

**DISEÑO DE UN FILTRO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE ALJIBE EN LA
VEREDA SUCRE OCCIDENTAL EN CHIQUINQUIRÁ**

NICOLAS SÁNCHEZ PÁEZ

**Proyecto de grado dirigido para obtener el título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

Harvey Andrés Milquez Sanabria

Ingeniero Químico

MsC. Ingeniería Química PhD. Energías Renovables

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA INGENIERIA QUÍMICA

BOGOTA D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, febrero 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero.

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario general

Dr. José Luis Macias Rodríguez

Decano de la Facultad de Ingenierías.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Director del programa de Ingeniería Química.

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero dar gracias a Dios por permitirme estar en este momento y en este lugar dándome la oportunidad de transmitir mis conocimientos adquiridos en este tiempo como estudiante en un pequeño pero hermoso lugar, con personas increíbles y de gran corazón, de quienes aprendí cada día que tuve la oportunidad de compartir con ellos a lo largo de este proyecto.

A mi madre que desde que era un niño me enseñó, me guio y me motivó a aprender nuevas cosas para adquirir virtudes y habilidades que hasta el día de hoy me han formado y me han convertido en el hombre que soy. Gracias, madre por tus consejos que siempre son una guía para mí y por ser la mujer valiente que eres.

A mi padre por ser mi ejemplo para seguir, por ser mi apoyo incondicional en todo momento y por darme la seguridad de saber que siempre podré contar con él para lo que necesite, gracias por acompañarme en mis victorias y en mis errores. Gracias porque siempre te has esforzado en darme lo mejor.

Gracias a los dos por los esfuerzos que están haciendo hoy en día y por proponerse metas que los hacen crecer cada día permitiéndoles sacar nuestra familia adelante. Gracias por ese amor y respeto que se tienen, valores que me transmiten día a día y me convierten en una mejor persona.

Gracias a mi familia en general porque me han cuidado desde pequeño y han estado conmigo en todo mi proceso de crecimiento, por ser un apoyo para mí y mi familia. También quiero expresar mi gratitud a mis amigos que hicieron de esta etapa de mi vida una experiencia inolvidable, llena de momentos alegres y unos no tan buenos, pero que siempre estuvieron ahí conmigo de manera incondicional sin juzgarme y aceptándome tal y como soy. Gracias a mis profesores por su tiempo y dedicación para enseñarme lo que hoy me hace ser un ingeniero.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecerme por creer en mí, por esforzarme, por trabajar duro, por nunca darme por vencido y por siempre ser leal a mí, a mis principios y en lo que creo.

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en este documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES	17
2. MARCO REFERENCIAL	21
2.1 Marco teórico	21
2.1.1 Agua	21
2.1.2 Características físicas	22
2.1.3 Características químicas del agua	24
2.1.4 Características microbiológicas	25
2.1.5 Sistemas de captación de agua	26
2.1.6 Tratamiento de aguas	28
2.1.7 Remoción de contaminantes	32
2.1.8 Lecho filtrante	32
2.2 Marco legal	34
2.2.1 Resolución 2115 de 2007	34
2.2.2 Decreto 1575 del 09 de mayo de 2007	36
2.2.3 Norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-3	36
3. DIAGNÓSTICO	37
3.1 Ubicación y condiciones iniciales	38
3.2 Consumo y demanda del agua	52
3.3 Toma de muestras	54
3.4 Análisis de resultados	61
4. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO DEL FILTRO	64
4.1 Propuestas de diseño	65
4.1.1 Planteamiento filtro #1 → Filtro con carbón activado	67
4.1.2 Planteamiento filtro #2 → Filtro con zeolita	68
4.1.3 Planteamiento filtro #3	71

5.	DESARROLLO Y EVALUACION EXPERIMENTAL	72
5.1	Materiales	73
5.1.1	<i>Arena fina</i>	73
5.1.2	<i>Grava fina</i>	73
5.1.3	<i>Grava</i>	74
5.1.4	<i>Carbón activado granulado</i>	75
5.1.5	<i>Zeolita</i>	76
5.1.6	<i>Contenedor plástico</i>	77
5.1.7	<i>Material esterilización</i>	77
5.2	Metodología	78
5.2.1	<i>Planteamiento filtro #1 → Filtro con carbón activado</i>	82
5.2.2	<i>Planteamiento filtro #2 → Filtro con carbón zeolita</i>	83
5.2.3	<i>Planteamiento filtro #3</i>	83
5.3	Tiempos de filtración	84
5.3.1	<i>Planteamiento filtro #1 → Filtro con carbón activado</i>	84
5.3.2	<i>Planteamiento filtro #2 → Filtro con carbón zeolita</i>	86
5.3.3	<i>Planteamiento filtro #3</i>	87
5.4	Análisis para la selección del sistema de filtración	88
5.5	Diseño final del filtro	104
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
6.1	Tiempos finales de filtración	117
7.	EVALUACIÓN DE COSTOS	121
8.	CONCLUSIONES	126
	BIBLIOGRAFÍA	128
	ANEXOS	134

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Montaje filtración por gravedad	18
Figura 2. Montaje filtración al vacío	19
Figura 3. Mapa municipio Chiquinquirá	39
Figura 4. Ubicación satelital de la casa de don Misael Ramírez	40
Figura 5. Lugar de desarrollo del proyecto	42
Figura 6. Red de canaletas	43
Figura 7. Red de canaletas	43
Figura 8. Tanque de almacenamiento	44
Figura 9. Lavado de cocina con el agua lluvia	44
Figura 10. Alimento del ganado con el agua lluvia	45
Figura 11. Estado actual de un pozo	46
Figura 12. Estado actual de un pozo	46
Figura 13. Estado del aljibe	47
Figura 14. Estado del aljibe	48
Figura 15. Ubicación del aljibe	49
Figura 16. Condiciones de estado del aljibe	50
Figura 17. Cocina de un hogar de la vereda	51
Figura 18. Tanque de almacenamiento de agua	51
Figura 19. Caneca plástica de 30 litros de volumen	53
Figura 20. Material completo para la recolección de muestras	55
Figura 21. Muestras de agua recolectadas	56
Figura 22. Muestra recolectada en el aljibe	57
Figura 23. Muestra recolectada para el análisis fisicoquímico y microbiológico	57
Figura 24. Termómetro para la temperatura del agua	58
Figura 25. Diagrama de flujo primer objetivo	60
Figura 26. Plato difusor	66
Figura 27. Esquema planteamiento #1	68
Figura 28. Concentración de coliformes totales	69

Figura 29. Esquema planteamiento #2	70
Figura 30. Esquema planteamiento #3	71
Figura 31. Arena fina	74
Figura 32. Grava fina	75
Figura 33. Grava	75
Figura 34. Carbón activado granulado 2 mm	76
Figura 35. Carbón activado granulado 4 mm	77
Figura 36. Zeolita	77
Figura 37. Contenedor plástico	78
Figura 38. Materia esterilización	78
Figura 39. Lavado de los lechos filtrantes	79
Figura 40. Lavado de los lechos filtrantes	80
Figura 41. Secado de los materiales	81
Figura 42. Capa de algodón	82
Figura 43. Capa de soporte	82
Figura 44. Diseño primer filtro	83
Figura 45. Diseño segundo filtro	84
Figura 46. Diseño tercer filtro	85
Figura 47. Resultados planteamiento #3	90
Figura 48. Diseño filtro adicional de carbón activado	91
Figura 49. Resultados agua filtrada	92
Figura 50. Esquema planteamiento #4	96
Figura 51. Diseño cuarto filtro	97
Figura 52. Vista frontal de los resultados	98
Figura 53. Vista superior de los resultados	99
Figura 54. Diagrama de flujo para la selección de las condiciones de operabilidad	100
Figura 55. Análisis cualitativo con solución patrón	101
Figura 56. Tiempos promedio de filtración	103
Figura 57. Caudales	104
Figura 58. Velocidades de filtración	104
Figura 59. Lavado del material	106

Figura 60. Suciedad de los materiales	106
Figura 61. Secado del material	107
Figura 62. Materiales para el diseño final	108
Figura 63. Diseño del filtro seleccionado	110
Figura 64. Condiciones atmosféricas	111
Figura 65. Alícuota del agua recolectada por el aljibe	112
Figura 66. Solidos sedimentados	113
Figura 67. Filtrado diseño final	113
Figura 68. Concentraciones finales del filtrado	117
Figura 69. Comparación tiempos de filtración	120
Figura 70. Comparaciones caudales	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de agua estimada en la tierra	21
Tabla 2. Modelo de selección sistema de tratamiento	31
Tabla 3. Características de clasificación del medio filtrante	34
Tabla 4. Características físicas del agua para consumo humano	35
Tabla 5. Características químicas del agua para consumo humano	36
Tabla 6. Distribución territorial del municipio	40
Tabla 7. Datos demanda del agua	53
Tabla 8. Resultados análisis microbiológico de la muestra recolectada	61
Tabla 9. Resultados análisis físico químico de la muestra recolectada	62
Tabla 10. Resultados filtro #1	86
Tabla 11. Resultados filtro #2	88
Tabla 12. Resultados filtro #3	89
Tabla 13. Tiempos de filtración filtro adicional	92
Tabla 14. Resultados análisis microbiológico	94
Tabla 15. Resultados análisis fisicoquímico	95
Tabla 16. Resultados filtro #4	97
Tabla 17. Resultados calculados para cada planteamiento	102
Tabla 18. Concentraciones de los filtrados	114
Tabla 19. Tiempos de filtración diseño final	118
Tabla 20. Costos materiales diseño de filtro	123
Tabla 21. Costos análisis fisicoquímico y microbiológico	123

RESUMEN

Esta investigación se fundamentó principalmente en la técnica de filtración como operación unitaria para el tratamiento de agua de aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental del municipio de Chiquinquirá, Colombia debido a que esta zona rural no cuenta con una red de abastecimiento de agua que garantice un flujo constante de agua potable que sea segura y consumible. A lo largo de este documento se describen las generalidades del municipio en estudio, se realizó una revisión de los fundamentos teóricos y técnicas aplicables para el tratamiento de aguas.

Se realizó un diagnóstico inicial de la zona de investigación y se caracterizó la calidad del agua del aljibe a través de métodos estándares para un análisis fisicoquímico y microbiológico a nivel laboratorio donde se determinaron que el color estaba 25 UPC por encima del parámetro máximo, la turbiedad estaba 2,5 NTU arriba del límite, la concentración de cloro residual es nula, el hierro total tenía 0,9 mg de exceso y el recuento de coliformes totales se determinó la presencia de 26 unidades formadoras de colonias; estos son los parámetros establecidos por la Resolución 2115 que no se están cumpliendo.

Posteriormente, a través de una revisión bibliográfica se hizo la selección de diferentes lechos filtrantes con diferentes tamaños de partícula con el fin de plantear diseños y configuraciones distintas. A través de un desarrollo experimental con una serie de ciclos se destacó que una capa de 10 cm de carbón activado granular con un tamaño de partícula de 2 mm influyó negativamente en la eficiencia y en los resultados de la calidad del agua filtrada.

Se identificó que, al implementar zeolita, carbón activado de 4 mm, arena fina y dos tipos de grava, dentro del diseño del filtro tuvo la capacidad de potabilizar el agua recolectada por el aljibe con una eficiencia de remoción del 100% para los coliformes totales, además redujo la concentración del hierro hasta 0,28 mg Fe/L, con un caudal de operación de 0,18 L/min y un tiempo de filtración promedio de 8,33 minutos por cada ciclo.

El diseño final fue aquel capaz de mejorar la calidad del agua donde presento buenos resultados a pesar de que los parámetros de la turbiedad y el color no lograron satisfacer los límites establecidos por la resolución colombiana.

Por último, se evaluó que el costo de la implementación del filtro para mejorar la calidad del agua del aljibe ubicado en la vereda fue de \$78.200 pesos colombianos, de esta manera la comunidad puede consumir un recurso hídrico natural con de manera segura.

PALABRAS CLAVE: Tratamiento de agua, filtro, aljibe, diseño, lechos filtrantes.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más abundantes en el planeta tierra, cubre el 70% de la superficie terrestre, donde el 97% corresponde a aguas saladas [1], lo que quiere decir que solo una mínima parte de la totalidad del agua del mundo es agua dulce, por lo que se convierte en un recurso necesario y vital para el desarrollo social y económico de la población.

La poca disponibilidad de un recurso tan importante ha generado que la especie humana desarrolle un sentido de supervivencia a lo largo de los siglos, encontrando métodos y técnicas que le permitirán obtener agua para su beneficio. Estas técnicas son empleadas para sacar el mayor provecho del entorno y la naturaleza que nos rodea a través de captación de aguas lluvias, aguas subterráneas, aguas de los ríos o aljibes. Con el paso del tiempo y el desarrollo de la civilización la manera en la que la mayoría de las personas se abastecen de agua es a través de una red acueducto con un sistema de tuberías, bombas y válvulas desde la red de tratamiento de agua permitiendo un flujo constante de agua.

Según el último reporte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) del año 2019 determinó que en el mundo 2200 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura [2]. En Colombia solo el 34,95% de las zonas rurales cuentan con una red suministro de agua que garantiza condiciones óptimas para ser utilizadas en múltiples actividades básicas de un hogar [3], donde se evidencian una marcada brecha y sesgos entre la zona urbana y rural lo que impide el acceso al recurso del agua a miles de familias que viven a lo largo de la zona rural de nuestro país, por lo que se ven en la necesidad de crear sistemas de captación que les permita abastecerse de agua día a día.

Consumir el agua directamente de una fuente natural sin previo tratamiento puede ser un riesgo para la persona, ya que estas aguas dependiendo la fuente puede contener sólidos en suspensión, materia orgánica e inorgánica, bacterias o virus, ocasionando posibles enfermedades como el cólera, la fiebre y la diarrea [4].

Cerca de 1.000 niños mueren todos los días a causa de enfermedades diarreicas asociadas al agua potable contaminada, saneamiento deficiente o malas prácticas de higiene [5].

El tratamiento de aguas tiene el propósito de proteger la salud y promover el bienestar de la población que la consume por lo que es fundamental garantizar un recurso seguro y en condiciones óptimas. Para ello, existen múltiples técnicas que se emplean para mejorar las condiciones del agua y el grado de tratamiento dependerá directamente de la fuente y de las características físicas y químicas del agua recolectada. Dividiéndose en tres niveles de tratamiento: pretratamiento y tratamiento primario, los tratamientos secundarios y terciarios. El tratamiento primario estaba basado en procesos físicos y mecánicos, dentro de ellos se encuentra la filtración como una técnica para mejorar la calidad del agua y es la técnica aplicada en este proyecto de investigación

En el contenido de este documento se realizó un estudio de campo, donde se tuvo en cuenta a la comunidad de la vereda y sus rutinas diarias para identificar el uso que le dan al agua del aljibe. Además, encontrara los resultados obtenidos de las pruebas fisicoquímicas realizadas a nivel laboratorio donde se analizan 14 parámetros establecidos por la resolución colombiana para el agua potable. Posteriormente en el documento están los diferentes planteamientos realizados que permitieron identificar los factores que afectan la operabilidad de la filtración, presentando un diseño final capaz de reducir las concentraciones y parámetros para la potabilización del agua. Por último, se encuentran los costos de la implementación de este diseño final y una serie de recomendaciones que se deben tener en cuenta para mejorar los resultados.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un filtro para el tratamiento de agua de aljibe en la vereda Sucre Occidental en el municipio de Chiquinquirá.

