Esta capa es formada por la materia coagulante. De modo que una parte de las materias En suspensión se separan por decantación en los estanques coaguladores y La otra en los filtros rápidos a dónde va el agua con el resto de materia coagulante (Lila, 1914).

1.2.10.2.2 Bajos Drenes

Los bajos drenes pueden encontrarse de varios tipos de material que cumplen la función de distribuir el agua a lo largo del sistema del Filtro Rápido de Arena. En lo convencional para este sistema se utilizan canicas de cristal ubicadas en la parte superior del Filtro, con un espesor de medio filtrante de 10 cm y contando con un diámetro de canicas entre 5, 4, 2.5 y 1.5 cm; ubicadas del diámetro mayor al diámetro menor de manera descendente. El agua entra por el tubo o embudo ubicado en el centro del sistema y por efecto de la gravedad tomara un recorrido homogéneo en todo el filtro gracias a la forma circular de las canicas.

1.2.10.2.3 Lavado del Filtro Rápido de Arena

Se debe realizar un lavado de filtro para volver a regenerar la capacidad de filtración de agua establecida para la efectividad de su proceso de potabilización. Cuando en el flujo hidráulico se denote que el agua filtrada presenta coloides se debe realizar el lavado, ya que significa que este presenta perdida de carga terminal selecta y en general la carga real disponible. Es recomendable retirar el material de acuerdo con su tipo y realizar un lavado por independiente por cada espesor para prevenir perdida de material y/o mezcla entre material de un tipo u otro, ya que esto puede presentar una disminución



en la efectividad de potabilización del agua. También se puede realizar el lavado en contracorriente con un caudal suficiente para que se expandan los granos, haciendo que estos se encuentren suspendidos formando conductos para que el material coloide pase a través de estos hasta que se observe el color del agua conforme lo establecido. Las fuerzas hidráulicas cortantes provocan que ocurran desprendimiento de los sólidos del medio granular, así como también la colisión entre partículas, conocido como abrasión. Suministrar aire en este proceso ayuda a que los lechos filtrantes se expandan hasta un 50% en su altura inicial, permitiendo el paso de partículas coloides en cumulo pasar con menor contacto entre el material granular.

Una vez el filtro se ponga nuevamente en servicio se debe desechar el agua que fluya al inicio del proceso de filtración, hasta que el filtro se reestablezca por completo a través del flujo hidráulico y recupere su operabilidad. Comúnmente se presenta la pérdida de material del lecho filtrante como la arena o la antracita durante el proceso de lavado y más aún cuando este presenta en sus materiales filtrante arena fina. Una solución para este problema es especificar arenas más gruesas y de mayor espesor, también es posible utilizar arena con valores de C_u (Coeficiente de uniformidad) elevados, y esto reducirá porcentualmente la pérdida de material fino en el proceso de retrolavado. Debe tenerse en cuenta que entre más elevado sea el valor del Coeficiente de uniformidad, mayor será su valor económico.

La conexión por tubería en el Filtro Rápido de Arena ofrece un nivel constante en el ingreso del agua hacia el lecho filtrante si esta está conectada a la tubería con la que se hace la captación del agua. En caso de que se realice con un embudo por la misma



apertura de diseño, se debe verter el agua en grandes proporciones de manera tal que el embudo permanezca con agua, teniendo en cuenta la cantidad que se espera filtrar.

Cuando el flujo de agua presenta una expansión del 15 al 50% se debe realizar un control que evite estas variaciones que conllevan al deterioro de este, haciendo que esté presente una presión negativa por acumular bolsas de aire dentro del material de lecho filtrante.

Para el correcto funcionamiento del filtro se sugiere hacer un proceso riguroso de lavado a los materiales granulares, así como al tanque de contención, ya que este proceso asegura la efectividad en el funcionamiento y procura una vida útil más larga (Torres & Villanueva, 2013).

1.2.10.3 Decantación

Este procedimiento consiste en la separación del componente más denso (sólido o líquido más denso), del líquido menos denso, por acción de la gravedad. Se deja reposar la mezcla en un recipiente (generalmente se utilizan embudos de separación o decantación) y, de esta forma, el componente más denso desciende por acción de la gravedad hacia la parte inferior del embudo y el componente menos denso permanece en la parte superior. Por último, se extrae el componente más denso por la parte inferior. Estos tipos de herramientas para separar mezclas, por lo general, tienen acopladas varias llaves en distintas posiciones, que se pueden abrir y cerrar para extraer el componente deseado. El agua sucia que es recogida producto del retrolavado se colecta en un recipiente similar al recipiente en el que se constituye el Filtro Rápido de Arena, para remover los sólidos a partir de la decantación y recuperar el agua, de tal manera que este



recipiente al igual debe contar con una llave de paso y/o tubería que dispondrá de la salida de sedimentos de retrolavado una vez haya terminado el tiempo de decantación de acuerdo con el nivel de agua vertido en el recipiente desde un principio. Una vez hayan salido los sedimentos se retira el agua con absorción o por vertimiento del recipiente en el que se encuentra al filtro a través del embudo; esto con el fin de evitar el desperdicio del líquido vital.

1.2.10.4 Tecnologías avanzadas para la potabilización de agua

Entre las tecnologías de tratamiento avanzado encontramos la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa, muy costosos que requieren personal capacitado para su operación y mantenimiento. Estas tecnologías avanzadas usualmente se emplean a escala industrial por su elevado costo.

El sector es un permanente usuario de tecnologías. Desafortunadamente, éstas siempre se han relacionado con las tecnologías de ingeniería en forma exclusiva, dando poca o ninguna importancia a las relacionadas con el mercadeo, la administración y gerencia entre otras (Comisión Reguladora de Agua, 1997).

1.2.10.4.1 Microfiltración

La microfiltración es el proceso de filtración con un filtro de tamaño micrómetro. Los filtros pueden ser a presión atmosférica o un recipiente a presión. Pueden ser fibras huecas, hojas planas, tubulares, espirales, de fibra fina hueca o una superficie grabada. Estos filtros son porosos y permiten que el agua pase a través de ellos, elementos monovalentes (Na^+ , Cl^-), materia orgánica disuelta, pequeños coloides, bacterias y virus.



Sistemas de microfiltro debe tener un tratamiento previo adecuado para prevenir frecuente y / o irreversible ensuciamiento de la membrana. La microfiltración se puede utilizar en muchas aplicaciones, tales como la esterilización en frío de bebidas y productos farmacéuticos, la clarificación de zumos / vino / cerveza, separación de las bacterias del agua, el tratamiento previo de la ósmosis inversa, la separación aceite / agua, tratamientos de efluentes, agua de uso médico, agua de laboratorio, o cualquier aplicación de agua de alta pureza (*Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa – PureWater Colombia | Tecnología En Tratamiento de Aguas*, n.d.).

El medio filtrante se construye en polipropileno, celulosa, fibra de vidrio, nylon, y las carcassas de los filtros de cartucho pueden estar construidas en acero inoxidable, plástico, acrílico, de acuerdo con las presiones y caudales que manejen. Pueden ser sanitarios, múltiples, absolutos, nominales, etc. Un filtro absoluto de, por ejemplo, 5 micrones, retiene cerca del 99,99 % de las partículas de dicho diámetro; mientras que un filtro nominal de 5 micrones retiene alrededor del 90 %. Esta diferencia se debe a que, para el filtro nominal, el tamaño de retención es un valor estadístico, que surge de una distribución gaussiana de poros, a diferencia del filtro absoluto cuyo distribución de poros es más o menos uniforme y el valor límite de retención es obtenido en condiciones de laboratorio como el diámetro de la mayor partícula que pasa a través de él (*Microfiltración | Fluence*, n.d.).

1.2.10.4.2 Ultrafiltración

La ultrafiltración es un proceso de filtración de membrana que se elimina sólidos suspendidos, bacterias, virus, endotoxinas y más para producir agua de alta pureza con



una baja densidad de sedimentos. Pueden retener partículas de $0.001 - 0.1 \mu\text{m}$ micras en un fluido. Las membranas de ultrafiltración son más cerradas que microfiltración, pero más abiertas que la nanofiltración y ósmosis inversa. Utiliza baja presión para forzar el fluido a través de la membrana que resulta en menores costos de operación. Además, es muy eficaz como tratamiento previo a la ósmosis inversa. Las membranas tienen una vida mucho mayor que las de ósmosis inversa porque tienen un sistema de autolimpieza mediante un retrolavado (*Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa – PureWater Colombia | Tecnología En Tratamiento de Aguas*, n.d.).

Las dos fases que están en contacto con la membrana son líquidas y se encuentran a distinta presión hidrostática. Ciertos componentes de la fase líquida se transferirán desde el lado de la alta presión hacia el de baja presión. Las pequeñas partículas disueltas en el líquido pasan a través de la membrana porosa, mientras que las grandes moléculas disueltas, los coloides y los sólidos en suspensión, que no pasan a través de los poros, son retenidos (Lundberg, 1992).

1.2.10.4.3 Nanofiltración

La nanofiltración es un proceso de filtración de membrana que se utiliza con aguas de bajos sólidos disueltos totales. El propósito es suavizar el agua y desinfectar mediante la eliminación de la materia orgánica natural y materia orgánica sintética. La principal diferencia entre los sistemas de ósmosis inversa y la nanofiltración es que la membrana nano no es tan cerrada y funciona a una presión de agua de alimentación inferior. Además, no elimina iones monovalentes del agua tan eficazmente como la



membrana de ósmosis inversa (*Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa – PureWater Colombia | Tecnología En Tratamiento de Aguas*], n.d.).

En la nanofiltración, los iones disueltos en agua se retienen en menor medida que en la ósmosis inversa. Los índices habituales de retención de sal se sitúan en el 80 - 85 % aproximadamente. En muchos casos, los equipos de nanofiltración son una alternativa interesante a los equipos de ósmosis inversa, puesto que las costosas regeneraciones con grandes cantidades de sal no son necesarias (*Nanofiltración - ProMinent, n.d.*).

1.2.10.4.4 Ósmosis Inversa (Ro)

La ósmosis es el movimiento de moléculas a través de una membrana parcialmente permeable porosa, que va de una región de mayor concentración a otra de menor, en esta acción la membrana tiende a igualar las concentraciones en los dos lados (*Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa – PureWater Colombia | Tecnología En Tratamiento de Aguas*], n.d.).

La ósmosis inversa permite eliminar partículas suspendidas, como iones univalentes, en un 90-95%, iones divalentes en un 95-99%, sustancias inorgánicas (aluminio, calcio, cobre, hierro, zinc, magnesio, sulfato o nitrato), compuestos orgánicos (pesticidas, herbicidas, etc.), microorganismos y pirógenos. El soluto queda fijado, mientras que el disolvente pasa al otro lado de la membrana semipermeable (*¿Qué Es La Ósmosis Inversa? | IAgua, n.d.*).



1.2.11 Problemática en el abastecimiento de agua en la zona rural de Carmen de Carupa.

Realizamos un recorrido por la zona rural del Municipio de Carmen de Carupa, ubicado en el departamento de Cundinamarca, y se logró identificar el riesgo presente en el consumo de agua, ya que su calidad se encuentra por debajo de la aceptabilidad permisible para consumo humano. Se logró evidenciar que las actividades agrícolas son un sistema de rentabilidad económica para el desarrollo del municipio de Carmen de Carupa, sin embargo, las fuentes de captación se encuentran con escasa información en cuanto a los plaguicidas que son factores que indican la existencia de contaminación por agroquímicos en los cuerpos hídricos de abastecimiento, a esto se le suma la actividad ganadera que por su parte imparte vertimientos representativos que afectan este sector de producción ya que presenta altos indicadores en la presencia de materia orgánica para lo cual es necesario realizar una intervención con medidas de mitigación.

1.2.12 Abastecimiento de agua en el Municipio de Carmen de Carupa

En la Tabla 3, se puede evidenciar las cuencas hidrográficas que están presentes en la provincia de Ubaté y hacen parte de la macrocuenca del río Suarez, nombrado a cada una de ellas, así como determinando su área en hectáreas, el área de páramo que esta recorre y el porcentaje que le corresponde de conformidad a la macro cuenca de los ríos Suarez, describiendo por su parte los ríos Ubaté y Carmen de Carupa (Basuki, 2019).



Tabla 3. Descripción de las cuencas río Suarez

Nombre de la Cuenca	Áreas Cuencas (Ha)	Áreas de Páramo	Área en %
Laguna de Suesca	29.289,3548	581,13453	0,1
Rio Alto Ubaté	42.436,7976	14.532,37685	3,2
Rio Suta	36.781,2305	14.476,62943	3,2
Laguna de Cucunubá	43.066,8606	4.232,61076	0,9
Rio Lenguaque	64.038,4453	5.984,30070	1,3
Rio Bajo Ubaté	56.705,9554	4.782,75837	1
Nombre de la Cuenca	Áreas Cuencas (Ha)	Áreas de Páramo	Área en %
Rio Susa	10.483,6904	1.899,83847	0,4
Rio Chiquinquirá	22.407,4444	310,11445	0,1
Rio Alto Suarez	69.982,8734	6.705,39503	1,5
Rio Raquira	28.871,5572	1.319,64439	0,3
457.148,1852	70333,3205	15,4000	

Fuente: (Basuki, 2019).

Carmen de Carupa cuenta con zonas de páramo, lo cual para el municipio es una riqueza debido a que estos páramos son las fábricas de agua de manera que permiten el abastecimiento de este preciado líquido tanto a familias y empresas en el área urbana y rural. Del municipio de Carmen de Carupa sobresalen los nacimientos de agua ya que es el origen de la cuenca Rio Alto de Ubaté, en el que cuencas como la del embalse Hato y la Laguna de Fúquene se surten del recurso hídrico (Institucional & Completos, 2020).

1.2.12.1 Proceso de potabilización del agua en la zona rural de Carmen de Carupa

En la actualidad el proceso de potabilización que utiliza la comunidad de la zona rural del Municipio de Carmen de Carupa es hirviendo el agua, este método físico tradicional de



hervir el agua se utiliza para eliminar bacterias presentes en el agua cuando esta alcanza su punto de ebullición a los 100°C , luego debe ser vertida en otro recipiente higienizado para su enfriamiento y uso doméstico. Este método es comúnmente utilizado en las zonas rurales del país debido a la escasa infraestructura de saneamiento. Sin embargo, en el casco urbano del Municipio de Carmen de Carupa cuenta con una Planta de Tratamiento que realiza captación del agua en el río Mortiño. Ver figura 10.



Figura 10. Río Mortiño.

Fuente: Autores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un filtro rápido de arena, para mejorar las condiciones de la calidad del agua en áreas rurales. Caso de estudio: municipio de Carmen de Carupa.



1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las condiciones del agua que usan los habitantes de las zonas rurales en el municipio de Carmen de Carupa.
- ✓ Establecer una medida de calidad efectiva para el consumo y abastecimiento requerido por los mismos, para las diferentes necesidades o actividades que se lleven a cabo en la zona en cuestión.
- ✓ Planificar las medidas de control que se llevarán a cabo a partir de la construcción del filtro de arena rápido, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de los diferentes materiales que serán utilizados en la consolidación del filtro y las características microbiológicas del agua que pasarán a través de este.

1.4 Justificación

La calidad del agua se clasifica dependiendo del uso para el cual va a ser empleada, ya sea para uso recreativo, doméstico, agrícola, ganadero y como hábitat para organismos acuáticos, entre otros usos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que después de usar el recurso, este suele regresar al sistema hidrológico, de manera que si no se realiza el tratamiento adecuado puede acabar afectando gravemente a la fuente superficial.

De esta manera, este informe se enfocará en el uso de agua doméstico que es el recurso que se destina para el consumo humano, debe ser agua que cumpla de manera óptima con los criterios máximos admisibles de los parámetros que determinan la calidad de esta, dado que el destino de esta agua es para el abastecimiento de la población y no debe representar ningún tipo de riesgo para la salud de las personas.



El problema no es sólo la calidad del agua; también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable al día. En promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de líquido al día dependiendo del peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud. Por esto es importante que el servicio de acueducto no sólo tenga una cobertura universal, sino que sea continuo.

¿Por qué los indicadores de servicios básicos en el municipio de Carmen de Carupa no cumplen con los estándares establecidos de acuerdo con la Ley de Regalías, teniendo en cuenta el Decreto 1747 de 1995 referente a la distribución de los recursos del Fondo Nacional de Regalías?.

Capítulo 2

Metodología

2.1 Investigación Bibliográfica

La investigación en los procesos de potabilización de agua en la que se enfoca este proyecto como un método de filtración y utilización de filtros, se dio en base a los temas expuestos en los libros, artículos, normas y/o reglamentos, proyectos e investigaciones como lo son: “Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia” Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud; “ESTADO DEL ARTE DEL AGUA Y SANEAMIENTO RURAL EN COLOMBIA” Consultor Internacional en Agua y Saneamiento, Universidad de los Andes; “GUÍA PARA LA VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO” Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana,



Oficina Regional de la, Organización Mundial de la Salud; “La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua” Línea de investigación: Tratamiento de aguas, Semillero de investigación en Gestión y Medio Ambiente SIGMA; “Caracterización de fuentes hídricas y propuesta de valoración de costos de tratamiento del agua. (municipios Carmen de Carupa y Villa de San Diego de Ubaté), “Filtro rápido de arena para el estudio de remoción de enteroparásitos protozoos en agua”, CAR: Corporaciones Autónomas Regionales; CRA: Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico; IRCA: Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, INS: Instituto Nacional de Salud, MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible; OMS: Organización Mundial de la Salud; PDA: Planes Departamentales de Agua; VASB: Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico del MVCT; MVCT: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

En el desarrollo de este proyecto también se consultaron otros artículos en los que se encuentran diversas publicaciones con respecto al tema de potabilización. Esta información se relaciona en la bibliografía del presente documento.

2.2 Inspección en la captación de la toma de evidencias

La fuente de captación de agua en la que se realizó la inspección es la zona de desembocadura del río mortiño, donde yace el río La Playa. El manejo de los puntos de agua veredal donde se encuentran asociaciones conocidas como “acueductos veredales”, que no son más que la conexión de tuberías flexibles de polietileno de dos pulgadas (2”), donde una tubería madre que inicia desde la fuente de captación del río La Playa hacia el punto de conexión de las tuberías para la distribución en los diferentes hogares de la zona.



No se puede determinar esta adaptación de tuberías como un acueducto que se justifique bajo una infraestructura debidamente definida con un diseño y parámetros establecidos para su control y regulación de manejo. Por lo que se establece como Punto de Distribución de Agua, dado este sistema de captación no cuenta con un proceso de potabilización se determina como sitio especificado para la inspección del agua. Existen tramos en el trayecto del cuerpo de agua que cuentan con bocatomas que funcionan para distribuir agua a las diferentes veredas del municipio de Carmen de Carupa. A continuación, se relaciona una imagen satelital donde se visualiza el paso del río La Playa por la vereda La Playa. Ver Figura 11.

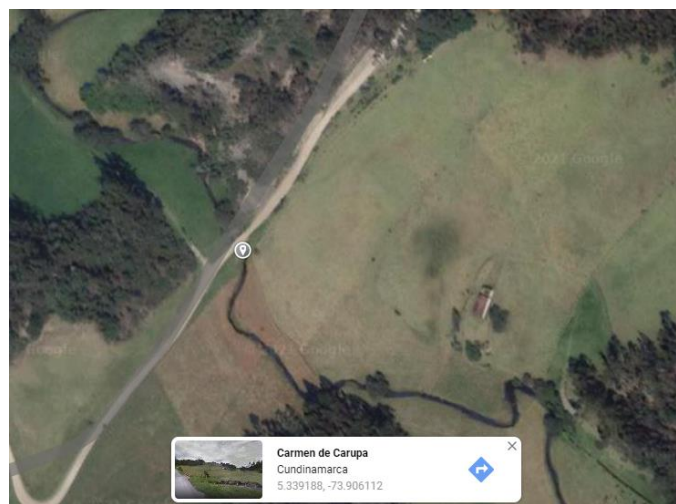


Figura 11. Río La Playa satelital.

Fuente: (Google Maps, n.d.).

La desembocadura del río Mortiño el cual abastece a la vereda Papayo sigue su cauce por la vereda La Playa y llega como a su punto final conocido como río Ubaté, en el cual se abastece a la población de municipio de Ubaté Cundinamarca. Ver figura 12.





Figura 12. Río La Playa.

Fuente: (Google Maps, n.d.).

2.2.1 Líneas de Conducción

Provenientes del nacedero de abastecimiento de la vereda Mortiño, la cual cuenta con interconexión del Punto de Distribución de Agua Las Pilitas El Alto y el acueducto No. 2, sector escuela quebrada Peña Blanca a los hogares de la población rural de Carmen de Carupa, cuyo cauce continuo conduce su curso hacia la vereda Papayo, la cual recibe mediante interconexión por la fundación Punto de Distribución de Agua El Cortaderal, se ofrece abastecimiento de agua a esta vereda, junto con la quebrada Las Panelas. El uso del agua en estas veredas sigue su curso y sale nuevamente al río del que se realiza la captación, los predios de estas veredas cuentan con un pozo séptico de igual manera la esorrentía del agua lleva consigo los químicos, residuos y demás contaminantes que se dirigen nuevamente al río y este seguirá su cauce por la vereda La Playa, en la que se divide tomando curso hacia la vereda Alisal, la cual recibe mediante interconexión del Punto de Distribución de Agua conocido como Asoplaya, de este punto se crea una conexión hacia la vereda la Huerta y de allí se divide en dos líneas de



conducción hacia la vereda Alisal, la cual la cual recibe mediante interconexión del Punto de Distribución de Agua vereda Alisal y la vereda Corralejas, siguiendo su trayecto por la vereda Puerto Santo, seguido de esto pasando por la vereda Sucunchoque y finalizando a encontrarse con la laguna del Hato, de donde también es fuente de abastecimiento para la vereda Salinas, llegando a los hogares por medio de la interconexión de la Asociación de usuarios de acueducto Inter veredal del Hato, el acueducto N1 del Hato. Donde en conjunto con la asociación de usuarios acueducto Quebrada las Calaveras, abastecen esta vereda en su totalidad y este sigue su cauce a encontrarse con el río que viene del nacedero de Mortiño para de esta manera abastecer al municipio de Ubaté.