Objetivos específicos

- Determinar las condiciones físicas y químicas del agua recolectada de un aljibe en la vereda Sucre Occidental.
- Plantear el diseño de un filtro para el tratamiento de agua de aljibe.
- Identificar las condiciones de operación en el proceso de filtración como tratamiento primario de aguas.
- Calcular los costos de la implementación de un filtro para el tratamiento de aguas de aljibe.

1. GENERALIDADES

El aljibe es la construcción arquitectónica para aprovechar el recurso hídrico brindado gracias a los yacimientos naturales del agua provenientes de la tierra, por lo que el agua almacenada por el aljibe está expuesta a todo tipo de suciedad que es arrastrada por las corrientes de vientos que incluye polvo, arenillas y todo tipo de materia orgánica de los alrededores (material vegetal, insectos e incluso materia fecal proveniente de los animales) y una contaminación química causa de la actividad humana de los alrededores donde pesticidas y herbicidas pueden llegar al interior del aljibe. Adicional a estas fuentes externas de contaminación, el diseño y la construcción de estos aljibes presentan una desventaja ya que se produce una contaminación química natural debido a la geología del suelo, donde el agua recolectada tendrá concentraciones de arsénico, hierro y sulfatos. [6]

Todos estos factores de contaminación hacen que la calidad del agua del aljibe disminuya alterando ciertas características físicas del agua, como el color, el sabor y el olor, además aumentar las concentraciones de compuestos químicos y microbiológico que representan un peligro para la salud de las personas que consumen el agua directamente del aljibe.

El tratamiento del agua hace referencia a la extracción y/o eliminación de sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos patógenos presentes en el agua almacenada con el fin de potabilizar el agua a través de diferentes técnicas que pueden ser físicas, químicas, fisicoquímicas o biológicas. Aplicar una de estas operaciones para el tratamiento del agua del aljibe es fundamental para sacar el mayor provecho del recurso del agua, ya que se estima que solo un 0,4% del agua del planeta es apta para el consumo humano. [7]

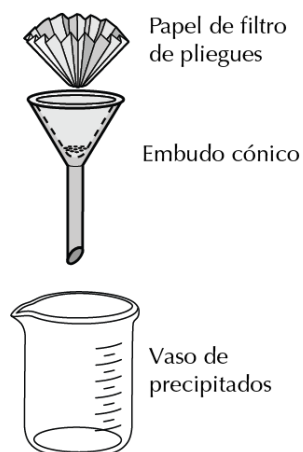
La filtración es una técnica física empleada para el tratamiento de aguas, consiste en verter la mezcla líquido-sólido a través del medio filtrante que retiene lo sólidos y deja pasar la fase líquida. Dependiendo la fuerza impulsora la filtración se puede separar en:

- *Filtración por gravedad.* Donde la mezcla sólido-líquido atraviesa el medio filtrante por acción impulsora de la gravedad siendo el método más sencillo, tradicional y de bajo

costo ya que su fuerza impulsora no requiere de energía. La figura 1 ejemplifica un montaje para un filtro por gravedad, donde el papel filtro de pliegues el material más importante ya que es el encargado de retener la materia sólida que contenía la mezcla, dejando fluir la corriente hasta el contenedor que recibirá una mezcla con un menor contenido de sólidos.

Figura 1

Montaje filtración por gravedad.



Nota. La figura representa un montaje a escala laboratorio para un filtro por gravedad Tomado de: De Química. Recursos educativos de química. Filtración por gravedad y a vacío. [En línea]. <https://www.dequimica.info/filtracion> [Acceso: sep.17,2021].

- *Filtración al vacío.* Para este caso la fuerza impulsora es la presión que ejerce la presión atmosférica que se aplica cuando el sistema está al vacío, proceso que es útil cuando la gravedad no ejerce la suficiente fuerza para atravesar el medio filtrante, para ello la figura 2 muestra el montaje requerido, a diferencia de la filtración por gravedad, acá la fuerza impulsora es inducida en la salida por una bomba de vacío y esta genera una succión de la muestra líquida a través del filtro.

Figura 2

Montaje filtración al vacío.



Nota. La figura representa un montaje a escala laboratorio para un filtro al vacío. Tomado de: De Química. Recursos educativos de química. Filtración por gravedad y a vacío. [En línea]. <https://www.dequimica.info/filtracion> [Acceso: sep.17,2021].

Adicional a estos mecanismos de filtración físicos existe un proceso de filtración especial que se fundamenta en el principio de la adsorción. La adsorción, es un fenómeno de superficie y se define como la tendencia de un componente a concentrarse en la interfase donde se presenta una composición diferente al resto de la fase. Este fenómeno es aplicado en el estudio de los coloides. [8]

La filtración con carbón activado se fundamenta en este fenómeno superficial teniendo la capacidad de retener sustancias orgánicas, aromas y sabores, metales pesados o partículas con un diámetro bajo. La capacidad que tiene de retener las partículas es limitada por lo que el material se debe cambiar periódicamente para mantener una buena eficiencia. El carbón activado también cumple la función como agente reductor lo que lo hace efectivo para eliminar agentes oxidantes como el cloro. [9]

Una vez aplicada esta técnica de filtración para el tratamiento de aguas de aljibe el uso de esta agua tratada será única y exclusivamente para ser consumida por la población que desea implementar este filtro, ya que, para las actividades como el aseo personal,

el lavado de loza y de ropa, se utiliza el agua lluvia que es captada gracias a unas canaletas y que es recolectada por un tanque de almacenamiento para ser utilizada en dichas actividades.

2. MARCO REFERENCIAL

1.1 Marco teórico

1.2.1 Agua

Es una sustancia en estado líquido sin color, olor ni sabor. Tiene una estructura molecular con dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno. El agua dulce es un recurso natural, vital y esencial para el desarrollo social y económico la cual se ve reducida año tras año por la contaminación y mal uso de los recursos disponibles. La distribución del agua se muestra en tabla 1 donde se clasifica el porcentaje de agua total que le pertenece a cada clasificación del agua, entre océanos, lagos, ríos entre otros [1].

Tabla 1

Cantidad del agua en la tierra

Agua	Volumen (km ³)	% Agua Total	% Agua Dulce
Océanos	1.338.000.000	96,5	-
Agua Subterránea Dulce	10.530.000	0,76	30,1
Agua Subterránea Salada	12.870.000	0,93	-
Humedad de Suelo	16.500	0,0012	0,05
Hielo Polar	24.023.500	1,7	68,6
Hielo no polar y nieve	340.600	0,025	1,0
Lagos Dulces	91.000	0,007	0,26
Lagos Salinos	85.400	0,006	-
Pantanos	11.470	0,0008	0,03
Ríos	2.120	0,0002	0,006
Agua Biológica	1.120	0,0001	0,003
Agua Atmosférica	12.900	0,001	0,04
Agua Total	1.385.984.610	100	-
Agua Dulce	35.029.210	2,5	100

Nota. La tabla representa la distribución y porcentaje del volumen del agua en el mundo. Tomado de: Chow. 1994. Distribución del agua en el mundo. [En línea]. http://aquabook.agua.gob.ar/1014_0 [Acceso: sep.17,2021].

2.1.2 Características físicas

A continuación, se han clasificado una serie de características físicas del agua, donde algunas pueden ser percibidas a través de los sentidos y otras que se pueden medir a través de diferentes instrumentos.

2.1.2.a. Sólidos. Son partículas sólidas de tipo orgánico que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno donde los principales grupos están conformados por las proteínas, carbohidratos y grasas que pueden ser degradados por organismos vivos. Por otra parte, los sólidos inorgánicos o también conocidos como minerales son sustancias inertes que no pueden ser degradadas, entre ellas se encuentran las arenas, aceites y sales minerales [10]. Adicionalmente, los sólidos se pueden clasificar en:

2.1.2.b. Sólidos suspendidos. Son aquellos que flotan en el agua, lo que facilita su visualización. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de operación unitarias como la sedimentación o la filtración. Dentro de este grupo de sólidos se pueden encontrar arcilla, madera, partículas de comida, basura entre otros. [10]

2.1.2.c. Sólidos disueltos. (TDS) Hace referencia al residuo que queda después de un proceso de filtración fina, donde un 40% son de origen orgánico y el 60% restante son inorgánicos. Incluye sales, minerales y metales. [10]

2.1.2.d. Sólidos totales. (ST) Incluye todos los sólidos presentes en el agua recolectada que pueden afectar negativamente la calidad del agua, por lo que su análisis y control son necesarios para evaluar la calidad del agua que debe estar regulada por una normativa vigente en Colombia.

2.1.2.e Turbiedad. La turbiedad en el agua se debe a la desintegración y erosión de materiales arcillosos, rocas, plantas y microorganismos. Esta característica física mide la dispersión de la luz que es absorbida o disipada en relación con el material coloidal residual en suspensión, lo que nos indica un parámetro de calidad del agua. [10]

Es una característica medible que se realiza por comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra y una referencia; los resultados se expresan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

2.1.2.f. Color. Esta característica es efecto de las condiciones ambientales y de la presencia de sólidos suspendidos, y sustancias disueltas. El color también dependerá de los volúmenes ya que, si estos aumentan la luz que es absorbida también aumentará. El color se puede comparar con una muestra y el color producido por soluciones de diferente concentración de cloro platino de potasio, donde una unidad de color generado corresponde a 1 mg/L de platino. Las sustancias húmicas producen un color amarillo en el agua. [10]

El color verdadero es aquel que se obtiene por los sólidos disueltos después de haber eliminado la materia orgánica en suspensión con un filtro de 0,45 micrómetros.

El color aparente es aquel que se obtiene de las muestras sin ningún tipo de filtro donde se presentan sólidos en suspensión, materia orgánica, hierro y manganeso.

2.1.2.g. Sabor y olor. El sabor y el olor son características que se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la presencia de materia orgánica en descomposición. La caracterización del olor y el sabor se evalúan en términos de aceptable o no aceptable. El color además es un indicador de presencia de distintos organismos y contaminantes en el agua, tales como hierro, plancton o materia orgánica, dependiendo de la tonalidad que esta tenga. [11]

2.1.2.h. Temperatura. Es una variable física que afecta la calidad del agua, adicionalmente es una característica que influye en la solubilidad de gases y sales, cinéticas de reacción, viscosidad, desplazamiento del equilibrio químico, tensión superficial, entre otras. La solubilidad del oxígeno en el agua tiene un comportamiento inversamente proporcional por lo que acelera los procesos de putrefacción.

2.1.2.i. Conductividad. Es la habilidad que tiene una solución para conducir una carga eléctrica a través de sus átomos y estructura, esta carga eléctrica son iones capaces de transmitir una corriente eléctrica en medio de una solución como el agua. La fuente de estos iones son los ácidos y sales presentes en la solución.

Para realizar su cuantificación se utilizan instrumentos denominados conductímetros y sus unidades de medición es en micro siemens (μS).

2.1.2.j. Gases disueltos. El oxígeno se encuentra en estado original dentro de la composición del agua a su vez que en el aire que está en contacto con la superficie del agua. Adicionalmente se encuentran otros gases como anhídrido carbónico a causa de la descomposición de materia orgánica, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. [10]

2.1.3 Características químicas del agua

Estos parámetros indican la calidad química del agua después de haber sido tratada.

2.1.3.a pH. Es la medición de la actividad molar del ion hidronio en un sistema acuoso, un aumento en una unidad del pH significa una disminución de 10 veces en la concentración molar del ion hidrógeno. Su expresión matemática es la siguiente:

$$pH = -\log_{10}(H^+)$$

La escala de pH es la forma estandarizada de clasificación y cuantificación de un sistema acuoso según los límites, en uno de los extremos (pH=0) se encuentran las sustancias ácidas, en el otro extremo (pH=14) están las sustancias básicas y en la mitad de este rango (pH=7) se encuentran las sustancias neutras. [12]

2.1.3.b. Alcalinidad. Esta se define como la capacidad para reaccionar o neutralizar los iones hidronio. Es causada por bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en la solución, donde los constituyentes más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. En grandes cantidades, esta característica genera un sabor amargo en el agua.

Su valor se expresa como la concentración equivalente del agente alcalino en mg/L y el procedimiento estandarizado para medir esta propiedad es a través de una titulación de una alícuota de la muestra con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico y como indicador la fenolftaleína. Su cantidad en aguas domésticas oscila entre 50 a 200 mg/L Ca CO₃. [13]

2.1.3.c. Dureza. Esta propiedad está representada por la concentración de cationes metálicos multivalentes en la solución, como el magnesio, hierro y el calcio cuantificado en mg/L. La dureza total de una solución es la suma de todas las concentraciones de sales de calcio y magnesio, se mide por volumetría EDTA y numéricamente es expresada en forma de carbonato de calcio. Por otra parte, la dureza temporal, se denomina así ya

que es una característica que se pierde al hervir el agua y es causante de la presencia de bicarbonatos de calcio y de magnesio. [14]

2.1.3.d. Hierro. Su presencia en las muestras se atribuye al contacto de la fuente con masas subterráneas ricas en hierro, por lo que aguas superficiales oxigenadas no superan el 1mg/L, concentraciones más altas de hierro cambian el color y generan un sabor dulce amargo.

2.1.3.e. Cloruros. Este ion cloruro, es uno de los aniones más comunes que se encuentran en el agua natural. Su concentración depende principalmente a la naturaleza de los terrenos de la fuente. El contenido de ion cloruro en aguas naturales es menor a los 50 mg/L. El valor máximo permitido para el agua potable es de 250 mg/L y su presencia genera un sabor salado.

Los métodos Mohr y Volhard son volumetrías de precipitación que miden el volumen de solución para precipitar completamente el anión o catión del compuesto analizado. [15]

2.1.3.f Cloro residual libre. El cloro residual es aquella porción que queda en el agua después de un periodo de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito. Según la resolución 2115 de 2007 el valor máximo aceptable es de y 2,0 mg/L, aunque también existe un mínimo para esta propiedad de 0,3 mg/L, ya que en los procesos de tratamiento de aguas el uso de cloro es necesario como método de purificación.

2.1.4 Características microbiológicas

Tiene en cuenta toda la presencia de microorganismos presente en el agua que afectan negativamente la calidad del agua. La presencia de estos microorganismos es una de las principales causas de los riesgos para la salud por enfermedades infecciosas a causa de organismos patógenos como bacterias, virus y parásitos. [16]

2.1.4.a Coliformes fecales. Son un grupo de organismos conformado por bacterias del género E. Coli, Klebsiella, Enterobacter y Citrobacter, donde su origen como su nombre lo indica, es fecal. Para su cuantificación a nivel laboratorio existen diferentes métodos y

técnicas como una filtración por membranas, fermentación en tubo múltiples, la presencia ausencia o el número más probable. [17]

2.1.4.b Coliformes totales. Son microorganismos de la familia Enterobacterias, son bacterias gran negativas con capacidad de crecimiento aerobio y facultativamente anaerobio en presencia de sales a una temperatura de 35°C que causa la fermentación de la lactosa produciendo un gas. [18]

2.1.4.c Escherichia Coli. La presencia de esta bacteria es un indicativo de contaminación por fuentes fecales, esta atribución se debe a que E. Coli es habitante regular del tracto digestivo de animales de sangre caliente. Consumir un agua con la presencia de estas bacterias causa una alerta ya que puede causar gastroenteritis o incluso causar la muerte a causa de la cepa E. Coli O157:H7. [18]

2.1.5 Sistemas de captación de agua

La implementación de estos sistemas para el aprovechamiento de fuentes naturales de agua o agua lluvias requiere el uso de mano de obra, maquinaria y materiales, lo que genera un costo adicional para su desarrollo por lo que se debe tener en cuenta la viabilidad y el propósito de la construcción del depósito.

La construcción de estos sistemas de captación requiere de una planificación que se divide en las siguientes partes:

2.1.5.a. Área de captación. Corresponde a toda la zona destinada para la recolección de la fuente hídrica, se denomina también como el área efectiva donde toda el agua será encaminada a esta área para su recolección. Esta área debe ser lo más amplia posible y lo más cerca a los caudales aprovechables de abastecimiento para evitar el uso de canaletas, bajantes y colectores que pueden contaminar la corriente de agua [19].

2.1.5.b. Tanque de almacenamiento. Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua para los diferentes usos, donde la selección del volumen es una de las partes más importantes del diseño del sistema que dependerá de los caudales en el área de captación. Adicionalmente el volumen dependerá de la demanda del agua por la población [19].

Su ubicación debe estar posicionada en zonas menores al nivel de captación del agua para que su llenado sea de forma natural gracias a la fuerza de gravedad. Se recomienda que el tanque de almacenamiento este protegido de los vientos y luz solar ya que estos favorecen a la evaporación y contaminación.

2.1.5.c. Mantenimiento. Es necesario implementar unos procesos de mantenimiento del tanque de almacenamiento para evitar la procreación de algas y microorganismos que aceleren los procesos de contaminación del agua. Se recomienda realizar mínimo dos limpiezas al año antes y después de la temporada de lluvias eliminando todos los sedimentos y maleza generada, cabe aclarar que los alrededores del tanque de almacenamiento también deben estar libres de maleza para evitar la contaminación del recurso almacenado. [19]

2.1.5.d. Pozos. Son un sistema de captación dentro de la tierra a través de un agujero en el suelo de manera vertical con una profundidad determinada para la recolección de agua de acuíferos o mantos de agua subterráneos. Según los métodos de construcción los pozos se clasifican:

2.1.5.e. Pozo excavado. Son de poca profundidad, contruidos a través de herramientas básicas como una pica o una pala. Se utilizan cuando el nivel freático está cercano a la superficie. [20]

2.1.5.f. Pozo perforado. Su construcción es por medio de un sistema de percusión o rotación. [20]

2.1.5.g. Pozo taladrado. Se excavan por medio de taladros rotatorios que pueden ser manuales o impulsados por fuerza motriz. [20]

2.1.5.h. Pozo a chorro. Son pozos que se construyen por la presión y velocidad ejercida por un chorro continuo de agua aflojando el material excavado. [20]

2.1.5.i. Aljibes. Son un sistema de almacenamiento milenario de agua dulce donde el hombre se ha encargado de construir estos sistemas para abastecer a la población en periodos de sequía o en zonas donde no hay una red de suministro de agua. Este

concepto de aljibe viene del árabe que se define como cisternas o pozos donde a través de canalizaciones se recoge el agua que proviene de la tierra.

Están construidos subterránea o parcialmente, suelen estar recubiertos por arena, arcilla roja y cal, con el objetivo de impedir filtraciones y la putrefacción del agua recolectada. Hay que tener en cuenta que los aljibes deben ser limpiados y desinfectados con amonio o lejía, una o dos veces por año. Actualmente los aljibes son parte indispensable en la construcción de algunas viviendas en zonas rurales.

2.1.5.j. Ventajas de los sistemas de captación de agua.

- Sistema independiente ideal para comunidades alejadas.
- Empleo de mano de obra y materiales de fácil acceso.
- Fácil mantenimiento.
- Es un sistema amigable con el medio ambiente, ya que conserva el suelo, el agua, no contamina el medio, lo que genera un proceso sostenible. [19]

2.1.5.k. Desventajas de los sistemas de captación de agua.

- Alto costo inicial para la construcción del sistema de captación.
- La cantidad de agua recolectada depende de la precipitación del lugar y el área de captación.
- Susceptibles a diferentes fuentes de contaminación. [19]

2.1.6 Tratamiento de aguas

Tiene el propósito de proteger la salud y promover el bienestar de la población que la consume por lo que aumenta la necesidad de entender, conocer e implementar métodos de tratamiento que eliminen los riesgos para la salud por el consumo de aguas contaminadas. Algunos de ellos ya están normalizados y establecidos a través de operaciones unitarias donde la ingeniería química juega un papel importante en la resolución del tratamiento de aguas. Actualmente la resolución para el tratamiento de aguas se resuelve con procesos integrados, es decir, operaciones fisicoquímicas.

La formulación para el planteamiento y diseño de un sistema de tratamiento de aguas dependerán de la disponibilidad de los recursos económicos, disponibilidad del recurso y su grado de contaminación, demanda y motivaciones ecológicas.

El grado de tratamiento requerido para un agua depende de los límites del efluente, y se dividen en las siguientes etapas: pretratamiento y tratamiento primario, los tratamientos secundarios y terciarios.

2.1.6.a. Pretratamiento y tratamiento primario. Para esta etapa se emplean operaciones unitarias físicas para la eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes para el acondicionamiento de las aguas para las posteriores etapas. Las operaciones unitarias que se llevan a cabo en esta etapa de tratamiento son:

2.1.6.b. Cribado. Operación unitaria para separar el material grueso del agua, mediante una rejilla denominada criba, con dimensiones hasta de 5 mm como máximo. Su mantenimiento y limpieza se da de forma manual.

2.1.6.c. Sedimentación. Utilizado para la separación de sólidos en suspensión basado en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. La sedimentación por zonas es comúnmente utilizada en clarificadores donde las partículas hacen una capa que sedimenta en el fondo del equipo y que se identifica con facilidad en la fase líquida

2.1.6.d. Coagulación-floculación. Es una técnica química de tratamiento de aguas con el fin de facilitar la sedimentación. La coagulación es un proceso donde los componentes se hallan en estado coloidal donde sus fuerzas de estabilidad se ven afectadas formando partículas de mayor tamaño que pueden ser sedimentables. La coagulación elimina la materia orgánica que causa olores y turbiedad en el agua. Factores como la temperatura, concentración de iones H^+ , tamaño de las partículas y la valencia influyen directamente en los procesos de coagulación.

La floculación consiste en la agitación de los micro flóculos con la finalidad de aglomerarlos para aumentar su tamaño y su peso específico, disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración.

2.1.6.e. Filtración. Es el proceso de separación de partículas sólidas de un líquido utilizando un material filtrante con porosidad. La filtración superficial se fundamenta en que el diámetro de la partícula es mayor que el diámetro del poro del medio de separación, lo que quiere decir que la separación se da por el tamaño de partícula. Se caracteriza porque su membrana es delgada haciéndolos poco profundos, entre ellos se pueden encontrar: filtros de membrana, micro tamices o filtros de tela. [9]

Los filtros de membrana tienen un tamaño de poro de 0,2 μm lo que ofrece un medio confiable para la separación de patógenos en el agua. A diferencia de la filtración superficial, esta filtración se caracteriza porque el diámetro de la partícula es menor a la porosidad pasando a través de los poros y son retenidas dentro del medio de filtración. Esto es posible a lo largo de la profundidad del filtro donde en la parte alta del filtro se vierte el flujo y en el medio granular donde las partículas son retenidas, generalmente se encuentran altura de 1 a 2 metros. [9]

En general, el proceso de filtración para el agua aljibe es de manera convencional donde se debe verter el agua cruda en la parte superior del filtro, para que por acción mecánica de la gravedad el agua fluya a través de los lechos filtrantes de forma descendente descontaminando y extrayendo a su paso los contaminantes presentes en la muestra. El tratamiento de agua dependerá únicamente de la calidad del agua a tratar y esa calidad determina los procesos necesarios que se deben emplear para mejorar su calidad. La siguiente tabla es un modelo de selección para el sistema de tratamiento de agua por múltiples etapas.

Tabla 2*Modelo de selección sistema de tratamiento*

Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500	Sin FGA		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0}
500 - 10000	FGAC _{0.6}		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0}
10000 - 20000 (*)	FGAC _{0.45}		FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0}

Nota. La tabla anterior clasifica los sistemas de filtración dependiendo la calidad del agua. Tomado de: Organización panamericana de la salud. Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Lima. 2005. [En línea].

<http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas.pdf> [Acceso: sep.17.2021]

2.1.6.e. Tratamiento secundario. Es requerido cuando se desea eliminar sustancias orgánicas biodegradables disueltas y coloidales. Donde se acelera el proceso de descomposición a través de tratamientos biológicos convencionales como: aireación prolongada (proceso de oxidación total), estabilización por contacto, lenguaje con aireación filtros biológicos, tratamientos anaerobios procesos de contacto y filtros.

2.1.6.f. Tratamiento terciario. Este es el último grado de tratamiento que existe, el cual es empleado para la eliminación de contaminantes que no son posible eliminarlos en las anteriores etapas. Es conocido como tratamientos avanzados o refinamiento ya que se obtiene una alta calidad del agua y se proponen los siguientes métodos: Micro tamizado, filtración (lecho de arena, antracita), adsorción (carbón activado), intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, cloración y ozonización.

2.1.7 Remoción de contaminantes

Pueden ser eliminados a través de procesos físicos, químicos o biológicos. Las operaciones unitarias son aquellas que predominan bajo la acción de una fuerza física impulsora tales como: mezclado, desbaste, sedimentación, flotación y filtración. Por otra parte, en los procesos químicos existe una eliminación o conversión de los contaminantes gracias a la adición de sustancias químicas que promuevan la reacción. Los procesos biológicos eliminan los contaminantes de sustancias orgánicas biodegradables ya sea en forma coloidal o disuelta.

2.1.8 Lecho filtrante

El proceso de filtración a través de un lecho filtrante es una técnica utilizada para la eliminación de partículas que contiene el agua. Su principal aplicación es para el tratamiento de agua potable. Los medios filtrantes se seleccionan en función de las características físicas deseadas, tales como el tamaño, gravedad y granulometría, estas características determinaran la velocidad de filtración. El diseño del lecho filtrante dependerá de la calidad del agua a tratar y su ultimo propósito. [21]

Los filtros de medios granulares son característicos por su profundidad, dentro de los más comunes están la arena silica y antracita, donde el tamaño de la partícula debe ser lo suficientemente grande para que un porcentaje de los sólidos suspendidos logre retenerse en la profundidad del lecho filtrante.

2.1.8.a Arena. Es uno de los materiales más utilizados como medio filtrante para el tratamiento de aguas ya que las partículas que se encuentran en suspensión son retenidas durante su paso por el lecho de arena. Las arenas son utilizadas como lecho filtrante para la potabilización de aguas reteniendo los flóculos de menor tamaño.

La arena de silica o sílice es una molécula insoluble en agua. Es un excelente lecho filtrante para la retención de partículas pequeñas. Su dureza y alto punto de fusión son propiedades fisicoquímicas que le dan una versatilidad en su uso. [22]

2.1.8.b Grava. Se denomina grava a las rocas formadas por clastos en 2 y 64 milímetros, se origina por la fragmentación de distintas rocas de la corteza terrestre. Es un excelente lecho filtrante para la retención de partículas de gran tamaño.

2.1.8.c Antracita. Es un carbón mineral de gran dureza con un alto contenido de carbono, hasta un 95% dentro de su composición. La forma de su grano facilita la retención de sólidos en suspensión, altamente utilizada para la clarificación. [23]

Debido a la forma especial de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. En comparación con un filtro de arena, este medio filtrante permite un desempeño en el filtro de mayor flujo, menos caída de presión.

2.1.8.d Carbón activado. Es un material natural capaz de atraer, capturar y romper moléculas de contaminantes presentes en el agua por su alto contenido en carbón y su elevada porosidad interna, los microporos tienen un tamaño menor a 2 nanómetros de radio, que le brindan una gran superficie libre de adsorción, entre 500 hasta 1500 m²/g. Su implementación para el tratamiento de aguas es útil para la eliminación y productos químicos como el cloro y el sulfuro de hidrógeno, además de contaminantes orgánicos como plaguicidas, herbicidas, insecticidas. [24]

2.1.8.e Zeolita. Son aluminosilicatos hidratados de metales estructurado en redes cristalinas tridimensionales. Es un absorbente natural por su alto grado de hidratación, con la capacidad de retener partículas de hasta 5 micras, además, por sus propiedades de intercambio catiónico neutralizan ciertos elementos. Es utilizada en los procesos de potabilización del agua ya que produce una mayor claridad en el agua filtrada, tiene la capacidad de hasta 4 veces una mayor capacidad de flujo y se requiere de una menor cantidad respecto a los lechos convencionales incrementando su eficiencia. [25]

Para la selección del diámetro efectivo debe ser lo suficientemente pequeño para permitir un flujo constante a través del lecho profundo hasta la salida del efluente con un rango entre 0,15 y 0,35 mm para el tamaño efectivo de la partícula.

La tabla 3 clasifica los medios filtrantes según sus características, la velocidad, el sentido del flujo y la carga sobre el lecho, es decir la fuerza aplicada para el tipo de filtro.

Tabla 3

Características de clasificación del medio filtrante

	<i>Velocidad de filtración</i>	<i>Medio filtrante</i>	<i>Sentido de flujo</i>	<i>Carga sobre el lecho</i>	
<i>Característica de clasificación</i>	Lentos 7-14 m ³ /día	Arena (h=60-100cm)	Descendente	Por gravedad	
			Ascendente		
			Horizontal		
	Rápidos 120-360 m ³ /día	Arena (h=60-75cm)	Ascendente	Por gravedad	
			Antracita (h=60-75cm)	Descendente	Por presión
Arena (h=20-35cm)					
Mixtos arena, antracita, granate	Flujo mixto				

Nota. La tabla clasifica los diferentes medios filtrantes y su velocidad de filtración. Tomado de: Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias, 1992. P. 131. [Acceso: sep.17,2021].

2.2 Marco legal

2.2.1 Resolución 2115 de 2007

En ella se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. [23]

Este decreto describe que el agua es potable por cumplir las características fisicoquímicas y microbiológicas reglamentadas en la normatividad colombiana.

2.2.1.a. Características físicas del agua para consumo humano. El agua para consumo humano no puede sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan en la tabla 4 a continuación:

Tabla 4

Características físicas del agua para consumo humano.

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Nota. La tabla presenta los límites permisibles para las características físicas del agua. Tomado de: Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007. [Acceso: sep.17,2021].

2.2.1.b. Conductividad. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 micro siemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia por lo que debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitarias y ambientales competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano. [23]

2.2.1.c. Potencial de hidrógeno. El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0. [23]

2.2.1.d. Caracterización del agua por pruebas fisicoquímicas. Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud se señalan a continuación en la tabla 5:

Tabla 5

Características químicas del agua para consumo humano.

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Nota. La tabla presenta los límites permisibles para las características físicas del agua. Fuente Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007. [Acceso: sep.17,2021].

2.2.2 Decreto 1575 del 09 de mayo de 2007

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, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios. [26]

2.2.3 Resolución 1096 de 2000 (RAS)

Resolución por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico. En él se señalan los requisitos técnicos que se deben cumplir en todos los procedimientos relacionados con el agua potable y saneamiento básico. Adicionalmente, en una de sus secciones “se fijan criterios básicos, requisitos mínimos, valores específicos y límites que se deben tener en cuenta en los sistemas de acueducto”. [27]

3. DIAGNÓSTICO

En este capítulo se desarrolla el primer objetivo específico de este proyecto de investigación, donde se determinarán las condiciones físicas y químicas del agua recolectada en el aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental en el municipio de Chiquinquirá, con el fin de identificar la calidad del agua.

Inicialmente, se realizará un diagnóstico del lugar donde se llevó a cabo el proyecto de investigación teniendo en cuenta la geografía del lugar, rutas de acceso, las condiciones reales y actuales de los sistemas de captación de agua que se emplean para abastecerse de agua.