2.2.2 Filtro

EL filtro rápido, tiene lechos filtrantes de material granular, para tener un mejor resultado y mayor eficiencia para el desarrollo de este y así poder brindar una solución a la problemática que se está viviendo en la zona rural del municipio de Carmen de Carupa. Este material utilizado es la arena silíceo ($\rho = 2,65 \text{ T/m}^3$), también se utiliza antracita ($\rho = 1,35 \text{ a } 1,75 \text{ T/m}^3$), en donde la granulometría del material filtrante se define a partir de dos parámetros: tamaño de partícula y uniformidad de tamaños.

De manera que se puede observar un proceso complejo, donde se vuelve conveniente realizar estudios a nivel de laboratorio piloto cuando se quiere conocer el comportamiento de un determinado filtro con una cierta suspensión, pues cualquier alteración en esta o en el lecho filtrante, significa un cambio en los parámetros del proceso. En este trabajo se propuso diseñar y construir, a escala laboratorio, un Filtro Rápido de Arena.



De acuerdo con los datos de diseño del Filtro para abordar en el proceso de potabilización de agua en la zona rural de Carmen de Carupa, los lechos filtrantes están formados por bajodrenes en los que se utiliza canicas de cristal con un espesor de 10 cm en lo que corresponde a diámetro superior a inferior de la esfera colocadas de mayor a menor diámetro entre 5, 4, 2.5, 1.5 cm; por debajo de esta se coloca una capa de arena de antracita que va de menor a mayor tamaño de partícula encontradas entre 0.3 y 2.0 mm con un espesor de 17 cm, luego por debajo se coloca una capa de arena de río con un espesor de 3 cm y finalmente se coloca una capa de grava de 10 cm en lo que corresponde 2 cm para grava con un tamaño de partícula de 4 a 4,75 cm y 8 cm de grava con un tamaño de 17 a 19 mm.

El agua filtrada sale por la llave de paso, operada manualmente que puede ser vertida en otro recipiente previamente higienizado o en su caso realizar un tipo de conexión de tubería a donde se considere necesario su destino para uso doméstico.

2.3 Ensayos de laboratorio

Los resultados presentes en este laboratorio se tendrán en cuenta para determinar las condiciones en las cuales se encuentra la fuente hídrica (Rio Mortiño) y así mismo las propiedades presentes en la misma; ya que a partir de estos resultados se establecerá los parámetros para la selección del filtro. Ver figura 13





Figura 13. Muestra de agua del Río Mortiño.

Fuente: Autores

La resolución 0330 del 08 de junio de 2017, “por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, establece en su Sección 3. Tecnologías y procesos unitarios de tratamiento. Artículo 109. Tipos y procedimientos unitarios de potabilización, expresa: Para aguas provenientes de fuentes de abastecimiento superficiales o subterráneas, las opciones de selección de los procesos unitarios que se van a diseñar, construir y operar, deben tener en cuenta los contaminantes en ellas (0330-2017.Pdf, n.d.). Ver Figura 14.



TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO	Aeración	Coagulación + Flocculación + Sedimentación	Filtración Convencional	Ablandamiento	Oxidación Química	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Ósmosis inversa	Electrodialísis inversa	Intercambio iónico	Filtración por adsorción	Filtración optimizada
CONTAMINANTE QUE SE VA A REMOVER	Características físicas												
Color aparente		X	X		X	X	X	X	X			X	X
Olor y sabor	X				X							X	
Turbiedad		X	X			X	X						X

Figura 14. Tecnologías de tratamiento de potabilización.

Fuente: (0330-2017.Pdf, n.d.)

Los ensayos de laboratorio determinados para el Filtro Rápido de Arena se realizaron de acuerdo al funcionamiento operacional como sistema de tratamiento básico de agua, que cumple con los parámetros y especificaciones mínimas para ser utilizada como consumo doméstico; en base a ello se establecieron las pruebas de laboratorio en relación con la Resolución número 2115 de junio de 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial); Capítulo II – Características físicas y químicas del agua para consumo humano. Artículo No. 2 – Características físicas, expresa: El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación (Ambiente & Territorial, 2007):



Tabla 4. Características Físicas.

<i>Características físicas</i>	<i>Expresadas como</i>	<i>Valor máximo aceptable</i>
<i>Color aparente</i>	<i>Unidades de Platino Cobalto (UPC)</i>	<i>15</i>
<i>Olor y sabor</i>	<i>Aceptable o no aceptable</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)</i>	<i>2</i>

Fuente: (Ambiente & Territorial, 2007)

2.3.1 Ensayo de Colorimetría y Turbiedad

También conocido como ensayo organoléptico el cual consiste en la valoración de las características organolépticas del agua de consumo humano en base al olor, sabor, color y turbidez; como análisis exclusivo de la sensación producida en los sentidos como: vista, gusto y olfato. Este ensayo de laboratorio determina la cantidad de flocs que se encuentran presentes en el agua. Dados los parámetros mencionados en la Resolución número 2115 de junio de 2007, se llevan a cabo estos ensayos teniendo en cuenta los valores establecidos en dicha normatividad.

2.3.1.1 Ensayo de Turbiedad

La turbidez del agua se mide a través del turbidímetro, aparato utilizado para detectar la turbidez en líquidos y soluciones acuosas. Ver figura 15.





Figura 15. Turbidímetro del Laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Fuente: Autores.

La validación de la eficacia de las medidas de control establecidos en el Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua que indica que la Turbidez debes ser < 1 UNT (OMS, 2009).

En primera instancia se debe verificar que el Turbidímetro esté debidamente calibrado, para ello se emplea una muestra de agua cuyas propiedades cumplen un valor estándar como referencia para muestras de agua cruda. Luego se debe verificar que el rango establecido para las unidades nefelométricas de turbidez (UNT) se encuentren entre 0 y 106 UNT; las unidades el turbidímetro están dadas en FNU que tiene la misma representación que unidades en UNT. Posteriormente se toma una muestra del agua tomada en la fuente captación en uno de los frascos que dispone el turbidímetro.

✓ Se registro un valor de **4,02 FNU**



2.3.1.2 Ensayo de Colorimetría

El valor de colorimetría se determina a partir del dispositivo Colorímetro, el cual se basa en el principio de que la absorbancia de una sustancia es proporcional a su concentración. Es por eso, que se usa un filtro en el colorímetro para elegir el color de la fuente de luz que más absorberá el soluto, para maximizar la precisión de la lectura. Ver Figura 16.



Figura 16. Colorímetro del Laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Fuente: Autores.

Al igual que para el turbidímetro el Colorímetro también debe ser calibrado a partir de un recipiente que dispone este para tomar una muestra de agua que no presente color, como base de referencia para determinar el valor de colorimetría de la muestra de agua de la fuente de captación. La unidad de PCU corresponde a la misma unidad de UPC, la diferencia radica en el modelo del dispositivo.

- ✓ Se registra un valor de Color de **2 PCU**

2.3.2 Ensayo de pH (Potencial de Hidrógeno)

En la Resolución número 2115 de junio de 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial); Capítulo II –



Características físicas y químicas del agua para consumo humano. El artículo No. 4 – Potencial de Hidrógeno, expresa: El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0 (Ambiente & Territorial, 2007).

El valor de pH se determina a partir de un Multímetro, dispositivo que dispone de varias funciones entre las cuales es determinar el valor de pH del agua. Ver figura 17.



Figura 17. Multímetro del Laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Fuente: Autores.

De igual manera que en los dispositivos mencionados anteriormente el Multímetro debe calibrarse de la misma manera, que cuente con un pH de 7 como referencia para la muestra tomada de la fuente de captación. De acuerdo con el Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua (OMS, 2009), el pH debe estar entre 6,5 y 7.

- ✓ Se registro un valor de **pH 7,3**



2.3.3 Ensayo Test de jarras

El Test de Jarras es un procedimiento que se utiliza en los laboratorios para determinar las condiciones de operación optimas generalmente para el tratamiento de aguas, la prueba de jarras permite ajustar el pH, hacer variaciones en la dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a la muestra, alternar velocidades de mezclado. La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos debe ser seleccionada por la simulación del paso de aclaración de un laboratorio a escala un arreglo simple de vasos precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas iguales. (Keifer & Effenberger, 1967)

La prueba de laboratorio para determinar las propiedades del agua, se llevaron a cabo en el Laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia. Realizando las siguientes pruebas para la muestra:

- ✓ Acidez
- ✓ Alcalinidad
- ✓ Color Real y Aparente
- ✓ Turbiedad
- ✓ Conductividad
- ✓ Solidos disueltos
- ✓ pH

Estas pruebas se realizaron bajo los parámetros establecidos en la Guía de Laboratorio de Calidad de Aguas, (Laboratorio de ciencias básicas e ingenierías) de la Universidad Piloto de Colombia. La cual se basa en la Resolución 2115 de 2007, donde se señalan las



características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Los resultados presentes en este laboratorio se tendrán en cuenta para determinar las condiciones en las cuales se encuentra la fuente hídrica (Rio Mortiño) y así mismo las propiedades presentes en la misma; ya que a partir de estos resultados se establecerá los parámetros para la creación del filtro.

En la Tabla No. 5 se relacionan los valores determinados de acuerdo con la prueba que se le realizó a la muestra de agua:

Tabla 5. Pruebas Ensayo Test de Jarras.

PRUEBA	VALOR	UNIDAD	TEMPERATURA
ACIDEZ	0,75	ml	-
ALCALINIDAD	0,13	ml	-
COLOR	2	CPU	-
TURBIEDAD	4,02	FMU	-
CONDUCTIVIDAD	57,8	-	17, 8 °C
SOLIDOS DISUELTOS	58,59	PPM	17, 6 °C
pH	7,3	-	17, 5 °C

Fuente: Autores

A continuación, se relacionan las cantidades de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en mililitros (ml) que se le adicionaron a cada una de las jarras:

1. JARRA (2 ml)
2. JARRA (4 ml)
3. JARRA (6 ml)



4. JARRA (8 ml)
5. JARRA (16ml)
6. JARRA (32 ml)



Figura 18. Test de Jarras en el Laboratorio de la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Fuente: Autores.

NOTA: La Jarra número 1 se omitió durante la prueba dado de que no se encontraba disponible dentro del laboratorio.

Una vez terminado el proceso de floculación y coagulación, se llevó a cabo la determinación de la Jarra que mejor floculo de manera visual.



Figura 19. Jarra No. 3.

Fuente: Autores.



Seguido del desarrollo del ensayo de jarras, se pudo determinar que la muestra número 3, es la que presenta mejor calidad, ya que las partículas que se formaron fueron las de mayor tamaño y se depositaron con mayor rapidez en el fondo de esta jarra.

A la jarra número 3 se le realizaron las pruebas de Alcalinidad, Acidez, Turbiedad, pH, Conductividad y Solidos disueltos; y sus resultados fueron los siguientes: (Ver Tabla No. 6)

Tabla 6. Resultados de la Jarra No. 3.