Una vez realizado este diagnóstico inicial del sector de la vereda Sucre Occidental en Chiquinquirá, se seleccionará la población a la cual fue dirigido este proyecto de investigación. Para la recolección de datos que se utilizarán en este proyecto se analizarán y se tuvo en cuenta las rutinas diarias de las familias que están en la necesidad de crear sistemas de captación que emplean como solución a la falta de una red de acueducto que les suministre constantemente agua potable y apta para consumo humano, a través de técnicas como la observación y entrevistas no estructuradas, se recolectara toda la información pertinente para el proyecto. Allí se tuvieron en cuenta factores como la distancia entre el aljibe y la casa, el consumo diario empleado por cada hogar y la forma en que se almacena el agua una vez ha sido recolectada del aljibe.

Para dar cumplimiento con el primer objetivo específico, se realizará una recolección de muestras tomadas del aljibe para ser analizadas posteriormente en un laboratorio en la ciudad de Bogotá teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667 la cual es una guía detallada para una correcta toma de muestras para evitar fallos e inconsistencias en los resultados.

Este diagnóstico y caracterización inicial de las condiciones actuales del agua de aljibe se realizará a través de metodologías cuantitativas donde los límites permisibles están establecidos y regulados en la Resolución 2115 de 2007 de Colombia, donde se analizarán los siguientes parámetros fisicoquímicos: alcalinidad total, calcio, cloro residual libre, cloruros, color, conductividad, dureza total, hierro total, magnesio, pH,

sulfatos y turbiedad. Adicional a estos parámetros mencionados, también se realizará una prueba microbiológica para el recuento de coliformes totales y E. Coli.

Con los resultados obtenidos se logra identificar que parámetros no se están cumpliendo y que hacen que el agua recolectada por el aljibe no sea del todo potable, según lo establece la Resolución.

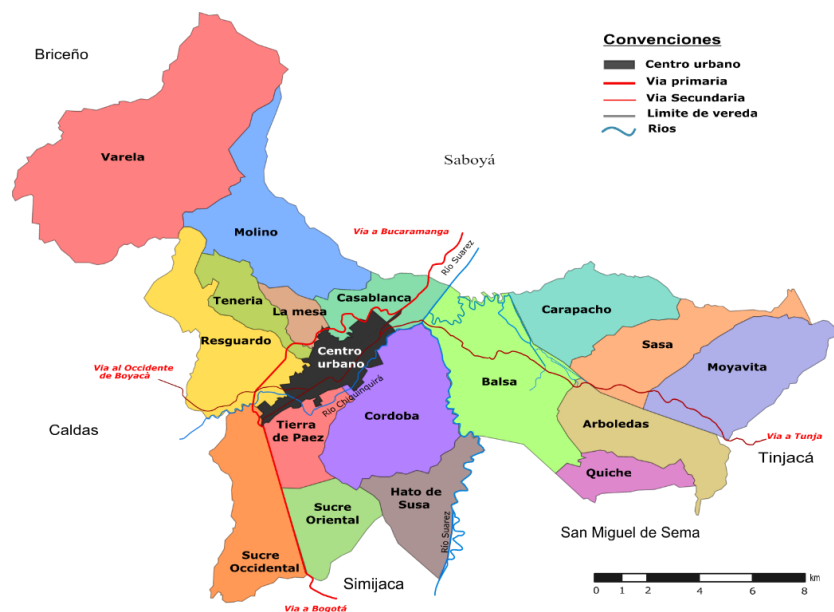
3.1 Ubicación y condiciones iniciales

Chiquinquirá hace parte del altiplano cundiboyacense con un área de 131 km², la figura 3 representa la división política del municipio y sus límites con los otros municipios; por el norte limita con Saboya, por el sur con Simijaca, por el oriente con Tinjacá y Simijaca y por el occidente con Caldas. La cuenca del río Suarez en la cordillera Oriental y el río Chiquinquirá que nace en el municipio de Caldas son los dos ríos que surcan el municipio de Chiquinquirá [28]. Adicionalmente, en la figura 3 se observa la ubicación de la vereda Sucre Occidental, lugar de desarrollo de este proyecto de investigación que cuenta con una vía primaria de acceso.

Chiquinquirá está conectado terrestremente con Colombia gracias a cuatro principales accesos, desde Bogotá, Tunja, el territorio de Vásquez y por último desde los Santanderes.

Figura 3

Mapa municipio Chiquinquirá



Nota. La figura representa la división política del área de Chiquinquirá. Tomado de: Alcaldía de Chiquinquirá. Secretaria de desarrollo y bienestar social. 2013. [En línea]. https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/05/images_Documentos_ASIS_2013_ASIS-CHIQUINQUIR%C3%81-2013.pdf [Acceso: oct.21,2021].

Al ser parte del departamento de Boyacá, Chiquinquirá está situada en la zona de mayor ensanchamiento de la cordillera Oriental de los Andes, posee todos los pisos biotérmicos relacionados con la vegetación y la producción agrícola. [29] A su vez su clima está influenciado por las lluvias, por lo que se estiman entre 150 a 200 días de lluvias, con una temperatura entre 12 a 18°C.

En cuestión de la prestación de servicios públicos, para el servicio del agua, la entidad prestadora es la Empresa Industrial y Comercial de Servicios Públicos de Chiquinquirá (EMPOCHIQUINQUIRA). Esta entidad es la encargada de la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento, distribución y comercialización del servicio del agua.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el lugar de interés de esta investigación es en la vereda Sucre Occidental del municipio de Chiquinquirá, Boyacá, la tabla 6 muestra la división política del municipio en 17 veredas que en su totalidad ocupan el 89,01% y el restante está distribuido en la zona urbana.

Tabla 6

Distribución territorial del municipio.

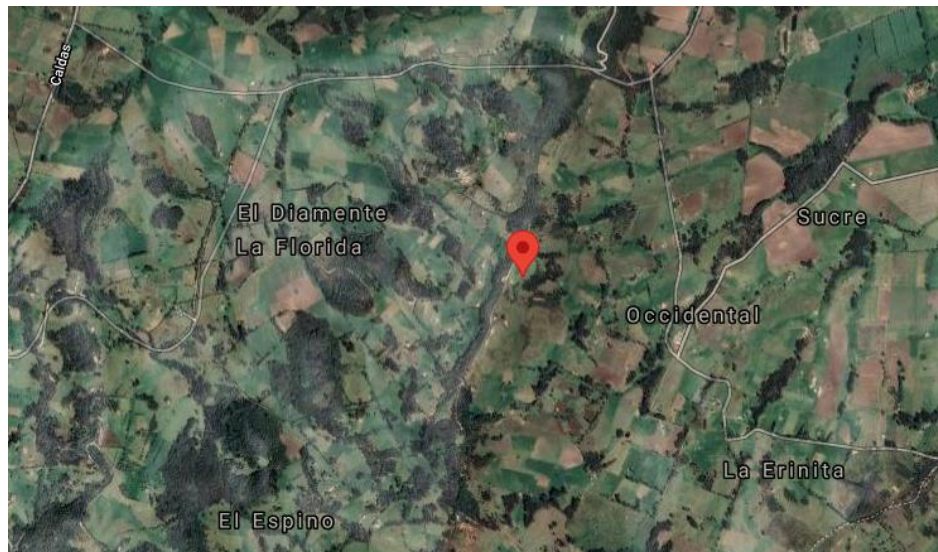
Municipio	Extensión urbana		Extensión rural		Extensión total	
	Extensión	Porcentaje	Extensión	Porcentaje	Extensión	Porcentaje
Chiquinquirá	14,62 km ²	10,99%	118,38 km ²	89,01%	133 km ²	100%

Nota. La tabla presenta los porcentajes de la extensión territorial y área de residencia para el 2011. Tomado de: Alcaldía de Chiquinquirá. Secretaria de desarrollo y bienestar social. 2013. [En línea]. https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/05/images_Documentos_ASIS_2013_ASIS-CHIQUINQUIR%C3%81-2013.pdf [Acceso: sep.21,2021].

En primera medida se analizará las condiciones de uno de los hogares de las familias que se benefician diariamente del recurso hídrico que les proporciona el aljibe y que de una manera muy amable acepto ser parte de este proyecto de investigación. A continuación, la figura 4 muestra la ubicación satelital de la casa.

Figura 4

Ubicación satelital de la casa de don Misael Ramírez



Nota. La figura representa la ubicación geográfica del lugar donde se llevó a cabo el proyecto investigación. Tomado de: Google Maps para acceder al lugar de investigación. [En línea]. <https://goo.gl/maps/ozIUuUgagvbwTMjh8> [Acceso: oct. 22,2021].

Chiquinquirá está localizada en el centro de dos importantes vías del país, una de ellas conecta desde Bogotá hasta Bucaramanga, y la otra, conecta el Occidente del municipio con el centro de este. En la figura anterior se evidencia que el lugar de investigación se encuentra totalmente en una zona rural dentro del corregimiento de Mariscal Sucre, donde las vías de acceso son limitadas. Para llegar hasta este lugar en carro solo existe una única vía de acceso, la cual se encuentra sin pavimentar y su trayecto es aproximadamente 10 km desde el Terminal de Transporte de Chiquinquirá.

La poca conectividad y las condiciones terrestres para acceder a estos hogares que se encuentran a lo largo de toda la vereda hacen que muchas de ellas no cuenten con una red de abastecimiento que les garantice condiciones seguras para el consumo de agua por lo que deben recurrir a sistemas de captación de agua para poder abastecerse diariamente de este recurso.

La figura 5 es una representación de uno de los muchos hogares que habitan en la zona rural del municipio, en ella se observa al señor Misael Ramírez, quien es un habitante de la vereda Sucre Occidental, él es una persona que a lo largo de los años aprendió diferentes métodos y técnicas para abastecerse de agua para las actividades básicas del día a día, ya que desde que se construyó su casa nunca ha habido una red de acueducto. Esta figura muestra el lugar de desarrollo e implementación del proyecto de investigación.

Figura 5

Lugar de desarrollo del proyecto.



Nota. La figura representa el hogar del señor Misael Ramírez donde se desarrolló el proyecto de investigación.

La forma en la que estas familias se abastecen de agua es gracias a implementación de diferentes sistemas de captación de agua. Primero, cuentan con un sistema de canaletas ubicadas en los tejados para recolectar toda el agua lluvia que sea posible en un tanque de almacenamiento, sin embargo, en la figura 6 y 7 se puede identificar que las condiciones de las canaletas no son las mejores; se encuentran deterioradas y oxidadas por el paso del tiempo y el poco mantenimiento que pueden ser causantes de la contaminación del recurso. Además, la construcción de esta casa se realizó hace 80 años y las tejas de ladrillo por las que corre el agua están sucias y no han sido lavadas en mucho tiempo, por lo que también se convierte en un factor de contaminación.

Figura 6

Red de canaletas



Nota. La figura representa la red de canaletas para la recolección de aguas lluvias

Figura 7

Red de canaletas



Nota. La figura representa la red de canaletas para la recolección de aguas lluvias

Las corrientes de la red de canaletas desembocan en un tanque de almacenamiento construido con bloque y cemento para recolectar el agua lluvia proveniente de las canaletas en los techados para su recolección y almacenamiento. Ver figura 8.

Figura 8

Tanque de almacenamiento



Nota. La figura representa el tanque de almacenamiento para las aguas lluvias.

Por las condiciones climatológicas del lugar es normal la presencia de lluvias a lo largo del año por lo que aprovechar este recurso a través de un sistema de captación de agua lluvia es una alternativa que les permite a las familias abastecerse de agua y cumplir con las actividades básicas del hogar. La figura 9 muestra uno de los usos que se le da a esta agua lluvia recolectada, donde se emplea para lavar la loza de la cocina que se ha utilizado durante el día. Otra de las actividades diarias, consiste en alimentar al ganado, la figura 10 es una representación gráfica de esta actividad, para lo cual también emplean el agua recolectada en el tanque de la figura 8 para esta actividad.

Figura 9

Lavado de cocina con el agua lluvia



Nota. La figura representa uno de los usos que se le da al agua lluvia recolectada.

Figura 10

Alimento del ganado con el agua lluvia



Nota. La figura representa uno de los usos que se le da al agua lluvia recolectada.

Estos factores y otras fuentes de contaminación hacen que el agua lluvia recolectada no sea apta para el consumo humano por lo que las familias deben recurrir a otra fuente hídrica para suplir esta necesidad.

En el desarrollo del capítulo dos de este documento, se mencionaron los pozos y aljibes como sistemas de captación de agua. A continuación, se hará un comparativo entre un pozo y un aljibe que se encuentran cercanos a lugar de investigación.

El diagnóstico físico inicial a través de los sentidos para el pozo, es que la calidad del agua es deficiente. Se evidencian una gran cantidad de materia orgánica y sólidos suspendidos, la turbiedad y el color del agua son oscuras (Figuras 11 y 12) por lo que el agua recolectada allí no se puede consumir directamente ya que podría ocasionar malestar, diarrea, fiebre entre otras.

Figura 11

Estado actual de un pozo



Nota. La figura representa las condiciones de un pozo aledaño al lugar de desarrollo del proyecto.

Figura 12

Estado actual de un pozo



Nota. La figura representa las condiciones de un pozo aledaño al lugar de desarrollo del proyecto.

El pozo representado en las figuras anteriores está construido al aire libre y está ubicado al respaldo de la casa del señor Misael, aproximadamente a unos 250 metros de distancia con un recorrido a través de un sendero montañoso, limitando su acceso únicamente a pie.

A diferencia de las condiciones de los pozos, en las figuras 13 y 14 se puede observar que el agua recolectada por el aljibe es mucho más limpia, su color y turbidez son bajos, dejando ver el interior. Al igual que los pozos también se observa materia orgánica y sólidos suspendidos en la superficie del aljibe, lo que representa una fuente de contaminación.

Figura 13

Estado del aljibe



Nota. La figura representa las condiciones de un aljibe aledaño al lugar de investigación.

Figura 14

Estado del aljibe



Nota. La figura representa las condiciones de un aljibe aledaño al lugar de investigación.

La selección del aljibe como fuente natural de agua será el sistema de captación con el que se realizará el proyecto de investigación. La figura 15 muestra la ubicación del aljibe extraída de Google Maps. En ella se evidencia que existe una distancia entre el aljibe y la casa donde se requiere el abastecimiento del agua, esta distancia es de aproximadamente 500 metros, lo que se convierte en una problemática para el suministro diario de agua para su consumo.

Figura 15

Ubicación del aljibe



Nota. La figura representa la ubicación geográfica del aljibe y su proximidad con el hogar que se abastece de él. Tomado de: Google Maps para ver la distancia entre el aljibe y el lugar de investigación. [En línea]. <https://goo.gl/maps/zesPz648Kjg67kuZ8> [Acceso: oct. 25,2021].

La geología del lugar es una dificultad al momento de obtener este recurso hídrico, ya el aljibe es un yacimiento de agua natural que brota desde el interior de la tierra por lo que su ubicación es única. Esto dificulta el proceso de abastecimiento y no permite que haya un flujo constante de agua en el hogar, por el contrario, la manera de abastecerse del agua del aljibe es a través de canecas y baldes que deben ser transportados a pie por las familias que lo necesitan.

Para este diagnóstico es necesario evaluar las condiciones en las que se encuentra el aljibe y sus alrededores, ya que el entorno que lo rodea puede ser una fuente de contaminación del recurso.

Como se aprecia en la figura 16 el aljibe está expuesto al aire libre, lo único que demarca su espacio es una cerca de alambre para evitar que el ganado de los alrededores se acerque hasta el agua. Sin embargo, esta cerca no proporciona ningún tipo de protección al aljibe por lo que el agua captada está expuesta a todo tipo de contaminación de sus

alrededores que son arrastradas por las corrientes de viento, introduciendo materia orgánica e inorgánica al agua disminuyendo su calidad.