PRUEBA	VALOR	UNIDAD	TEMPERATURA
ACIDEZ	5,24	ml	-
ALCALINIDAD	0,19	M	-
TURBIEDAD	5,84	FMU	-
CONDUCTIVIDAD	84,91	μS	17,7 °C
SOLIDOS DISUELTOS	50,60	PPM	18,4 °C
pH	7,29	PPM	17,8 °C

Fuente: Autores

Registro fotográfico de los resultados obtenidos en relación con la Tabla 6. (Ver Tabla 7)



Tabla 7. Registro fotográfico de los resultados de la Jarra No. 3.

Prueba	Fotografía
Acidez	
Alcalinidad	
Turbiedad	



<i>Prueba</i>	<i>Fotografía</i>	
<i>Conductividad</i>		
<i>Solidos disueltos</i>		
<i>pH</i>		

Fuente: Autores

2.3.4 Ensayo de Granulometría

El ensayo de Granulometría se llevó a cabo de acuerdo con el reglamento establecido por el Instituto Nacional de Vías INV E, Sección 100, apartado 123 – 13



Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. En la Tabla 8 se enumeran el número de los tamices utilizados en el laboratorio. (Por ejemplo, si un tamiz es No 3 quiere decir que tiene tres divisiones por cada pulgada), (INVIAS, 2013).

Tabla 8. Juego completo de tamices.

<i>Tamiz (")</i>	<i>Malla mm</i>	<i>Tamiz (#)</i>	<i>Malla mm, μm</i>
3"	75 mm	No. 4	4,75 mm
2"	50 mm	No. 10	2 mm
1 1/2"	37,5 mm	No. 20	850 μ m
1"	25 mm	No. 40	425 μ m
3/4"	19 mm	No. 60	250 μ m
3/8"	9,5 mm	No. 140	106 μ m
-	-	No. 200	75 μ m

Fuente: (INVIAS, 2013)

Nota: El empleo de otros tamices se realiza para la determinación de tamaño de partícula entre el rango de una apertura de malla específico y el que le precede o posterior.

El procedimiento de Granulometría se lleva a cabo con la Grava, Arena y la Antracita. Dado que son los materiales de lecho filtrante debe realizarse para estos el ensayo descrito en la norma INV E 106 – 13 Preparación de muestras de suelo por vía seca para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas (INVIAS, 2013).

Paso a paso del ensayo de granulometría:

- 1) Una vez preparadas las muestras de suelo en lo que respecta a la Grava, Arena y la Antracita, debe considerarse que la masa del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo debe ser suficiente para las cantidades requeridas para el análisis



mecánico. Luego se debe pasar al proceso de lavado y secado de las muestras por cada lecho filtrante. Ver figura 20.



Figura 20. Lavado del material.

Fuente: (Informe Filtro Piloto, n.d.).

- 2) Posteriormente se debe verter el material seco en la columna de tamices para determinar el porcentaje de cada tamaño de las partículas contenidas por cada una de las muestras.
- 3) Agitar el bloque de tamices para determinar las partículas que sean de menor tamaño y obtener un balance optimo en los resultados. Ver figura 21.





Figura 21. Muestras del material.

Fuente: (Informe Filtro Piloto, n.d.).

- 4) Una vez se tengan por separado los tamaños de partículas, de acuerdo con las cantidades retenidas por tamiz, se deben pesar y registrar.



Figura 22. Peso del material lavado.

Fuente: (Informe Filtro Piloto, n.d.).

2.3.4.1 Resultados del ensayo de granulometría

La importancia de este laboratorio radica en definir la cantidad de muestra que se dispone para cada tamiz y establecer una curva granulométrica para la estimación de los valores en cuanto a los espesores de las capas en los lechos filtrantes. Este factor determina la distribución granulométrica para hacer el diseño, ya que, dependiendo del tamaño de las



alturas de las capas, estas partículas se encargan fundamentalmente de retener las agentes que contaminan el agua y los cuales hacen el agua no apta para consumo humano.

Los resultados determinados del material de lecho filtrante para el buen funcionamiento del Filtro Rápido de Arena son los siguientes: Ver Tabla No. 9, 10 y 11.

Tabla 9. Registro granulometría Grava.

Tamiz	Peso retenido parcial (gr)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	1500	1500	33,33	33,33	100
4	3000	4500	66,66	100	0

Fuente: Autores & (Informe Filtro Piloto, n.d.).

Tabla 10. Registro granulometría Arena.

Tamiz	Peso retenido parcial (gr)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
10	500	500	50	33,33	100
16	500	1000	50	100	0

Fuente: Autores & (Informe Filtro Piloto, n.d.).

Tabla 11. Registro granulometría Antracita.

Tamiz	Peso retenido parcial (gr)	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje retenido parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
20	800	800	12,5	12,5	87,5
30	2600	3400	40,62	53,12	46,82
40	2200	5600	34,37	87,49	12,51
50	800	6400	12,5	100	0

Fuente: Autores & (Informe Filtro Piloto, n.d.).



La representación gráfica de los resultados obtenidos, respecto al análisis de la estructura que debe cumplir el suelo por el tamaño de partículas se realiza la curva granulométrica para cada material del lecho filtrante se realizaron las curvas granulométricas de la Grava, Arena y Antracita relacionadas a continuación: Ver Gráfica 1, 2 y 3.

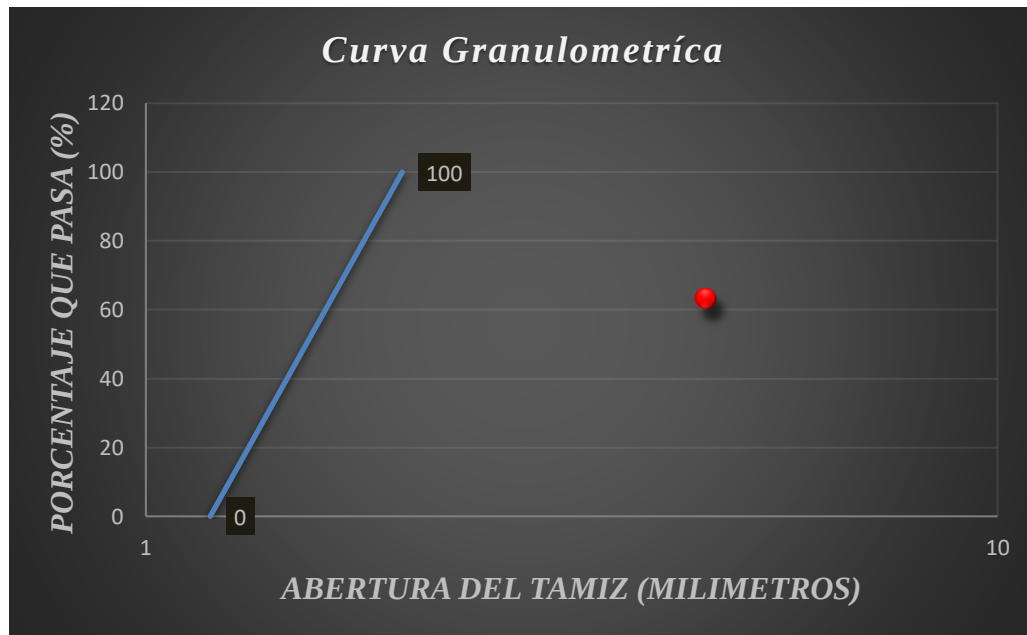
Gráfica 1. Curva Granulométrica Grava.



Fuente: Autores.

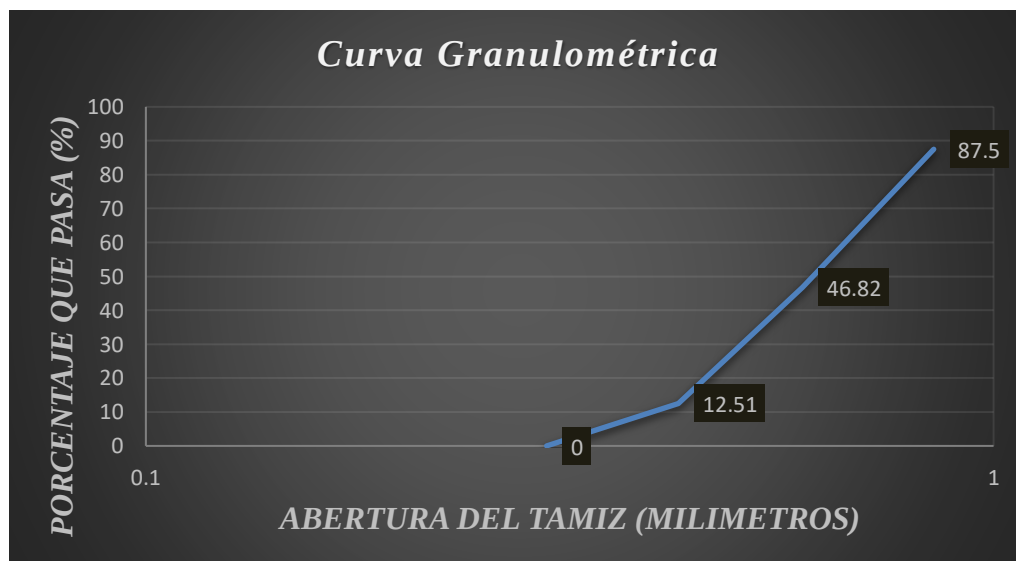


Gráfica 2. Curva Granulométrica Arena.



Fuente: Autores.

Gráfica 3. Curva Granulométrica Antracita.



Fuente: Autores.



2.3.5 Registro Fotográfico de los Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio fueron realizado el día 17 de noviembre del año 2020 en las instalaciones de la Universidad Piloto de Colombia, dentro del laboratorio de Aguas en coordinación de la Ingeniera Alejandra Caicedo. Ver Tabla 12

Tabla 12. Ensayos de laboratorio.



Fuente: Autores.



2.4 Revisión del proceso de filtración

Considerando que la conexión hidráulica que abastece un hogar en la zona rural no cuenta con un tratamiento de potabilización en ningún tramo de su recorrido se destaca la utilización del Filtro Rápido de Arena para potabilizar el agua antes de ser consumida por el ser humano. Conectado este con una tubería en la parte superior del Sistema del filtro y en su otro extremo en la salida de agua cruda o vertiéndola a través de un embudo por la cantidad deseada. Garantizando que la salida del agua en el filtro cumpla con los parámetros establecidos de potabilización para su consumo.

2.4.1 Proceso de selección de filtro

En el proceso de selección de los filtros se tomó en cuenta cada una de las características que ofrece un filtro y de esta manera analizar cuál sería el más viable, adaptable, económico y de fácil acceso en la zona rural del municipio de Carmen de Carupa. Teniendo en cuenta estos puntos, se realizó la visita de algunos hogares de la vereda La Playa, para poder tener un tamaño establecido de cocina, lugar donde se dispone espacio para ubicar el filtro y de esta manera poder establecer un prototipo que tenga el tamaño indicado para la ubicación en esta zona de la casa, la dimensión de altura del recipiente debe ser proporcional al tiempo de duración de salida del agua potabilizada, para garantizar que la función del filtro cumpla con los estándares establecidos de potabilización, el correcto y eficiente desarrollo del filtro con la cantidad de materiales apropiados, se especifica cada uno de los espesores de las capas y así certificar su uso. Este cumple con una graduación adecuada, que permite un lavado eficiente cuando se requiera realizar limpieza del filtro, con la necesidad de que alrededor



de sus granos se forme rápidamente una capa de materia coloide que va a retener la arcilla que existe en el agua al estado coloidal.