Figura 16

Condiciones de estado del aljibe.



Nota. La figura representa las condiciones de un aljibe y sus alrededores.

El uso final del agua recolectada por el aljibe es únicamente para el consumo diario de las familias que lo utilizan, al ser tan escaso, se convierte en un recurso importante y sagrado para estas familias ya que es la única fuente de agua que poseen para consumir diariamente.

La figura 17 muestra la cocina del lugar de investigación que fue construida hace aproximadamente 80 años, normalmente allí acostumbra a cocinar con leña y es por esto por lo que las paredes se ven negras, a causa del hollín provocado por la quema de la madera. En este lugar y en estas condiciones es donde actualmente se almacena el agua recolectada en tanques de plástico, lo que también puede ser una fuente de contaminación.

Figura 17

Cocina de un hogar de la vereda.



Nota. La figura anterior muestra la cocina del lugar donde se llevó a cabo el proyecto de investigación.

El agua recogida en el aljibe es almacenada en tanques plásticos de diferentes volúmenes, la figura 18 muestra una de las canecas que tiene una capacidad de 55 galones, es decir, es capaz de almacenar alrededor de 208 litros de agua.

Figura 18

Tanque de almacenamiento de agua



Nota. La figura anterior muestra un tanque plástico de almacenamiento de agua con capacidad de 55 galones.

3.2 Consumo y demanda del agua

La frecuencia con que se realiza el proceso de abastecimiento dependerá de las necesidades y el consumo diario por parte de las familias que residen en la vereda Sucre Occidental.

En primer lugar, determinar el valor de la demanda dependerá de la metodología empleada para la medición, donde pueden ser a través de censos, encuestas o registros administrativos. Si la medición se desea realizar por medio de métodos estadísticos se presentan dos desventajas en esta metodología. La primera, es que no se dispone de un sistema de monitoreo sobre los volúmenes lo que no permite determinar esta demanda. La segunda desventaja, es que el acceso a esta información de censos es limitado más aun para estas zonas aledañas al casco urbano. [30]

La demanda de agua se puede estimar mediante el planteamiento establecido por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de las personas a ser beneficiadas en cada uno de los meses. (CEPIS 2005)

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Donde:

Di: demanda mensual (m³)

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona*día)

Este método requiere de una metodología con recolección de datos y la colaboración de las personas del lugar de desarrollo del proyecto donde se tuvo en cuenta el consumo de agua diario.

Para determinar la demanda, la figura 19 muestra una caneca con una capacidad de almacenamiento de 30 litros, la cual para comenzar con el análisis se llenará

completamente y con el transcurso del tiempo y su consumo, el volumen del agua disminuirá hasta acabar en su totalidad el volumen de agua en un determinado periodo, este análisis se realizó durante todo un mes, repitiendo el proceso anterior cada vez que se desocupe la caneca, con el fin de establecer la demanda mensual de la familia en cuestión.

Figura 19

Caneca plástica de 30 litros de volumen



Nota. La figura anterior representa la caneca con una capacidad de 30 litros empleada para el análisis de la demanda de agua.

Para este caso, se analizó el consumo y la demanda de agua en el hogar de don Misal Ramírez, un adulto mayor de 75 años, quien vive solo. El periodo de consumo total de los 30 litros fue de 5 días y los resultados se muestran calculados para este caso se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Datos demanda del agua

Recoleccion de datos 1	
Di (m3)	0,18
Nu	1
Nd	30
Dot	6

Nota. La tabla anterior representa los datos obtenidos para este caso de estudio.

Los resultados obtenidos para este primer caso de estudio nos muestran que la dotación para una sola persona con este consumo es de 6 litros en un día, lo que quiere decir, que la demanda mensual requerida para satisfacer este consumo es de 180 litros al mes.

$$Di = \frac{1 \text{ persona} * 30 \text{ dias} * 6 \frac{\text{litros}}{\text{persona} * \text{dia}}}{1000}$$

$$Di = 0,18 \text{ m}^3 = 180 \text{ litros}$$

Cabe resaltar que el volumen de agua que se analizo fue utilizado únicamente para las actividades diarias de consumo humano.

3.3 Toma de muestras

Una vez ubicado y seleccionado el aljibe con el que se realizara este proyecto de investigación se procede a tomar una muestra de agua con el fin de llevarla análisis en un laboratorio, donde a través de diferentes métodos y técnicas se evaluarán las condiciones iniciales del agua recolectada en el aljibe.

La toma de estas muestras se realizó bajo la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667, la cual brinda una «guía sobre las técnicas de muestreo utilizadas con el fin con el fin de obtener los datos necesarios para hacer el análisis con propósitos de control de calidad, caracterización de la calidad e identificación de fuentes de contaminación del agua”¹. Además, esta norma establece los principios para aplicar en las técnicas de muestreo de agua destinada al consumo humano. [31]

Para la recolección de las muestras que se desean analizar se utilizaron los siguientes materiales mostrados en la figura 20 para la recolección de la muestra del aljibe para su posterior análisis a nivel laboratorio.

Figura 20

Material completo para la recolección de muestras



Nota. La figura anterior muestra el material otorgado por el laboratorio para la recolección de muestras.

Debido a que el lugar de desarrollo del proyecto de investigación es en un lugar diferente a Bogotá, las muestras deben mantenerse refrigerada hasta el tiempo de entrega en el laboratorio, este tiempo no podrá superar las 24 horas posterior a la recolección de las muestras. Para ellos se dispone de una nevera capaz de mantener la temperatura baja gracias a los geles que disminuyen la temperatura de las muestras.

Para la caracterización inicial de proyecto y la satisfacción del primer objetivo, se recolectaron dos muestras de agua, la primera en una botella plástica con un volumen de un litro, este volumen de muestra será utilizado para realizar el análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua, adicional a esto, se requiere de un volumen de 300 ml dentro de una bolsa plástica para identificar los coliformes totales presentes y bacterias.

Inicialmente se tomaron dos muestras de agua (ver figura 21), una correspondiente a cada sistema de captación con el fin de observar sus características físicas a través de los sentidos para diferenciar la calidad de agua entre el uno y el otro.

Figura 21

Muestras de agua recolectadas.



Nota. La figura representa las muestras recolectadas de un pozo y de un aljibe en la vereda Sucre Occidental.

Se evidencia una marcada diferencia en las condiciones físicas entre cada uno de los sistemas de captación. La muestra del aljibe es mucho más limpia y transparente permitiendo ver a través de ella de manera clara, mientras que la muestra del pozo presenta una turbidez mucho mayor y su color tiene un aspecto oscuro, lo que se podría relacionar con una baja calidad del agua.

El lunes 13 de agosto de 2021 se realizó la recolección de la muestra sobre las 6 de la mañana, las condiciones atmosféricas eran buenas, cielo despejado y una temperatura atmosférica de 9°C. La muestra se recolectada en la figura 22 es una representación visual de las condiciones del agua recolectada por el aljibe.

Figura 22

Muestra recolectada en el aljibe

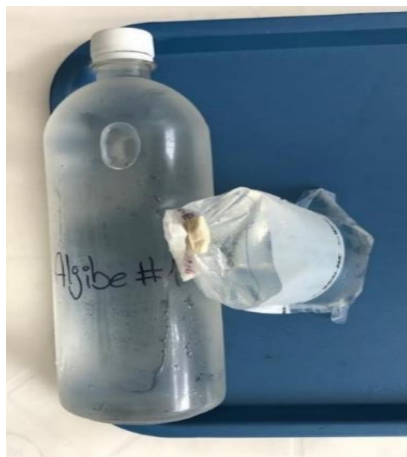


Nota. La figura anterior es la muestra recolectada en el aljibe.

En la figura 23 se aprecia el embotellado de la muestra que se desea analizar, en ella se puede apreciar un agua aparentemente de buena calidad en ciertos parámetros físicos, ya que la muestra es incolora e inodora.

Figura 23

Muestra recolectada para el análisis fisicoquímico y microbiológico.



Nota. La figura anterior es la muestra recolectada en el aljibe para su caracterización inicial.

Cabe mencionar que el material utilizado estaba completamente esterilizado y nunca había sido utilizado, por lo que se garantiza que no contiene ningún contaminante que pueda alterar los resultados de la muestra a analizar.

Controlar el nivel de la temperatura del agua es esencial para garantizar unos buenos resultados, ya que la temperatura es una propiedad que se relaciona directamente con la calidad del agua. Para asegurar que el nivel de la temperatura sea bajo, se utilizó un termómetro como el de la figura 24 para medir la temperatura de la muestra.

Figura 24

Termómetro para la temperatura del agua



Nota. La figura anterior muestra la medición de la temperatura de la muestra del agua.

Esta medición que se aprecia en la figura anterior se realizó 4 horas después de haber realizado la muestra. Esta medida de 5°C satisface el requerimiento de conservar las muestras a una baja temperatura y esto es gracias a los geles refrigerantes y a la nevera de icopor que fue capaz de conservar estas bajas temperaturas.

La entrega de las muestras se realizó a las 12:10 pm, es decir, 6 horas después de su recolección. De esta manera se concluye de manera satisfactoria la toma de las muestras para su análisis fisicoquímico y análisis microbiológico que serán analizadas a nivel laboratorio, evaluando 12 parámetros fisicoquímicos y 2 microbiológicos bajo los parámetros establecidos por la Resolución 2115 de 2007 para agua potable

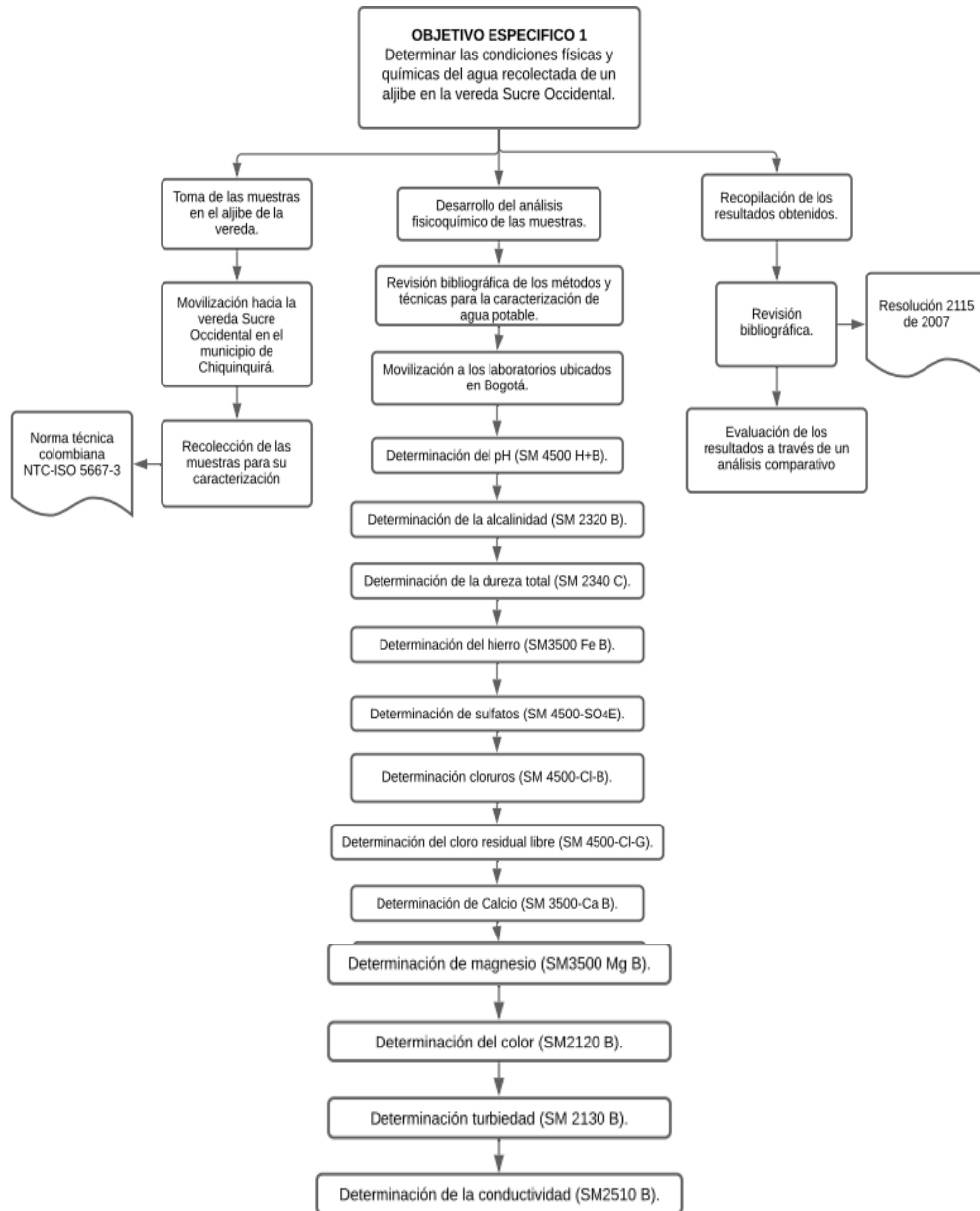
A continuación, se resume, la metodología seguida para la recolección de las muestras, teniendo en cuenta que el material utilizado debe estar completamente limpio y esterilizado para no afectar la caracterización del agua del aljibe.

1. Debido a la arquitectura del aljibe y que está expuesto al aire libre es fundamental tener en cuenta las condiciones meteorológicas al momento de tomar la muestra ya que este es un factor que afecta la toma y el análisis de las muestras. Por ejemplo, en épocas de lluvia la calidad del agua va a ser menor debido a que el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del aljibe aumenta su turbiedad debido al desprendimiento de material orgánico.
2. Con un balde tomar un volumen suficiente para satisfacer la cantidad requerida por el laboratorio, que para este caso es de aproximadamente 1,5 litros para el análisis fisicoquímico y microbiológico, ya que, si no se cuenta con el volumen especificado por el laboratorio, esto podría afectar el análisis de la muestra.
3. Una vez se tiene el volumen, se debe depositar directamente en los envases de la figura 20 (también puede ser una botella de agua potable comprada en un supermercado de 1 litro), posteriormente deben ser refrigerados de inmediato en la nevera de icopor que cuenta en su interior con unos geles refrigeradores con el fin de conservar una baja temperatura al momento de transportar las muestras hasta el laboratorio para no interferir en el análisis.
4. Asegurarse de completar en su totalidad el volumen de los envases plásticos y revisar no haya fugas en los envases ya que se perdería la muestra y no se podría analizar correctamente.
5. El análisis fisicoquímico y microbiológico se realiza a nivel laboratorio a través de métodos estándares donde se analizan 14 parámetros establecidos por la resolución colombiana 2115 de 2007 para el agua potable.

La figura 25 es un esquema de la metodología seguida para dar cumplimiento al primer objetivo de caracterización inicial del agua de aljibe en la vereda Sucre Occidental en Chiquinquirá, Boyacá. En la figura se clasifican los métodos y técnicas estandarizados para el análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua.

Figura 25

Diagrama de flujo primer objetivo



Nota. La figura anterior representa un diagrama de flujo para dar cumplimiento al primer objetivo de investigación.

3.4 Análisis de resultados

Los resultados que se muestran a continuación están regulados y reglamentados por la Resolución 2115 de 2007 la cual establece los parámetros y los límites permisibles que se deben cumplir para el agua potable.

El recuento de los coliformes presentes en la mezcla se realizó con un volumen de 300 cm³ y los resultados se evidencian en la tabla 8. La resolución establece que para el análisis microbiológico de fuentes de agua potable no deben tener ningún tipo de coliforme presente en su composición. En la muestra recolectada en el aljibe en este proyecto de investigación se cumple el parámetro para el recuento de E. Coli ya que no existe la presencia de esta bacteria en la muestra.