Al contar con una abertura lo suficientemente amplia para los intersticios entre los granos de arena, los cuales son de gran capacidad de almacenamiento, el lecho filtrante tiene un material lo bastante fino para cumplir con la retención.

Se seleccionó un Filtro Rápido dado que los materiales que lo constituyen son de gran facilidad de acceso en el municipio, de modo que una parte de las materias en suspensión se separan por decantación recipientes coaguladores y la otra en los filtros rápidos a dónde va el agua con el resto de materia coagulante. También por su simplicidad, bajo costo de operación y mantenimiento lo convierte en un sistema ideal para las cocinas de esta zona rural.

El proceso de selección del filtro se realizó a partir de un abastecimiento para una vivienda familiar de 5 personas, así que se estimó un consumo de $0,5 \text{ m}^3/\text{día}$ para un área de $0,003 \text{ m}^2$.

2.4.2 Selección de los puntos de muestreo del material filtrante, en el filtro seleccionado

El municipio de Carmen de Carupa tiene gran abundancia de material de arena de río, antracita y grava que cuenta con gran calidad de manera natural, razón por la cual este municipio cuenta con tres gravilleras en la actualidad las cuales son: Rocas y Agregados de Carupa, Agreca LTDA y Epyca S.A.S. Estas empresas mineras cuentan con los materiales selectos en el diseño del Filtro, sin embargo, dada la explotación minera que surge en el municipio se presentan impactos ambientales que afectan las capas terrestres



sobre las que yace el municipio. En la vereda Alto de Mesa que se encuentra paralela a la quebrada Suchinica la cual desemboca al río Ubaté, cuenta con la explotación de dichos materiales. Ver figura 23.



Figura 23. Vereda Alto de Mesa.

Fuente: (Google Maps, n.d.).

Este aporte de material sobre la quebrada obstruye el flujo de agua, generando un represamiento del afluente hídrico en un tramo aproximado de 200 metros, constituyendo una posible amenaza a la población y para el normal desarrollo de los organismos presentes en el ecosistema.

2.4.3 Toma de muestra de filtro seleccionado

Realmente, el espesor y granulometría depende de la velocidad de filtración, del tamaño y naturaleza de las partículas que van a ser retenidas y de la pérdida de carga disponible. Para lo cual se dispuso de 3 a 5 kg de material filtrante, tanto de arena como de antracita.



2.4.4 Determinación de los distintos espesores de cada lecho filtrante, en el Filtro

Rápido de Arena

El espesor de la capa de arena suele oscilar entre 0,7 y 1 m. y la talla efectiva entre 0.8 y 1mm con un coeficiente de uniformidad entre 1,5 y 1,7. En el caso de lechos bicapa, el espesor de arena es 1/3 del total y sobre ella una capa de antracita de 2/3 del espesor total y talla efectiva entre 1,2 y 2,5mm. Realmente, el espesor y granulometría depende de la velocidad de filtración, del tamaño y naturaleza de las partículas que van a ser retenidas y de la pérdida de carga disponible. Los materiales filtrantes que presentan cierta friabilidad no deberían emplearse ya que los lechos filtrantes y en concreto la arena, se ven sometida a fricción durante la fase de lavado produciéndose unos finos que originan diversos inconvenientes. Ver Tabla 13.

Tabla 13. Tipo de Material, cantidad y espesor del lecho filtrante

<i>Material</i>		<i>Cantidad en gr</i>	<i>Espesor del lecho filtrante en cm</i>
Grava	Grava 3/8	1500	8
	Grava No 4	3000	2
Arena	Arena No 10	500	1,5
	Arena No 16	500	1,5
Antracita	Antracita No 20	800	2
	Antracita No 30	2600	7
	Antracita No 40	2200	6
	Antracita No 50	800	2

Fuente: Autores



2.4.5 Determinación de los porcentajes de bolas de lodos en los lechos filtrantes

La muestra de lodo se analizó en el laboratorio de acuerdo con el siguiente procedimiento: Esta muestra fue colocada en el tamiz No. 10, posteriormente sumergido en agua donde se agito manualmente a fin de desprender el material coloide, pasando el tamiz material de arena y antracita. Las bolas de lodo formadas fueron colocadas en una probeta de 1000 ml y así misma aforada con agua destilada a 500 ml. Arrojando como resultado el aumento de agua desplazado por las bolas de lodo o material coloide puestas en la probeta fue el volumen ocupado por las mismas. El aumento de volumen se divide entre el volumen original de 500 ml de agua para efectuar el cálculo de las bolas de lodo.

En todo proceso de tratamiento de agua potable existen generalmente dos puntos donde se procede a la evacuación de lodos: purgas de decantadores y lavado del filtro. En el proceso de tratamiento convencional completo, la evacuación de lodos se lleva a cabo esencialmente en los decantadores, ya que las aguas procedentes del lavado de este suelen ser recuperadas y enviadas a cabecera de tratamiento y, por tanto, se incorporan al tratamiento seguido en los decantadores. Uno de los principales inconvenientes de la filtración directa es el aumento del coste derivado del agua de lavado, ya que, al no emplearse decantadores, no podría recuperarse el lavado de filtros, enviándola a cabecera y decantadores, pues como ya se ha indicado, la única vía de evacuación de lodos es a través de la propia agua de lavado de filtros.

2.4.6 Determinación de la granulometría de los medios filtrantes (antracita, arena y grava)

Se determino la granulometría por independiente de los medios filtrantes como lo son la antracita, la arena y la grava. Este proceso se llevó a cabo por muestras representativas obtenidas mediante el método de cuarteo, que luego fueron lavadas



manualmente dentro de los tamices respectivos a su tamaño y posteriormente se procedió a secar las muestras por un tiempo estimado de veinticuatro horas (24 hrs), en un horno de laboratorio a una temperatura controlada de 103° C. Una vez secas las muestras representativas se volvió a realizar el procedimiento de cuarteo a fin de obtener una muestra de 200 g de cada medio filtrante.

2.4.6.1 Determinación de la granulometría de la antracita

La granulometría de la antracita se realizó entre tamaños de tamiz No. 50 y tamiz No. 20 con relación a la norma INVIAS Sección 100 suelos ((INVIAS, 2013). La muestra de antracita obtenida por cuarteo se hizo pasar a través de las mallas 20 (0,841 mm), 30 (0,589 mm), 40 (0,420 mm), 50 (0,297 mm) mediante agitación manual.

Luego de realizar el proceso de tamizado manual, se dispuso a hacer retiro de material retenido en cada tamiz, tomando el peso de cada uno de estos para luego determinar el porcentaje de cada material retenido en los diferentes tamices, haciendo registro de estos valores en una tabla. Estos valores son utilizados para realizar la curva granulométrica y especificar las características de la antracita a utilizar como lecho filtrante en el Filtro Rápido de Arena.

2.4.6.2 Determinación de la granulometría de la arena

La granulometría de la arena se realizó entre tamaños de tamiz No. 10 y tamiz No. 16 con relación a la norma INVIAS Sección 100 suelos ((INVIAS, 2013). La muestra de arena obtenida por cuarteo se hizo pasar a través de las mallas 16 (1,18 mm), 14 (1,40 mm), 12 (1,70 mm), 50 (2,00 mm) mediante agitación manual.



Luego de realizar el proceso de tamizado manual, se dispuso a hacer retiro de material retenido en cada tamiz, tomando el peso de cada uno de estos para luego determinar el porcentaje de cada material retenido en los diferentes tamices, haciendo registro de estos valores en una tabla. Estos valores son utilizados para realizar la curva granulométrica y especificar las características de la arena a utilizar como lecho filtrante en el Filtro Rápido de Arena.

2.4.6.3 Determinación de la granulometría de la grava

La granulometría de la grava se realizó entre tamaños de tamiz No. 4 y tamiz 3/8" con relación a la norma INVIAS Sección 100 suelos ((INVIAS, 2013). La muestra de arena obtenida por cuarteo se hizo pasar a través de las mallas 4 (4,75 mm) y 3/8" (9,5 mm) mediante agitación manual.

Luego de realizar el proceso de tamizado manual, se dispuso a hacer retiro de material retenido en cada tamiz, tomando el peso de cada uno de estos para luego determinar el porcentaje de cada material retenido en los diferentes tamices, haciendo registro de estos valores en una tabla. Estos valores son utilizados para realizar la curva granulométrica y especificar las características de la grava a utilizar como lecho filtrante en el Filtro Rápido de Arena.

2.4.6.4 Corrección de la granulometría de los medios filtrantes

Cuando se trata de seleccionar el material para lechos múltiples, se debe hacer con el criterio de obtener un grado de entremezcla que no disminuya sustancialmente la porosidad en la región común entre las capas adyacentes de materiales diferentes.



Específicamente para este caso de lechos dobles de arena y antracita, se recomienda considerar que el tamaño de los granos de antracita correspondiente a 90% en peso (referente al que pasa) y el tamaño de los granos de arena correspondiente a 10% en peso (referente al que pasa = tamaño efectivo) deben mantener una relación de 3,0. El tamaño de los granos de antracita correspondiente a 90% en peso (referente al que pasa) y el tamaño de los granos de antracita correspondiente a 10% en peso (referente al que pasa) deben mantener una relación de 2. Normalmente, la antracita se prepara entre las mallas de la serie Tyler de aberturas 0,59 y 1,68 o 2,00 mm, con un tamaño efectivo que varía entre 0,80 y 1,10 mm, y un coeficiente de uniformidad inferior a 1,5. La arena normalmente es preparada entre las mallas de aberturas entre 0,42 y 1,19 o 1,41 mm, con un Filtración 119 tamaño efectivo que varía entre 0,50 y 0,60 mm y un coeficiente de uniformidad inferior a 1,5.

4.2.3 El peso específico del material filtrante El peso específico (P_e) del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupan los grano (INVIAS, 2013).

2.5 Presupuesto de Materiales

Los materiales determinados para el Filtro Rápido de Arena tienen un valor económico accesible y rentable, en relación con su eficacia para potabilizar el agua y brindar un servicio sanitario básico garante en su funcionamiento para el buen consumo del recurso hídrico.

El valor económico de cada uno de los materiales y sus cantidades se relacionan en la siguiente tabla. Ver Tabla 14.