Por otra parte, el recuento de los coliformes totales arrojo un resultado de 26 unidades formadas de colonias en 100 cm³, lo que significa que es necesario su tratamiento hasta eliminar cualquier presencia de coliforme en el agua con el fin de evitar enfermedades en las personas que lo consuman.

Tabla 8

Resultados análisis microbiológico de la muestra recolectada

Descripción de la muestra	# LAB	Recuento Coliformes TotalesUFC/100 cm ³	Recuento E coliUFC/100 cm ³
AGUA DE ALJIBE #1	C1078	26	0
MINSALUD RESOLUCION 2115 22-JUN-07 AGUA POTABLE		0	0
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO		ISO 9308-1: 2014	ISO 9308-1: 2014

Nota. La tabla muestra los resultados de la caracterización microbiológica inicial de la muestra recolectada en el aljibe, en ella se analizan dos tipos de organismos patógenos representados por la cantidad de unidades formadoras de colonia, para la primera columna hace referencia a al recuento de los coliforme totales y la segunda a la bacteria E. coli. Tomado de: Nulab Laboratorio. Bogotá. 2021. [En línea]. <https://www.nulab.com.co/>

Adicional a estos resultados, el laboratorio determino que la temperatura de la muestra era de 1,3°C cuando se realizó el análisis.

Para el análisis y la caracterización inicial de las propiedades físicas y químicas de la muestra, se analizaron 12 parámetros y los límites permisibles se muestran a continuación. Ver tabla 9.

Tabla 9

Resultados análisis físico químico de la muestra recolectada

ANÁLISIS	RESULTADOS	PARÁMETRO
ALCALINIDAD TOTAL	19.50 mg CaCO ₃ /L	200 mg CaCO ₃ /L Máx.
CALCIO	12.40 mg Ca/L	60 mg Ca/L Máx.
CLORO RESIDUAL LIBRE	0.00 mg Cl ₂ /L	0.3 - 2.0 mg Cl ₂ /L
CLORUROS	4.75 mg Cl ⁻ /L	250 mg Cl ⁻ /L Máx.
COLOR	40 UPC	15 UPC Máx.
CONDUCTIVIDAD	117.1 µS/cm	1000 µS/cm Máx.
DUREZA TOTAL	38.00 mg CaCO ₃ /L	300 mg CaCO ₃ /L Máx.
HIERRO TOTAL	0.39 mg Fe/L	0.3 mg Fe/L Máx.
MAGNESIO	1.70 mg Mg/L	36 mg Mg/L Máx.
pH (20°C)	6.61 Unidades de pH	6.5 - 9.0 Unidades de pH
SULFATOS	33.90 mg SO ₄ 2- /L	250 mg SO ₄ 2- /L Máx.
TURBIEDAD	4.35 NTU	2 NTU Máx.

Nota. La tabla muestra los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas iniciales de la muestra recolectada en el aljibe donde los parámetros analizados son medidos basados en la concentración presente en mg por cada litro de muestra y el máximo está determinado por la resolución colombiana 2115 del año 2007. Tomado de: Nulab Laboratorio. Bogotá. 2021. [En línea]. <https://www.nulab.com.co/>

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la normatividad colombiana, y con los resultados de las tablas 8 y 9, se establece que para la muestra de agua recolectada no se cumplen los siguientes parámetros:

- **Color.** Esta propiedad está 25 UPC por encima del parámetro máximo.
- **Turbiedad.** Esta propiedad está 2,5 NTU por encima del parámetro máximo en la muestra recolectada.
- **Cloro residual libre.** No existe la presencia de cloro residual libre.
- **Hierro.** Esta propiedad está 0,09 mg Fe/L por encima del parámetro máximo.
- **Coliformes totales.** Dentro de la muestra se identificaron 26 UFC/cm³.

El desarrollo de este proyecto de investigación está fundamentado en cumplir los parámetros de la resolución 2115 de 2007 que está enfocada y establece unos límites para definir el filtrado como un agua potable. Se establece entonces que los planteamientos para el diseño del filtro tendrán como objetivo principal mejorar los parámetros que no se están cumpliendo con el único propósito de potabilizar el agua recolectada el aljibe a través de un proceso de filtración de lecho profundo para que pueda ser consumida de los habitantes de manera segura.

En conclusión, para este capítulo de diagnóstico, las pruebas realizadas a nivel laboratorio determinaron que no se cumple con: recuento de coliformes totales, para el análisis microbiológico. Para las propiedades físicas y químicas el color, la turbiedad, el cloro residual libre y el hierro no se cumplen, por lo que el planteamiento del diseño del filtro estará fundamentado y tendrá el objetivo principal de disminuir los valores de estas propiedades para poder garantizar que el agua que se va a consumir sea de buena calidad y que no va a provocar enfermedades en la población que la consume.

4. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO DEL FILTRO

En este capítulo se desarrolla el segundo objetivo específico de este proyecto de investigación, donde se plantea el diseño de un filtro para el tratamiento del agua recolectada en el aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental en el municipio de Chiquinquirá.

El punto de partida para el planteamiento del filtro son los resultados obtenidos de la caracterización inicial donde el objetivo principal del filtro será reducir estos valores por debajo del límite establecido en la resolución 2115 de 2007. Por lo tanto, el planteamiento propuesto en este capítulo estará enfocado en reducir los parámetros fisicoquímicos del color, turbiedad, hierro total, cloro residual libre y para los parámetros microbiológicos deberá reducir el recuento total de los coliformes totales presente en el agua recolectada por el aljibe.

Una vez establecidos los parámetros que se desean reducir, se realiza una búsqueda bibliográfica donde se estudie el comportamiento de estos parámetros dentro del agua e identificar que métodos y técnicas son empleados para reducir su concentración a través del tratamiento de aguas. Debido a la calidad del agua, la técnica de la filtración será la operación unitaria aplicada como tratamiento primario para hacer del agua del aljibe lo más apta posible para consumo humano.

Teniendo en cuenta la demanda de agua calculada en el capítulo 3 se planteará un diseño acorde al área necesaria para filtrar un volumen determinado que pueda cumplir con las necesidades de agua de población que participa en el proyecto de investigación. La selección de los lechos filtrantes serán aquellos capaces de remover los parámetros identificados y que presenten una mayor eficiencia para este proyecto de investigación partiendo de los resultados de la caracterización inicial.

Una de las problemáticas principales de la vereda Sucre Occidental de Chiquinquirá es que muchos hogares no cuentan con una red de suministro de agua potable, es decir, no cuentan con un sistema de tuberías ni de bombeo que les provea un flujo constante de agua potable. Es por tal motivo que utilizan el agua recolectada por el aljibe para ser consumida con los habitantes de la vereda.

4.1 Propuestas de diseño

Para determinar la ruta a seguir para la remoción de contaminantes es necesario hacer un diagnóstico de las condiciones iniciales del agua recolectada por el aljibe, ya que dependiendo de la calidad del agua y del grado de contaminación de esta se aplicará cierto tipo proceso de separación que nos garantice una remoción de los contaminantes presentes.

Los resultados de la caracterización inicial nos muestran la presencia de bacterias a través del recuento de las unidades formadas por colonia, la figura 36 establece que los medios granulares son aplicables como proceso de separación operando con la gravedad. Tanto el color como la turbiedad son dos parámetros que están por encima de los establecido por la Resolución 2115 de 2007, la alteración de estos dos parámetros se atribuye a la presencia de materia orgánica y sólidos en suspensión con un tamaño de partícula entre 10 a 1000 que a su vez puede ser separada a través de medios granulares. [32]

Todos los diseños presentados en esta sección tienen el objetivo principal de mejorar la calidad del agua recolectada por el aljibe, a pesar de que todos los diseños tienen el mismo objetivo cada una de estas propuestas tienen una característica que lo diferencia de los otros diseños, bien sea en los lechos filtrantes seleccionados o en la combinación de las diferentes condiciones de operación para cada diseño.

A través de este planteamiento se pretende tener una idea clara de los diferentes diseños y los componentes del filtro necesarios para el tratamiento primario del agua.

Debido a que no se cuenta con una red distribución del agua, no existe un flujo constante que entre en el filtro que nos permita determinar el caudal en un determinado tiempo. Por el contrario, el flujo del agua está definido y se debe verter de forma manual en la parte alta de la filtración para que el fluido descienda, siendo la gravedad, la fuerza impulsora para todos los planteamientos. Adicionalmente, la velocidad de filtración dependerá de la interacción entre el fluido y los diferentes lechos filtrantes, ya que se manejará el mismo volumen dentro del misma área de filtración.

Una de las principales características del diseño del filtro es la profundidad, ya que se tendrá en cuenta un diseño multicapa de flujo descendente, por lo tanto, la forma inicial del contenedor deberá ser en forma de cilindro vertical para ordenar los lechos filtrantes de manera en que el tamaño de partícula de los lechos filtrantes sea de forma descendente, es decir, que en la parte superior del filtro estén los materiales de mayor dimensión hasta llegar a las partículas más finas donde se retienen las partículas más pequeñas que están afectando la calidad del agua. Se considera 3 capas granulares mínimas, adicional a la capa de grava de soporte. [33]

Se propone el diseño de un plato difusor en la parte superior del filtro para tener el primer contacto con el flujo del agua cruda. La figura 26 muestra que el difusor contara con unos agujeros sobre toda la superficie con el fin de distribuir el flujo de agua cruda que entra al filtro de manera uniforme sobre el área del primer lecho filtrante.

Figura 26

Plato difusor



Nota. La figura anterior muestra el plato difusor de la parte superior del filtro.

El algodón blanco será uno de los materiales en común entre las diferentes propuestas de diseño del filtro; su posición es en la parte inferior antes de la salida del filtrado, el algodón actuara como una última capa de filtración reteniendo las partículas, además servirá como una capa que soporte de los demás lechos filtrantes.

Se consideran fundamentales en todos los planteamientos el uso de la grava como soporte del filtro, al ser el material más pesado por su tamaño de partícula,

adicionalmente la grava fina es un lecho filtrante que se implementará en todos los planteamientos y siempre será la segunda capa de manera descendente desde que el agua cruda ingresa por la parte superior del filtro.

Cada uno de los planteamientos presentados a continuación tiene el objetivo principal de reducir los parámetros del color, turbiedad, hierro y los coliformes totales presentes en el agua del aljibe en la Vereda Sucre Occidental a través de una filtración de lecho profundo, en esta sección se pretende proponer diferentes planteamientos, cada uno de ellos con una configuración diferente en el orden de los lechos filtrantes.

Inicialmente, para todos los planteamientos se propone un diseño donde todas las capas filtrantes sean uniformes una respecto a la otra, esto con el fin de hacer un análisis comparativo entre todos los diseños manteniendo constante la variable del grosor de las capas, con el desarrollo de estos planteamientos se busca identificar cuál de las configuraciones presenta unos resultados óptimos mejorando la calidad del agua filtrada. Cada diseño se evaluará por triplicado y se hará la recolección de los datos para su posterior análisis.

4.1.1 Planteamiento filtro #1. – Filtro con carbón activado granulado

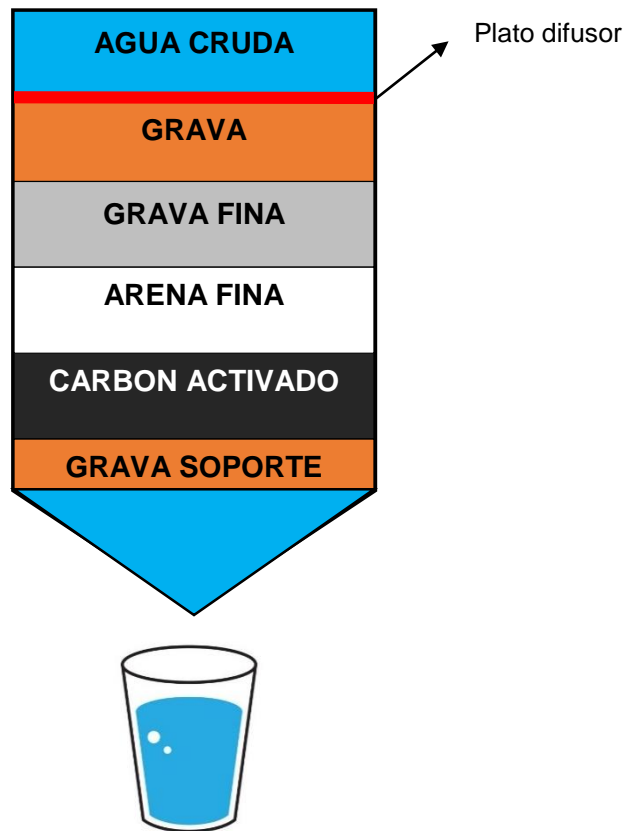
Los filtros de carbón activado están basados en el mismo fundamento de los filtros con arena, la diferencia radica en la configuración de los lechos filtrantes y en las aplicaciones ya que los filtros de carbón activado se diseñan porque tiene la particularidad de atraer, capturar y romper moléculas presentes en la muestra de agua, se implementa para retener sustancias no polares, sustancias generadoras de malos olores y sabores, microorganismos, herbicidas, pesticidas entre otros, y sin alterar la composición del agua. [24]. La durabilidad del carbón activado dependerá de la calidad del producto, así mismo de la calidad del agua, y tiene la característica de tener una alta dureza presentando una mayor resistencia a la erosión.

Siguiendo el orden de llenado posterior a la capa de soporte de grava, se adiciona la capa carbón activado, el propósito de ubicar esta capa en este orden se debe a que el primer efecto de este planteamiento es retener las partículas de mayor tamaño en los lechos de grava y grava fina (parte superior del filtro), a medida que el flujo desciende,

en el momento que el agua toca la capa de carbón activado se espera que la mayoría de los sólidos en suspensión hayan sido removidos en la profundidad de los lechos previos. Por lo tanto, el carbón activado se encarga de la remoción de compuestos orgánicos de cadena larga como los fenoles, colorantes o derivados aromáticos. [34] La figura 27 evidencia el esquema del primer planteamiento.

Figura 27

Esquema planteamiento #1



Nota. La figura anterior es el esquema planteado para el primer diseño.

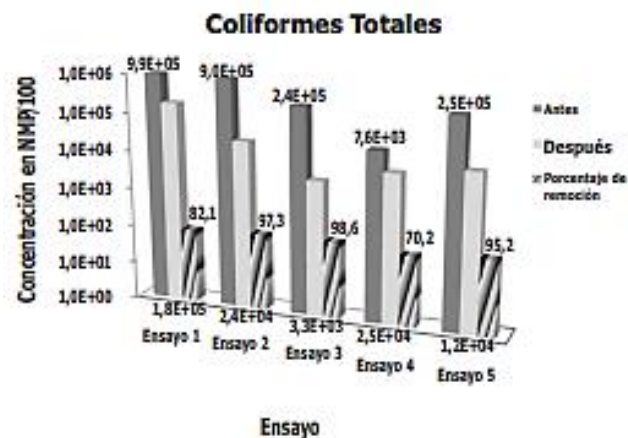
4.1.2 Planteamiento filtro #2 – Filtro con Zeolita

Teniendo en cuenta que uno de los parámetros que no se están cumpliendo en los parámetros admitidos por la Resolución 2115 de 2007, son los coliformes totales, con una concentración de 26 UFC/100cm³.