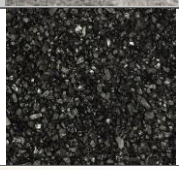


Tabla 14. Presupuesto de Materiales para construcción del Filtro Rápido de

Arena

Material	Imagen	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Recipiente con dispensador 50 cm (1/2") Capacidad 20 l		UND	\$21.900	1	\$21.900
Manguera 1/2"		m	\$739	3	\$2.217
Embudo grande 20x18cm (Opcional)		UND	\$6.900	1	\$6.900
Adaptador de Manguera 1/2 PVC		UND	\$1.844	1	\$1.844
Esponja de cocina		UND	\$1.100	1	\$1.100



Colador		UND	\$9000	1	\$9000
Teflón		UND	\$900	1	\$900
Grava		Kg	\$6.500	4,5	\$29.250
Arena		Kg	\$5.800	1	\$5.800
Antracita		Kg	\$1.433	6,2	\$8.885
Canicas de cristal		Paquete	\$1.874	3	\$5.622
TOTAL DEL COSTO DEL FILTRO RAPIDO DE ARENA					\$93.418
Balance					\$93.500

Fuente: Autores

Nota: Los valores relacionados en la tabla del costo de los materiales se describe en base a la zona comercial del municipio Carmen de Carupa. Si en algún caso los materiales descritos en este documento pueden ser adquiridos por un menor precio se dispondrá de estos dado que mejora la accesibilidad para su llevar a cabo su construcción económicamente. El Embudo es opcional dado que puede emplearse un embudo casero hecho a partir de la 3ra parte de una botella de plástico de bebidas azucaradas (gaseosa) de 1.5 l, o más, cortando su parte superior para utilizarse como embudo.



2.6 Diseño, construcción y operación del Filtro Rápido de Arena

2.6.1 Diseño y construcción del Filtro Rápido de Arena

El diseño del Filtro Rápido de Arena se llevó a cabo de acuerdo con los datos de diseño original del Filtro Piloto, dimensionando este de acuerdo con el gasto de producción de este, ocupando el área total del recipiente los lechos filtrantes.

Se tiene en cuenta la dimensión del recipiente del Filtro Piloto para el diseño en el que se emplea el Filtro Rápido de Arena. A continuación, se visualiza los espesores de manejo que se emplean en el Filtro Piloto (Ver figura 24), como base para el desarrollo del Filtro rápido de Arena.

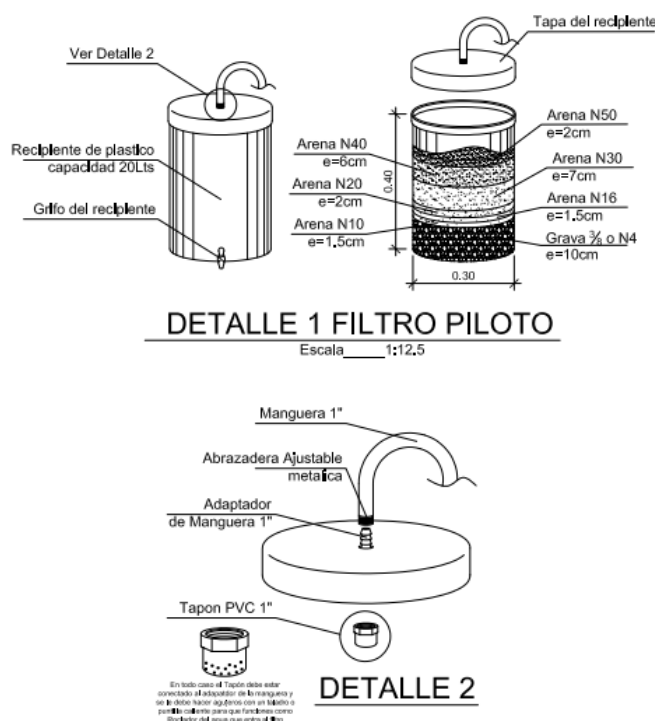


Figura 24. Plano en detalle del filtro piloto. Fuente: (Informe Filtro Piloto, n.d.)

El diseño del Filtro Rápido de Arena se visualiza a continuación teniendo en cuenta el dimensionamiento descrito en la Figura 24 (Ver Figura 25).



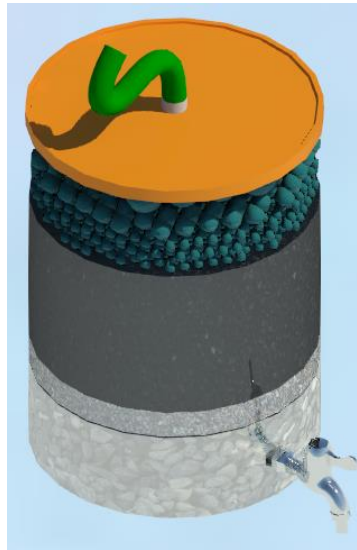


Figura 25. Detalle del Filtro Rápido de Arena.

Fuente: Autores

La columna de filtración del Filtro Rápido de Arena es un recipiente transparente tipo balde con capacidad de 20 l, el cual permite observar lo que ocurre dentro de la columna al momento de realizar el proceso de filtración. Las capas los lechos filtrantes se colocan de acuerdo con lo establecido en la Tabla No. 3 (Tipo de material, cantidad y espesor del lecho filtrante) y adicionalmente en su parte superior se añade una capa de bajodrenes hecha por canicas de cristal de diferentes diámetros.

Una vez colocados los lechos filtrantes correspondientes se da paso al acople de accesorios como lo son el adaptador en la tapa del recipiente donde se conecta con una tubería y/o manguera de media pulgada (1/2”), conducto por el cual ingresa el agua cruda para ser filtrada. Posteriormente se debe ubicar el Filtro Rápido de Arena en un lugar estratégico debidamente determinado para su ubicación, dado que este debe permanecer fijo en el lugar que se destina mientras se encuentre en funcionamiento.



2.6.2 Lavado del Filtro Rápido de Arena

De acuerdo con el diseño del filtro se efectuó un proceso de lavado que consta principalmente en retirar las capas de los lechos filtrantes por separado de acuerdo con los espesores establecidos en recipientes que contengan la totalidad del material de cada capa. Dado que los usuarios en la zona rural de Carmen de Carupa no cuentan con un bloque de tamices que pueda facilitar el proceso de lavado, se considera que las capas deben ser lavadas por medio de un “colador” (Ver figura 26), elemento de cocina con el que habitualmente se cuenta en cada hogar.



Figura 26. Colador.

Fuente: (COLADOR # 17 NP - Novedades Plásticas, n.d.)

Una vez se tengan las capas retiradas del filtro en recipientes independientes, se emplea el uso del colador para el lecho filtrante, realizando un lavado manual con agua filtrada para garantizar el retiro de material coloide en las partículas del lecho filtrante. Este proceso debe repetirse nueve (9) veces por cada una de las capas existentes en el Filtro Rápido de Arena. Posteriormente del lavado se deben dejar secar por un periodo de tiempo estimado de 24 horas en un lugar cerrado que no permita el acceso de otros materiales que puedan afectar la cantidad de lecho filtrante por capa y luego se deben colocar debidamente posicionadas como se indican en el proceso de diseño y construcción del filtro.



La limpieza del recipiente se emplea con una esponja de cocina para remover todo el material y garantizar que este se encuentre libre de partículas cuando se lleve a cabo el proceso de colocar las capas del lecho filtrante nuevamente.

El filtro solo puede producir agua con determinada calidad durante un periodo de tiempo fijo, a partir del cual empiezan a quedar impurezas en el agua filtrada. Eso se debe a que las partículas removidas en la parte superior del lecho filtrante forman un manto con las impurezas retenidas por la filtración que obstruye el paso del flujo e impide el uso de la parte profunda del filtro. Por eso, el medio poroso debe regenerarse periódicamente dándole un retrolavado a presión para desalojar esas impurezas y así restaurar la eficiencia del proceso (Ponce, 2014).

2.6.3 Homogenización de las muestras y carga en la columna de filtración

Antes de colocar las muestras de grava, arena y antracita en la columna de filtración, éstas fueron sometidas a un proceso de homogenización, cada una por separado; colocando primero la capa de arena sobre el lecho de grava, y sobre la arena la capa de antracita, con los espesores recomendados en el diseño del Filtro Rápido de Arena (10 cm de grava, 3 cm de arena y 17 cm de antracita).

2.6.4 Expansión de los lechos filtrantes

La altura de expansión de los lechos filtrantes resultante de la fluidización del medio corresponde a una relación respecto al lecho fijo del 20% al 50%, teniendo en cuenta la altura total del lecho filtrante de 30 cm, que corresponden a antracita (17 cm), arena fina (3 cm) y arena gruesa (10 cm). Por lo tanto, para un porcentaje de expansión



del 50 %, correspondiente a 15 cm. Por lo tanto, la altura a la cual será ubicada la canal de lavado es de 45 cm, desde el primer lecho filtrante.

2.6.5 Descarga del Filtro Rápido de Arena

Cuando se tenía necesidad de cambiar los materiales filtrantes para realizar otras pruebas, se utilizó una manguera de plástico de $\frac{3}{4}$ " que se introducía por la parte superior de la columna de filtración y se provocaba un sifón que permitió extraer el agua, la antracita y la arena, dejando la columna lista para otras pruebas.

Capítulo 3

Análisis de resultados

3.1 Colecta de información de la fuente de agua seleccionada

La fuente de captación se encuentra ubicada en la vereda Mortiño. (Ver figura 27)

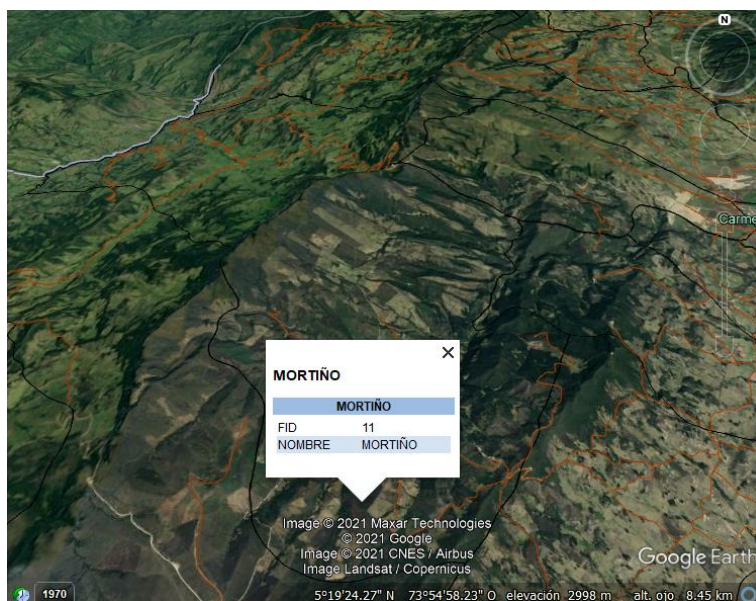


Figura 27. Vereda Mortiño. Fuente: Google earth (5°19'2.27"N 73°54'58.23"O)

Dentro de la cuenca alta, afluente al Río Carupa, hay una quebrada llamada 'El Mortiño' está quebrada posee características básicas para poder considerarse como fuente



de abastecimiento para el sistema de acueducto del municipio. Se ha estudiado la opción de construir una bocatoma sobre esta quebrada y que esta sea la fuente de abastecimiento del municipio (Cha, 2013).

Pertenecen a la hoya hidrográfica de la laguna de Fúquene y su cabecera se encuentra en el páramo de Guargua en la Vereda El Mortiño a 3.300 metros de elevación; limita al norte con la subcuenca del río San José, al noreste y este con la subcuenca del río El Salto, al oeste con la cuenca del río Suta y al sur con la subcuenca del río El Hato y parte de la cuenca del río Suta. El río La Playa drena inicialmente en sentido este oeste, desde su nacimiento en el sur del municipio; para luego cambiar en dirección sureste, entregando sus aguas al río Ubaté, aguas arriba de donde recibe las corrientes del río El Hato (Sofía et al., 2018).

3.2 Revisión del proceso de filtración

Una vez construido el Filtro Rápido de Arena se puso en funcionamiento y se observó el flujo de agua, su recorrido homogéneo y velocidad de operación. Se obtuvo que el proceso de filtración tuvo un desempeño acorde a las características del agua filtrada con relación al valor de pH, colorimetría y turbiedad; ya que una vez se obtuvo una cantidad significativa de agua filtrada por el Filtro Rápido de Arena se realizaron, estos tres ensayos de laboratorio y efectivamente cumplieron con los valores establecidos para ofrecer una calidad de agua apta para su consumo doméstico.

3.2.1 Espesores de los lechos filtrantes

El medio filtrante es de especial cuidado, por lo cual debe mantenerse apto para la operación del sistema, por medio de lavados continuos y cambios del lecho filtrante



cuando sea necesario. El operador debe tener especial cuidado con la operación de lavado de filtros a fin de obtener una limpieza efectiva del medio filtrante y evitar los problemas de: formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante (RAS, 2000).

Una vez el agua entra en contacto con el material de lecho filtrante ocurre una expansión en el espesor de la capa, a medida que se pone en funcionamiento el filtro las partículas de los lechos filtrantes se encontraran suspendidas en lo más mínimo de manera tal que el uso constante del filtro causara una variabilidad mínima en los espesores. Cuando se observe que ha ocurrido una variedad en el espesor mayor a los 5 mm se debe realizar un lavado de material y/o cambio de este.

3.2.2 Granulometría

La determinación de la granulometría de la antracita, arena y grava se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Suelos de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia.

Para realizar un debido proceso de comparación y clasificación de los materiales filtrantes, en la Tabla 15 se relacionan los valores de Coeficiente de Uniformidad (5) y el Tamaño Efectivo (Te) recomendado para medios filtrantes.

Tabla 15. Características del medio filtrante.

<i>Medio Filtrante</i>	<i>Coeficiente de Uniformidad (Cu)</i>	<i>Tamaño Efectivo (Te) mm</i>
<i>Arena</i>	< 1,5	0,65
<i>Antracita</i>	< 1,5	0,8 – 1,10

Fuente: (Bourgeois, 1915).



3.2.2.1 Antracita

Volumen de antracita, localizado en el filtro:

- ✓ Espesor de lecho de antracita: 0,17 m
- ✓ Área de filtración: 0,071 m²
- ✓ Volumen de antracita: (0,17 m * 0,071 m²) = 0,0121 m³

Peso de la antracita en el filtro:

- ✓ Densidad * Volumen: (1.550 kg/m³ * 0,0121 m³) = 18,76 kg

En la Tabla 16 se indican los valores de antracita correspondientes a los tamices

No. 50, 40, 30 y 20; con estos valores se realiza la curva granulométrica

específica para este material en el diseño del Filtro Rápido de Arena.

Tabla 16. Antracita.

<i>Tamiz No.</i>	<i>% Retenido</i>	<i>Antracita (gr)</i>
20	12,5	800
30	40,62	2600
40	34,37	2200
50	12,5	800

Fuente: Autores

3.2.2.2 Arena

Volumen de arena, localizado en el filtro:

- ✓ Espesor de lecho de arena: 0,03 m
- ✓ Área de filtración: 0,071 m²
- ✓ Volumen de arena: (0,03 m * 0,071 m²) = 0,00213 m³

Peso de la arena en el filtro:

- ✓ Densidad * Volumen: (2.600 kg/m³ * 0,00213 m³) = 5,54 kg



En la Tabla 17 se indican los valores de arena correspondientes a los tamices No. 10 y 16; con estos valores se realiza la curva granulométrica específica para este material en el diseño del Filtro Rápido de Arena.

Tabla 17. Arena.

<i>Tamiz No.</i>	<i>% Retenido</i>	<i>Arena (gr)</i>
10	50,0	500
16	50,0	500

Fuente: Autores

3.2.2.3 Grava

Volumen de grava, localizado en el filtro:

- ✓ Espesor de lecho de grava: 0,10 m
- ✓ Área de filtración: 0,071 m²
- ✓ Volumen de grava: (0,10 m * 0,071 m²) = 0,0071 m³

Peso de la grava en el filtro:

- ✓ Densidad * Volumen: (1500kg/m³ * 0,0071 m³) = 10,65 kg

En la Tabla 18 se indican los valores de grava correspondientes a los tamices No. 10 y 16; con estos valores se realiza la curva granulométrica específica para este material en el diseño del Filtro Rápido de Arena.

Tabla 18. Grava.

<i>Tamiz No.</i>	<i>% Retenido</i>	<i>Grava (gr)</i>
3/8	33,33	1500
4	66,66	3000

Fuente: Autores



3.3 Ventajas y desventajas del Filtro Rápido de Arena

3.3.1 Ventajas

- a) El costo de construcción del Filtro Rápido de Arena puede disminuir hasta en 50% con respecto al de una planta convencional.
- b) Menor costo de operación y mantenimiento.
- c) Menor volumen de lodo producido filtro.
- e) Facilidad en el tratamiento de agua cruda con baja turbiedad.
- f) El Filtro Rápido de Arena no requiere de grandes mantenimientos, si se le controla continuamente.

3.3.2 Desventajas

- a) Dificultad en el tratamiento de agua con alto contenido de color o turbiedad.
- b) Necesidad de monitoreo continuo o control riguroso de los principales parámetros de calidad del agua cruda y tratada.
- c) El tiempo de retención total para el tratamiento es relativamente corto, lo que implica que debe reaccionarse rápidamente ante las modificaciones de calidad del agua cruda.
- d) Posibilidad de paralización temporal del filtro, debido a errores en la dosificación del lecho filtrante.

3.4 Diseño Filtro Rápido de Arena en Software Revit

El diseño del Filtro Rápido de Arena se llevó a cabo en el Software Revit. Ver

Figura 28, 29 y 30



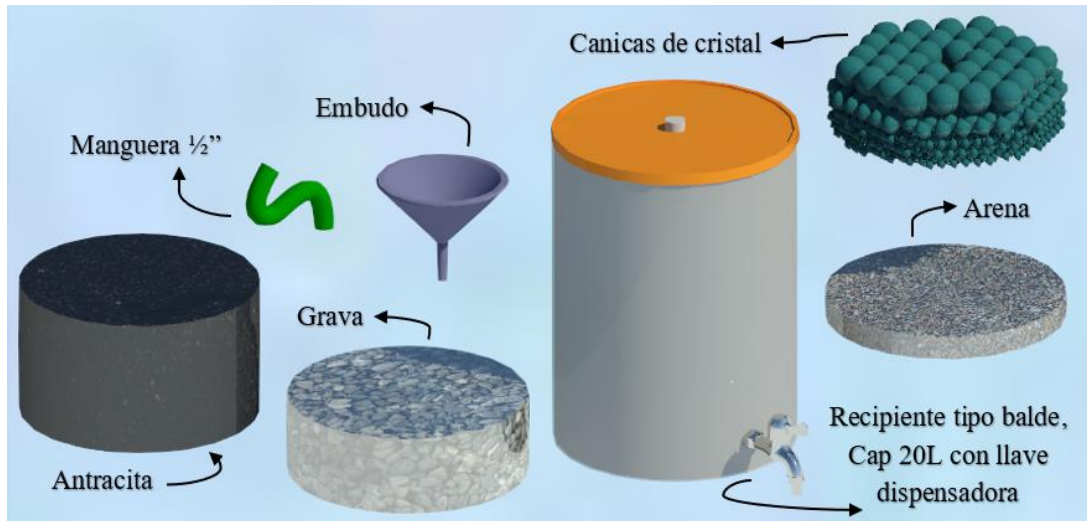


Figura 28. Despiece por materiales del Filtro Rápido de Arena. Fuente: Autores

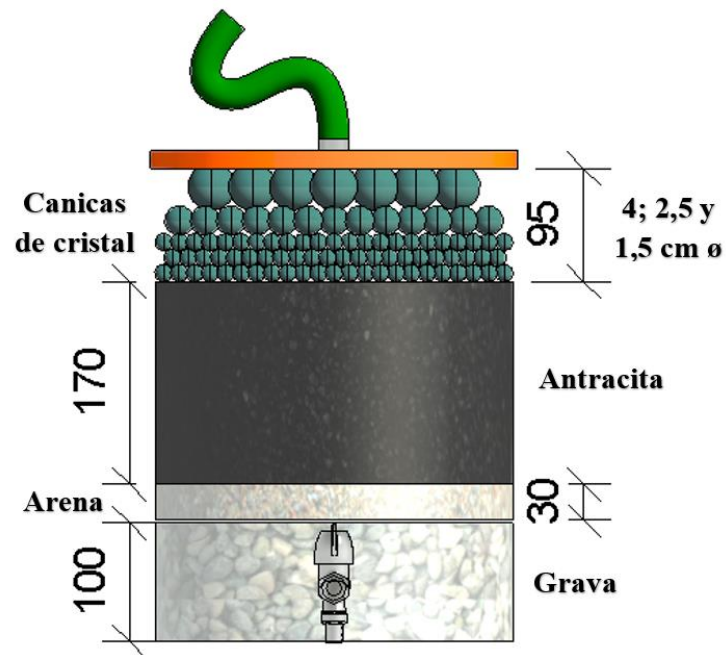


Figura 29. Espesores de los lechos filtrantes en mm. Fuente: Autores





Figura 30. Ilustración de ubicación del Filtro Rápido de Arena en cocina. Fuente: Autores

Capítulo 4

Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- ✓ El diseño, la construcción y operación del Filtro Rápido de Arena propuesto en este trabajo sirve para presentar una eficacia en el proceso de potabilización del agua, por lo que debe ser un motivo de estudio e investigación con el objeto de mejorar su diseño, manejo y operación de mantenimiento. Este diseño presupone beneficios económicos que a su vez favorecerían las condiciones de la población rural del municipio de Carmen de Carupa con la necesidad de satisfacer sus requerimientos de agua potable.
- ✓ El problema de salud pública que causa enfermedades patógenas en la zona rural se debe al consumo de agua de mala calidad, actualmente existen tecnologías más



avanzadas y convencionales de purificación del agua como lo son: la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y osmosis inversa, estas tecnologías tiene un valor económico elevado y requieren personal capacitado para llevar a cabo con la operación y el mantenimiento. En el recorrido por la bibliografía se pudo evidenciar y comprobar que la eficiencia de purificar agua por filtros es alta e incluso puede retener virus, bacterias y solidos suspendidos al 99%, no generando un subproducto.

✓ El diseño utiliza materiales de la zona, su mantenimiento es práctico y fácil, los costos de implementación o compra de filtros son accesibles para familias de escasos recursos económicos.