A través de una revisión bibliográfica, se establece que el uso de la zeolita por su capacidad adsorbente tiene la capacidad para remover microorganismos patógenos, coliformes totales y fecales. Una investigación fue desarrollada en Medellín, Colombia donde se evalúa y se identifica una alta remoción, además, este porcentaje de remoción es independiente de la concentración inicial a la entrada del filtro. La eficiencia de los filtros se evalúa a través de 5 ensayos en condiciones controladas de laboratorio compuesto por una batería de filtros, primero un flujo descendente seguido por un flujo ascendente. Los resultados se evidencian en la figura 28 donde se concluye que en todos los ensayos se presenta un 70% de remoción. [35]

Figura 28

Concentración de coliformes totales



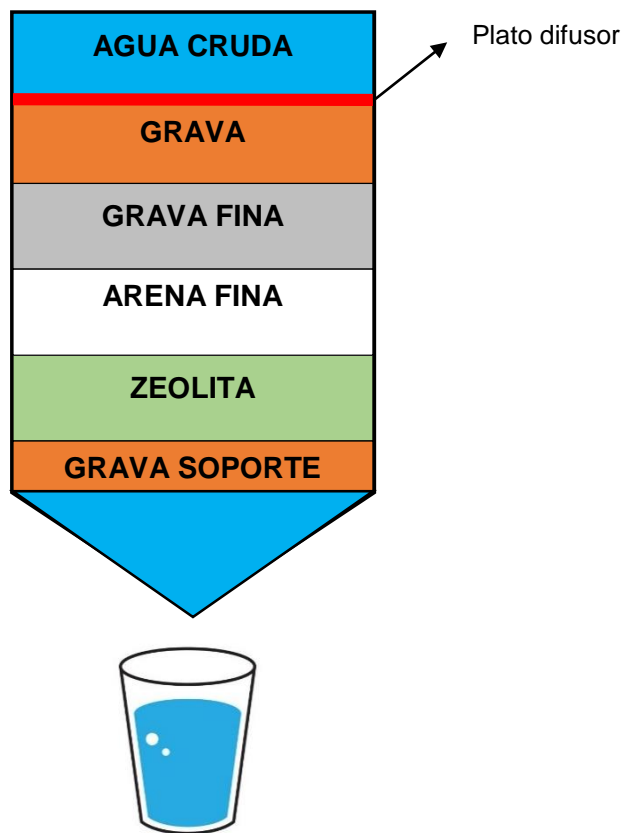
Nota. La figura anterior muestra la eficiencia de la batería de filtros para la remoción de coliformes totales obtenidos de 5 ensayos. Tomado de: Acevedo Cifuentes, Diana Rocío, Builes Felizzola, Sandra Milena, Ordoñez Ante, Carlos Andrés, & López Sánchez, Idalia Jacqueline. (2012). Remoción de microorganismos patógenos presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio empleando filtros empacados en zeolita natural. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. [En línea]. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242012000200004&script=sci_abstract&lng=es. [Acceso: oct.30.2021]

La aplicación de un filtro de zeolita para la potabilización del agua a nivel domiciliario es un trabajo de investigación donde se lleva a cabo el diseño de un filtro con Zeolita. Dentro del desarrollo experimental propuesto, el autor propone una capa de grava de soporte con un ancho de 2,5 cm, seguida por la capa de la zeolita con un espesor de 10 cm. [25]

La figura 29 establece el esquema para el segundo planteamiento, donde se destaca el uso de la zeolita.

Figura 29

Esquema planteamiento #2



Nota. La figura anterior es el esquema planteado para el segundo diseño.

4.1.3 Planteamiento filtro #3

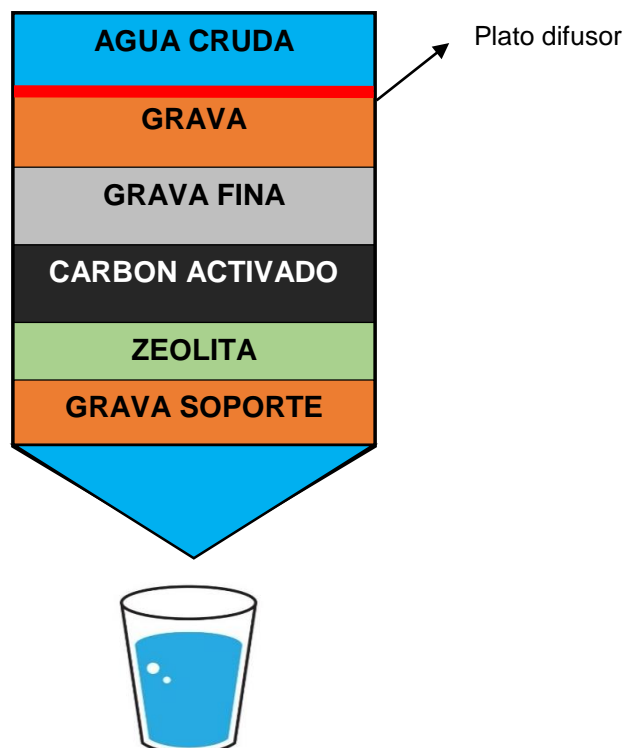
Teniendo en cuenta las propiedades y las ventajas mencionadas anteriormente atribuidas al carbón activado y a la zeolita como lechos filtrantes en los procesos de tratamiento de aguas, se destaca la remoción de patógenos, coliformes totales, color, sabor y olor.

Si cada lecho tiene la capacidad individual de un porcentaje de remoción, a través de este tercer planteamiento se busca aumentar la eficiencia implementando el uso de ambos materiales en el filtro multicapa.

Otra característica dentro de las condiciones de operación de este planteamiento es que no se considera el uso de la arena fina, es decir, estará conformado por los dos tipos de grava, seguidos por la capa de carbón activado granular de 2 mm y por último el uso de la zeolita. Ver figura 30.

Figura 30

Esquema planteamiento #3



Nota. La figura anterior es el esquema planteado para el tercer diseño.

Un cuarto planteamiento será presentado en el siguiente capítulo fundamentado en los resultados obtenidos por los planteamientos presentados anteriormente.

5. DESARROLLO Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

En esta sección del documento se llevará a cabo la evaluación experimental de las propuestas planteadas en el capítulo anterior donde se evaluaron e identificaron los lechos filtrantes aptos para reducir los parámetros que no se están cumpliendo en la resolución 2115 de 2007 teniendo en cuenta las dimensiones y el área efectiva de filtración para satisfacer con la demanda de la población en cuestión.

Con la selección previa de los medios filtrantes, para empezar el desarrollo experimental del filtro se inicia el proceso con la compra de los siguientes materiales: arena fina, grava fina, carbón granular activado, zeolita y por último la grava. Los materiales anteriores son los lechos filtrantes seleccionados ya que teóricamente tienen la capacidad de reducir los parámetros que no se están cumpliendo gracias a su porosidad interna y a su acción de adsorción. Además de los lechos filtrantes, también es necesario la compra de un contenedor plástico.

Para garantizar un adecuado desarrollo experimental y obtener unos resultados confiables, se procede a lavar con agua todos los materiales comprados para remover todo tipo de contaminación que contengan y posteriormente se secan para ser utilizados en el proceso la filtración.

En el capítulo anterior, se plantearon 3 diferentes diseños de filtros cada uno con unas configuraciones diferentes en la posición de lechos filtrantes única para cada modelo de filtración. Una vez el material ha sido descontaminado debidamente se llevó a cabo el diseño de los 3 modelos planteados.

El proceso de filtración se realizó por triplicado para cada modelo propuesto midiendo el tiempo que tarda en filtrar un volumen determinado con el fin de calcular la eficiencia del filtro, teniendo en cuenta que cada modelo cuenta con medios filtrantes diferentes.

5.1 Materiales

La compra de los materiales está basada en la revisión bibliográfica y en los análisis que se realizaron en el capítulo 4 donde se identificaron una serie de materiales filtrantes que

tienen la capacidad de mejorar la calidad del agua a través de una filtración de lecho profundo.

La materia prima serán los lechos filtrantes seleccionados y en peso, se compraron 2 kg de cada uno.

5.1.1 Arena Fina

La arena seleccionada es de color blanco con un tamaño de partícula menor a 0,5 mm lo que la hace el material más fino del proceso de filtración.

Figura 31

Arena fina



Nota. La figura anterior muestra uno de los lechos filtrantes seleccionado.

5.1.2 Grava fina

La grava fina es el segundo medio filtrante con mayor tamaño entre todos los materiales, su color es blanco y tiene unos tamaños de partícula comprendidos entre 2 a 6 mm.

Figura 32

Grava fina



Nota. La figura anterior muestra uno de los lechos filtrantes seleccionado.

5.1.3 Grava

La grava seleccionada tiene el mayor tamaño de partícula entre todos los lechos filtrantes seleccionados, de 8 mm a 15 mm, este actuará como soporte y como la primera capa de lecho filtrante en la parte inferior. En la parte superior del filtro la grava también es necesaria ya que actúa como el primer medio filtrante reteniendo los sólidos en suspensión y materia orgánica de mayor tamaño.

Figura 33

Grava



Nota. La figura anterior muestra uno de los lechos filtrantes seleccionado.

5.1.4 Carbón activado granulado

El carbón activado es uno de los materiales con mayor capacidad de remoción de contaminantes gracias a la activación química que le permite adsorber con una mayor eficiencia los contaminantes que reducen la calidad del agua. Para ellos se compraron dos tipos diferentes de carbón activado granular, cada uno de un proveedor diferente y con un tamaño de partícula diferente. En el primer caso, figura 34, el carbón activado tiene un tamaño de partícula de entre 1 a 2 mm, y el proveedor es El alquimista, debido a su tamaño de partícula se evidencia una gran cantidad de polvillo negro en su interior.

El segundo proveedor es La leñería [36], que comercializan un carbón activado granular de mayor tamaño, entre los 4 y 5 mm. Ver figura 35. A diferencia del anterior carbón activado granular, este no genera tanto polvillo en su interior.

Figura 34

Carbón activado granulado 2 mm



Nota. La figura anterior muestra uno de los lechos filtrantes seleccionados.

Figura 35

Carbón activado granulado 4 mm



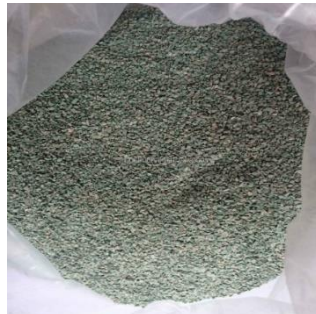
Nota. La figura anterior muestra uno de los lechos filtrantes seleccionados.

5.1.5 Zeolita

El proveedor de este material es la Leñería, el cual vende la zeolita como un sustrato mineral modificado para ser utilizado en la adsorción catiónica de metales pesados, con la capacidad de filtrar partículas con un tamaño de 5 micras con una tasa de filtración de 2,4 m³/h. [36]

Figura 36

Zeolita



Nota. La figura anterior muestra uno de los lechos filtrantes seleccionados.

5.1.6 Contenedor plástico

Se hace la selección de un contenedor plástico ya que es un material fácil de manejar, liviano y a un costo bajo. Este contenedor permitirá organizar los lechos filtrantes en su interior de la manera planteada por cada diseño.

Figura 37
Contenedor plástico



Nota. La figura anterior muestra un contenedor plástico de 5 litros.

5.1.7 Material esterilización

El mantener limpio todo el material es necesario para reducir cualquier fuente externa de contaminación al proceso de la filtración; el objetivo es mejorar la calidad del agua, y como hay un contacto directo entre el volumen del agua que se desea filtrar y los materiales utilizados, el proceso requiere que todo esté debidamente descontaminado.

Figura 38
Material esterilización



Nota. La figura anterior muestra algodón blanco y alcohol antiséptico al 70%.

5.2 Metodología

La selección de estos materiales se escogieron de manera teórica gracias a una revisión bibliográfica basados en los resultados obtenidos en el capítulo de diagnóstico y a través de los diferentes planteamientos se busca determinar los factores de operabilidad y las mejores condiciones y configuraciones para logara potabilizar el agua del aljibe en la vereda Sucre Occidental. Gracias a esta evaluación experimental es que se establece que medios filtrantes son mejores y cuál es la cantidad que representa los resultados óptimos.

Para garantizar unos resultados confiables, lo primero que se debe de hacer es lavar todos los materiales adquiridos para el diseño del filtro. Al ser materiales rocosos es normal que contengan polvo en el interior de la bolsa donde es empaquetado, como se evidenciaba en la figura 34 correspondiente; esto afectaría la calidad del agua filtrada disminuyendo la calidad del agua, convirtiéndose en una fuente externa de contaminación.

Para el lavado de los lechos filtrantes se depositaron los 2 kg en una olla metálica con agua para ser lavados. Ver figura 39.

Figura 39

Lavado de los lechos filtrantes



Nota. La figura anterior muestra el lavado de los lechos filtrantes.

La figura 40 ratifica la necesidad de una limpieza y lavado del material adquirido, ya que como se observa en la figura el agua de lavado de la figura 39 quedo completamente turbia impidiendo que el material sea visible a través del agua, además, se evidencian sólidos en suspensión que podrían desviar los resultados.

Este proceso de lavado se repitió hasta 5 veces con algunos lechos filtrantes hasta que el agua de lavado quedara limpia y se pudiera ver a través de ella.

Figura 40

Lavado de los lechos filtrantes



Nota. La figura anterior muestra un alto grado de contaminación del agua de lavado tras someter el lecho filtrante a un primer lavado.

Una vez finalizada la etapa de lavado, todos los materiales son expuestos a la luz solar con el fin de secar el material y de alguna manera seguir limpiando el material ya que la radiación solar tiene la capacidad de matar microorganismos, mohos y hongos. [37]. Ver figura 41.

Durante todo el proceso del desarrollo experimental de este proyecto de investigación se tuvo en cuenta a la población que se beneficiaría, con el fin de transmitirles y enseñarles ciertos conceptos y el fundamento de los procesos que se están aplicando para mejorar la calidad del agua recolectada por el aljibe para que pueda ser consumida de manera segura.

Figura 41

Secado de los materiales



Nota. La figura anterior muestra el proceso de secado de los materiales con la ayuda de la energía de la radiación solar.

Transcurrieron alrededor de 4 a 5 horas para concluir el proceso de secado y continuar con el del diseño de los diferentes planteamientos propuestos en el capítulo 4. Cada uno de estos modelos se construirá y serán para ser sometidos a prueba para evaluar su comportamiento, teniendo en cuenta parámetros físicos del filtrado como el color y la turbiedad final, y los tiempos de filtración para cada caso.

Para ello, se dispuso de un contenedor plástico de un 1 litro de volumen para diseñar cada uno de los planteamientos, cabe resaltar que cada uno de los diseños también cuenta con un plato difusor como el de la figura 26 para distribuir de manera uniforme el volumen del agua.

Cada uno de los 3 planteamientos desarrollados en esta sección cuentan con una capa de algodón en la parte inferior del filtro convirtiéndose en la última capa de contacto de todo el lecho profundo de filtración. Ver figura 42.

Figura 42

Capa de algodón



Nota. La figura anterior muestra una capa de algodón justo en la parte final a la salida del efluente.

Posteriormente a la capa de algodón, la figura 43 evidencia lo que sería la primera capa del filtro que corresponde a la capa de grava que servirá como soporte de todo el filtro gracias al peso que generan sus partículas de gran tamaño.

Figura 43

Capa de soporte



Nota. La figura anterior muestra la capa grava que sirve como soporte del filtro.

A continuación, se describirá la metodología seguida para cada planteamiento propuesto, donde los primeros planteamientos están diseñados para implementar un lecho filtrante característico, y el último planteamiento es una combinación de los lechos filtrantes utilizados en los primeros planteamientos.

5.1.1 Planteamiento filtro #1 → Filtro con carbón activado

El uso del carbón activado es la principal característica de diseño de este planteamiento. Para continuar con el proceso de llenado, posterior a la capa de grava de soporte, se adiciona el carbón activado hasta una altura de 5 cm seguida por una capa de arena fina con la misma altura.