✓ Basados en el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 6 según la Agenda 2030 (*La Agenda 2030 y Los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una Oportunidad Para América Latina y El Caribe Gracias Por Su Interés En Esta Publicación de La CEPAL*, n.d.), brindamos un aporte en las metas planteadas en este objetivo, las cuales son:

- 6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua
- 6.5 De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza según proceda.
- 6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.



- ✓ Según se realizó la prueba de la muestra de agua en las instalaciones del Laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia, el agua proveniente de la vereda La Playa en el municipio de Carmen de Carupa (Cundinamarca), no posee las condiciones para que pueda ser apta para su consumo, puesto que su consumo directo en consecuencia puede ocasionar alguna enfermedad gastrointestinal en el usuario.
- ✓ Se presupone que la abundancia de algas, sedimentos y materiales arcillosos, en su mayoría, provienen del agua suministrada por el Punto de Distribución de Agua procedente del Río Mortiño, debido a que en épocas de lluvia se arrastran sedimentos que a veces hasta presenta mal olor, según dijeron los habitantes de la vereda La Playa.
- ✓ Se integraron varios componentes brindados por diferentes alternativas que se manejan actualmente en filtros de agua caseros y recomendados para este fin que posibilitan el uso de la comunidad. Se tuvo en cuenta el acceso a los mismos en el mercado y que permitiera la reutilización de los tanques de reserva utilizados actualmente por la población. Como característica principal el uso de Grava, Arena y Antracita para la remoción de bacterias, turbiedad y dureza del agua tratada.
- ✓ Se implementó una opción de filtro seleccionada con recursos propios del municipio de Carmen de Carupa, escogiendo para la instalación de este una de las familias que habita en la zona rural de la vereda La Playa de la población, teniendo en cuenta que la ubicación de la fuente de agua utilizada por esta familia no permite acceso adecuado para la presentación, armado de infraestructura y pruebas posteriores en la obtención del agua tratada para uso doméstico.



- ✓ En el diseño del filtro se debe tener en cuenta varios aspectos, como el caudal de abastecimiento, espacio disponible, la calidad del agua, el tipo de lavado que se va a realizar, entre otros. El mayor problema que se ha visto es cuando el agua cruda proviene de reservas o pantanos, ya que el agua se encuentra estancada y eso ayuda al crecimiento de algas y distintos organismos; los cuales favorecen el aumento del olor, sabor y color.
- ✓ Realizar un presupuesto de los recursos que requiere el municipio para un mejor manejo del riesgo en caso de que surja algún evento como los identificados en este trabajo. Adjudicando el porcentaje necesario del presupuesto municipal para adelantar planes y programas que conduzcan a la disminución de la vulnerabilidad en Carmen de Carupa.
- ✓ La infraestructura para la atención en salud en el área rural, como el personal profesional y técnico disponible, es insuficiente para la demanda creciente que existe en el municipio.

4.2 Recomendaciones

- ✓ Es importante reconocer el cuidado y protección del medio ambiente que se debe establecer frente al Río Mortiño en el municipio de Carmen de Carupa así como el manejo adecuado de la disposición final de las aguas servidas, que son una parte muy importante de cada municipio y son la fuente de abastecimiento de los habitantes y que si estas son mantenidas en buenas condiciones se tendrá una oferta hídrica apropiada para satisfacer las necesidades del recurso hídrico en todo el municipio.



- ✓ Efectuar una limpieza periódica cada vez que se aprecien sedimentos en el Filtro Rápido de Arena y evitar el crecimiento de malezas en el mismo.
- ✓ Retrolavar el filtro o cambiar las capas del filtro de Grava, Arena y Antracita su respectiva eficiencia.
- ✓ Se recomienda un vaciado total del Filtro Rápido de Arena y verificar que los lechos filtrantes se encuentren en las condiciones óptimas y optar por renovarlo de ser necesario.
- ✓ Implementar el conocimiento de la Agenda 2030 en el municipio de Carmen de Carupa a fin de transformar los procesos económicos, sociales y políticos que orienten la gestión de los recursos hídricos e impulsen la prestación de servicios seguros y asequibles de agua y saneamiento (Mundial & Unidas, 2019).
- ✓ Estimular la innovación y promover la creación de capacidad y una mayor conciencia al respecto de una gestión de los recursos hídricos adaptable, incluyendo la importancia y los beneficios de la cooperación transfronteriza, y garantizando acuerdos y mecanismos de vigilancia eficaces y las opciones de prestación de servicios para la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo (ONU, 2019).



Bibliografía

Ambiente, M. D. E., & Territorial, V. Y. D. (2007). *LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE , VIVIENDA RESUELVE : CAPÍTULO I*.

Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. (n.d.). Retrieved April 21, 2021, from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-33052020000200315&script=sci_arttext&tlng=n

Basuki, K. (2019). *ISSN 2502-3632 (Online) ISSN 2356-0304 (Paper) Jrunal Online Internasional & Nasional Vol. 7 No. 1; Jamari - Juni 2019 Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta; 53(9), 1689-1699.* www.journal.uta45jakarta.ac.id

Bourgeois, B. A. F. (1915). Ben Jonson: Pindar. *Notes and Queries*, s11-XI(275), 267. <https://doi.org/10.1093/nq/s11-XI.275.267-a>

Camacho Botero, L. A. (2020). LA PARADOJA DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DE MALA CALIDAD EN EL SECTOR RURAL COLOMBIANO. *Revista de Ingeniería*, 49, 38–51. <https://doi.org/10.16924/revinge.49.6>

Carmen de Carupa en la region de Cundinamarca - Municipio y alcaldía de Colombia - alcaldía Colombia - Información alcaldía, ciudades y pueblos de Colombia. (n.d.). Retrieved April 21, 2021, from <https://www.municipio.com.co/municipio-carmen-de-carupa.html>

Cha, L. S. (2013). Análisis de la estructura de covarianza de los indicadores relacionados con la salud en el anciano en el hogar con un enfoque en la salud subjetiva.

Coagulacio-Floculacion. (n.d.). Retrieved May 4, 2021, from <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>

COLADOR # 17 NP - Novedades Plásticas. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://novedadesplasticas.com/producto/colador-17-np/>



Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones. (n.d.). Retrieved April 21, 2021, from <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>

Comisión Reguladora de Agua. (1997). Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia. *Plan Regional de Inversiones En Ambiente y Salud - Serie Análisis*, 11, 270.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991 Actualizada con los Actos Legislativos a 2016. (2016).

Coronavirus, Y. (n.d.). *Y CORONAVIRUS. Decantación - Concepto, métodos y ejemplos.* (n.d.). Retrieved May 12, 2021, from <https://concepto.de/decantacion/>

DNP. (2014). *Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural.* 1–46. <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810-2014.pdf>

Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones | iAgua. (n.d.). Retrieved April 22, 2021, from <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>

Google Maps. (n.d.). Retrieved May 17, 2021, from <https://www.google.com.co/maps/@5.3389844,-73.9062324,371m/data=!3m1!1e3?hl=es>

Hecho 15: La contaminación del agua | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (n.d.). Retrieved April 22, 2021, from <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution/>

Hecho 39: Casi un décimo de la carga global de enfermedades podría ser contenida a través del mejoramiento del agua | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (n.d.). Retrieved April 22, 2021, from <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-39-water-quality/>



figures/all-facts-wwdr3/fact-39-water-and-health/

Herrington, P., Hamada, A., Interwies, E., Kraemer, A., & Newborne, P. (n.d.). *Social issues in the provision and pricing*. 1–4.

Institucional, R., & Completos, A. (2020). *Ciencias Administrativas Económicas y Contables*. 20.

INVIAS. (2013). Sección 100 - Suelos. *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo Para Materiales de Carreteras.*, E-156, 545–584.

Jouravlev, A. (2004). Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. In *SERIE recursos naturales e infraestructura* (Issue 74).
<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/19539/lcl2169e.pdf>

Keifer, G., & Effenberger, F. (1967). *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951-952

La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL. (n.d.).

La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. (2004). *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 61–66.

La problemática del agua. (n.d.). Retrieved April 21, 2021, from
<https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/la-problematica-del-agua-2551905>

Lundberg, M. (1992). Eastmaninstitutet. En institution för barnens tandhälsa. *Nordisk Medicinhistorisk Arsbok*, 2007(Mayo 9), 181–186.

M, G. C., Lizcano, I., & Lara, Y. A. (2012). *Consumo básico de agua potable en Colombia*. 14–23.



Mantilla, W. C. (2016). *Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia*. 46–53.

Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa – PureWater Colombia | Tecnología en Tratamiento de Aguas. (n.d.). Retrieved May 12, 2021, from <https://purewater.com.co/microfiltracion-ultrafiltracion/>

Microfiltración | Fluence. (n.d.). Retrieved May 12, 2021, from <https://www.fluencecorp.com/es/microfiltracion/>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). Consumo Humano – Inca 2017. *Minsalud*, 3, 1–250.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (Junio 08, 2017). Resolución No. 0330. Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS

Mundial, I., & Unidas, N. (2019). *No Dejar*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304?locale=en>

Nanofiltración - ProMinent. (n.d.). Retrieved May 13, 2021, from <https://www.prominent.es/es/Productos/Productos/Tecnología-de-membrana/Nanofiltración/pg-nanofiltration.html>

OMS. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. *International Water Association*, 116. http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789243562636_spa.pdf

ONU, G. de E. de. (2019). *UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES*.

Panamericana, O. S. (2008). Salud en las Américas 2007: Volumen I, Regional; Volumen II: Países. *Medicina (Buenos Aires)*, 68(2), 188–189.



Ponce, A. (2014). Sólidos suspendidos y disueltos. *Universidad de Las Américas Puebla*, 36–50.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo3.pdf

¿Qué es la ósmosis inversa? – Agua. (n.d.). Retrieved May 13, 2021; from
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-osmosis-inversa>

RAS. (2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO República de Colombia Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. *Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 22 De Novi*, 45. http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf

Rojas, R., & Rojas, R. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*.

Romero, M. (2008). Tratamientos Utilizados En La Potabilización De Agua. *Boletín Electronico Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar*, 08, 1–12.

Sofía, A., Cabra, P., Marcela, P., & Rojas, C. (2018). *Identificación y análisis de los factores de riesgo en el municipio de Carmen de Carupa- Cundinamarca, para el fortalecimiento del esquema de ordenamiento territorial*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Teresa C, L., & Roger A, P. (2008). *Organización Mundial de la Salud, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Guía de orientación en saneamiento basico para alcaldes y alcaldesas de municipios rurales y pequeñas comunidades*.

Torres, C., & Villanueva, S. (2013). El Filtro de Arena Lento : Manual para el armado, instalación y monitoreo. In *Igarss 2014* (Issue 1). <http://www.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>

Torres Puentes, A. F., & others. (2017). *Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica*.



Ubicacion de Carmen de Carupa - Promotores Carmen de Carupa. (n.d.). Retrieved April 21, 2021, from <https://sites.google.com/site/procarupa/ubicacion-de-carmen-de-carupa>

UNICEF. (2004). En Los Planes De Desarrollo. *New Yorck*, 3, 31–56.

Universidad Piloto de Colombia (UPC). (2019). *Informe Filtro Piloto. Bogotá, Colombia: Estudiantes de Ingeniería Civil, Intersemestral Acueductos y Alcantarillado.*