Seguida a estas dos capas, se dispone la siguiente capa, donde el tamaño de partícula aumenta con el ingreso de la grava fina que posteriormente será cubierta por el último lecho filtrante, la grava. La figura 44 muestra el diseño final planteado para este primer filtro.

Figura 44

Diseño primer filtro



Nota. La figura anterior muestra el primer diseño planteado.

5.1.2 Planteamiento filtro #2 → Filtro con zeolita

El segundo filtro se desarrolla siguiendo la misma metodología que para el primer diseño, la única diferencia es que el lecho característico para este planteamiento es la zeolita, es decir en vez de usar carbón activado, se usara zeolita.

Figura 45

Diseño segundo filtro



Nota. La figura anterior muestra el segundo diseño planteado.

5.1.3 Planteamiento filtro #3

El diseño de este tercer filtro está planteado para ser una propuesta entre los dos anteriores diseños utilizando al mismo tiempo la zeolita y el carbón activado granular de 2 mm. Al igual que los anteriores dos diseños, el tercer filtro cuenta con 4 principales lechos filtrantes, donde primero está la zeolita seguida por la capa del carbón activado granular. Como se evidencia en la figura 46 la arena fina fue removida para este diseño.

Figura 46

Diseño tercer filtro



Nota. La figura anterior muestra el tercer diseño planteado.

5.2 Tiempos de filtración

Cada planteamiento se sometió a prueba filtrando un volumen de 300 ml de una muestra recolectada por el aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental de Chiquinquirá.

El proceso se ciclo 3 veces y con el ayuda de un cronometro se midió el tiempo que tarda el proceso de filtración desde que el agua cruda entra en contacto con el plato difusor hasta que se obtiene el filtrado en la parte baja a la salida del filtro.

5.3.1 Planteamiento filtro #1 → Filtro con carbón activado

Los tiempos de filtración para este primer caso se muestran en la tabla 10, donde se encuentra un tiempo promedio de filtración de 2:27,6 minutos en filtrar un volumen de 300 ml de la muestra a través de los materiales filtrantes.

Tabla 10

Resultados filtro #1

Filtro #1	
Ciclo	Tiempo (min)
1	02:26,4
2	02:25,7
3	02:32,8

Nota. La tabla anterior contiene tiempos medidos en minutos para cada ciclo.

Teniendo en cuenta, que el volumen filtrado para los planteamientos experimentales es de 300 ml y con los tiempos medidos es posible calcular el caudal, dividiendo el volumen entre el tiempo promedio.

$$Q = \frac{0,3 \text{ litros}}{2,27 \text{ min}} = 0,132 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

es decir, que este primer filtro tiene un caudal de 0,132 l/min.

Adicionalmente, también es pertinente calcular la velocidad de filtración a partir de la siguiente ecuación, que relaciona el diferencial del volumen junto con el área superficial del filtro respecto al cambio en el tiempo [38] :

$$w = \frac{dV}{S * dT}$$

Donde:

W = Velocidad de filtración en m/s

V = Volumen filtrado en m³

S = área superficial en m²

T = tiempo de filtración en segundo

Para el determinar la velocidad de filtración es necesario calcular el área superficial con el dimensionamiento del contenedor plástico usado para la primera parte del desarrollo experimental

Para el cálculo del área, se considera el contenedor plástico como un cilindro, y se calcula teniendo en cuenta el radio y la longitud.

$$S = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

Donde:

r = Radio del contenedor plástico (cm)

h = Longitud del contenedor plástico (cm)

S = área superficial en cm^2

Las dimensiones del contenedor plástico es la misma para los 4 planteamientos, con una longitud de 19,6 cm y un radio de 4 cm. El área superficial del contenedor plástico utilizado es:

$$S = 2\pi * 4cm * 19,6 cm + 2\pi(4cm)^2$$

$$S = 593,13 cm^2$$

Con el área es posible continuar con el cálculo de la velocidad de filtración.

$$w = \frac{0,0003 m^3}{0,059 m^2 * 147 s} = 3,45 * 10^{-5} \frac{m}{s}$$

5.4.2 Planteamiento filtro #2 → Filtro con zeolita

Esta segunda filtración tiene un tiempo promedio de 1,26 minutos, es decir que, en menos de dos minutos, el planteamiento #2 es capaz de completar el proceso de filtración, lo que se atribuye a la eficiencia de la zeolita como lecho característico de este planteamiento.

Tabla 11

Resultados filtro #2

Filtro #2	
Ciclo	Tiempo (min)
1	01:23,6
2	01:31,0
3	01:26,3

Nota. La tabla anterior contiene tiempos medidos en minutos para cada ciclo.

Es de esperarse que el caudal para este planteamiento sea mucho mayor que el anterior.

$$Q = \frac{0,3 \text{ litros}}{1,26 \text{ min}} = 0,238 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Para el primer caso, el carbón activado granular de 2 mm incremento el tiempo de filtración debido a la interacción que hay entre la superficie del lecho filtrante y los sólidos en suspensión de la muestra recolectada. Este segundo planteamiento tiene entonces una velocidad de filtración más rápida que la anterior, lo que le permite filtrar un mayor volumen de agua cruda a una velocidad de $5,9 \times 10^{-5}$ m/s.

$$w = \frac{0,0003 \text{ m}^3}{0,059 \text{ m}^2 * 86 \text{ s}} = 5,91 * 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5.4.3 Planteamiento filtro #3

El tercer diseño tiene en cuenta los dos lechos filtrantes anteriores, zeolita y carbón activado granular, el cual fue sometido a prueba y tardo alrededor de 5 minutos en recoger el filtrado. Para este caso no se continuaron con los ciclos, ya que el primer filtrado aumentó su coloración y turbiedad hasta un color aparente casi negro por lo que no se consideró pertinente repetir el proceso de filtración, ya que de alguna manera se está afectando los parámetros de la calidad del agua, además de presentar el tiempo de filtración más elevado, convirtiéndose en el planteamiento más ineficiente.

Tabla 12

Resultados filtro #3

Filtro #3	
Ciclo	Tiempo (min)
1	04:31,5
2	N/A
3	N/A

Nota. La tabla anterior contiene tiempos medidos en minutos para cada ciclo.

En vez de realizar los siguientes dos ciclos, se considera pertinente analizar las condiciones de operación para identificar el porqué de los resultados obtenidos en el tercer planteamiento a través de un análisis de los factores de operabilidad que pueden estar afectando los resultados en el filtrado con un nuevo planteamiento para evaluar estos parámetros y tomar decisiones.

5.3 Análisis para la selección del sistema de filtración

Hasta este punto ya se determinaron las condiciones iniciales del aljibe a través de la caracterización con los métodos y pruebas fisicoquímicas y análisis microbiológico, basado en los resultados obtenidos se plantearon 4 diseños diferentes con el fin de reducir los parámetros que no se están cumpliendo en la Resolución 2115 de 2007 para mejorar la calidad del agua para ser consumida por la población de la vereda.

Previo a la selección de las condiciones de operación para el diseño final que se llevara a cabo, primero se desea evaluar los resultados obtenidos por el diseño 3. (Ver figura 47). Teóricamente este diseño debía dar unos resultados óptimos mejorando la calidad del agua ya que al combinar dos lechos que tienen la capacidad de remoción de contaminantes, se espera que la eficiencia de filtración sea mejor que los anteriores planteamientos que solo implementaban uno de los dos en su diseño.

Figura 47

Resultados planteamiento #3



Nota. La figura anterior representa los resultados del filtrado para el tercer diseño.

Dentro de las condiciones de operación del planteamiento 3 se destacan dos variables que pueden estar afectando los resultados obtenidos tras el proceso de la filtración. La primera, es que en este planteamiento no se considera el uso de la arena fina a lo largo del lecho multicapa. La otra variable, es la configuración y el posicionamiento de los lechos filtrantes. El esquema del primer planteamiento posiciona al carbón activado como última capa en la parte inferior, sin tener en cuenta la capa de soporte de grava mientras para el planteamiento 3 el carbón activado se posiciona después de la zeolita, es decir en la parte más baja se encuentra la capa de zeolita y encima el carbón activado granulado.

Por lo tanto, se desea evaluar la influencia de la arena fina y el carbón activado dentro del proceso de filtración. Estas dos variables se evalúan en el primer planteamiento dando resultados favorables, por lo tanto, se plantea un esquema diferente cambiando la posición del carbón activado granular de 2 mm. A través de estas nuevas condiciones se quiere evaluar la influencia del ancho de la capa del carbón activado, donde se considera un grosor del doble respecto a las otras capas y se posicionara encima de la arena fina.

Para analizar la influencia del grosor de la capa del carbón activado es necesario cambiar el contenedor por uno de mayor tamaño que nos permita doblar su grosor, estableciendo para este diseño un grosor de alrededor de 10 cm. Las dimensiones del nuevo contenedor 0,27 m y 0,0716 m para el radio. Cabe mencionar, que al igual que todos los planteamientos este diseño también cuenta con una capa de soporte de grava, y en la parte superior cuenta con su respectivo plato difusor seguidos por las dos capas de grava. Ver figura 48.

Figura 48

Diseño filtro adicional de carbón activado.



Nota. La figura anterior es el esquema planteado para el primer diseño.

Los resultados obtenidos por este filtro se muestran en la figura 49, en ella se observa que el agua filtrada sale con una pigmentación y una coloración negra haciendo que visualmente se vea sucia y contaminada.

Figura 49

Resultados agua filtrada



Nota. La figura anterior muestra los resultados del agua filtrada por el filtro adicional con una capa de 10 cm de carbón activado encima de una capa de arena fina.

En cuanto a sabor y olor el agua filtrada presenta las mismas características que la muestra patrón.

Con el fin de evaluar la eficiencia del diseño planteado, el proceso se replicó 3 veces. Las nuevas condiciones de operación con las que se desarrolló este nuevo diseño, está basado en manejar un volumen de agua cruda 1,5 L, en la tabla 13 se evidencia los tiempos medidos para cada filtración

Tabla 13

Tiempos filtración filtro adicional

Filtro Adicional	
Ciclo	Tiempo (min)
1	27:09,1
2	29:35,1
3	28:42,3

Nota. La tabla anterior son los tiempos medidos de filtración medios para cada ciclo.

El tiempo promedio de filtración se calculó en 28,29 minutos, es decir, que se maneja un caudal promedio de filtración de:

$$Q = \frac{1,5 \text{ litros}}{28,29 \text{ min}} = 0,053 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

Con las nuevas dimensiones del contenedor plástico, se calcula el área superficial teniendo en cuenta que la geometría se considera como un cilindro, por lo tanto, el área superficial es:

$$S = 2\pi * 0,0716 \text{ m} * 0,27 \text{ m} + 2\pi(0,0716\text{m})^2$$

$$S = 0,134 \text{ m}^2$$

Adicionalmente, también es pertinente calcular la velocidad de filtración a partir de la relación del diferencial del volumen junto con el área superficial del filtro respecto al cambio en el tiempo:

$$w = \frac{0,0015 \text{ m}^3}{0,134 \text{ m}^2 * 1708 \text{ s}} = 6,55 * 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad de filtración es una variable que depende directamente del tiempo de en el que transcurre el proceso, donde los 3 ciclos se evidencia que el filtro tarda casi media hora en filtrar un volumen de 1,5 L, lo cual es un tiempo de filtración elevado convirtiéndose en un factor negativo que se debe optimizar ya que si se tratara de un volumen mucho mayor, como el de la dotación diaria calculada, el proceso de tratamiento de aguas a través de la filtración con este diseño propuesto tardaría mucho reduciendo su eficiencia.

Adicionalmente, la velocidad de filtración dependerá también de la interacción entre las moléculas con los lechos filtrantes, la fuerza impulsora es la gravedad y deberá ser lo suficientemente grande para vencer las fuerzas superficiales causadas por el carbón activado granular de 2 mm. Es decir, que el grosor de esta capa influye en la eficiencia de los resultados, donde se observa que entre más grande es su longitud, la calidad de los resultados del filtro disminuye generando tiempos y velocidades de filtración bajas. A pesar de que el área superficial del nuevo filtro es mayor, una velocidad de filtración de $6,55 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ es ineficiente para este proceso.

El posicionamiento de cada uno de los lechos filtrantes juega un papel fundamental en el proceso de filtración para el tratamiento de agua, por lo que seleccionar la configuración adecuado influye directamente en los resultados. Este comportamiento se analiza basado en los resultados obtenidos en la etapa del desarrollo experimental, ya

que el primer filtro cuenta con los mismos 4 lechos filtrantes que este planteamiento, con la diferencia en la posición de las capas.

Los planteamientos 1 y 2 dentro de sus condiciones de operación plantean que la posición de la arena fina es encima del carbón activado o la zeolita, según corresponda y se obtienen unos resultados favorables, a diferencia de este planteamiento el cual posiciona a la arena fina como última capa de filtración en la parte más baja del diseño del filtro. Por lo tanto, se establece que para obtener unos resultados favorables la arena fina no puede ser la última capa de filtración.

Los parámetros analizados anteriormente no son suficientes para determinar las condiciones de operación para la filtración, ya que allí solo se están teniendo en cuenta ciertos parámetros físicos que son evaluados a través de los sentidos. Por tal razón, al filtrado obtenido se le realizaron las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a nivel laboratorio.

El análisis microbiológico tiene en cuenta el recuento de coliformes totales y de Escherichia Coli por cada 100 cm³. Los resultados presentados en la tabla 14 evidencia que hay un problema en el proceso de la filtración, ya que un conteo estimado del recuento de los coliformes totales estimaron una concentración de más de 200 UFC/ cm³.

Tabla 14

Resultados análisis microbiológico

Descripción de la muestra	# LAB	Recuento Coliformes TotalesUFC/100 cm ³	Recuento E coliUFC/100 cm ³
AGUA ALJIBE	C0960	>200 CONTEO ESTIMADO	0
MINSALUD RESOLUCION 2115 22-JUN-07 AGUA POTABLE		0	0
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO		ISO 9308-1: 2014*	ISO 9308-1: 2014*

Nota. La tabla muestra los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del filtrado.

El análisis fisicoquímico de la muestra a nivel laboratorio determino que no se están cumpliendo los siguientes parámetros: cloro residual libre, color, hierro y turbiedad. Los parámetros evaluados se presentan en la tabla 15 y se analizan basados en los rangos estipulados en la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 15

Resultados análisis fisicoquímico

ANÁLISIS	RESULTADOS	PARÁMETRO
ALCALINIDAD TOTAL	121.50 mg CaCO ₃ /L	200 mg CaCO ₃ /L. Máx.
CALCIO	5.20 mg Ca/L	60 mg Ca/L Máx.
COLORO RESIDUAL LIBRE	0.00 mg Cl ₂ /L	0.3 - 2.0 mg Cl ₂ /L
CLORUROS	39.00 mg Cl ⁻ /L	250 mg Cl ⁻ /L Máx.
COLOR	440 UPC	15 UPC Máx.
CONDUCTIVIDAD	757 µS/cm	1000 µS/cm Máx.
DUREZA TOTAL	17.00 mg CaCO ₃ /L	300 mg CaCO ₃ /L. Máx.
HIERRO TOTAL	1.11 mg Fe/L	0.3 mg Fe/L Máx.
MAGNESIO	0.97 mg Mg/L	36 mg Mg/L Máx.
pH (20°C)	8.13 Unidades de pH	6.5 - 9.0 Unidades de pH
SULFATOS	135.96 mg SO ₄ 2 ⁻ /L	250 mg SO ₄ 2 ⁻ /L Máx.
TURBIEDAD	67.1 NTU	2 NTU Máx.

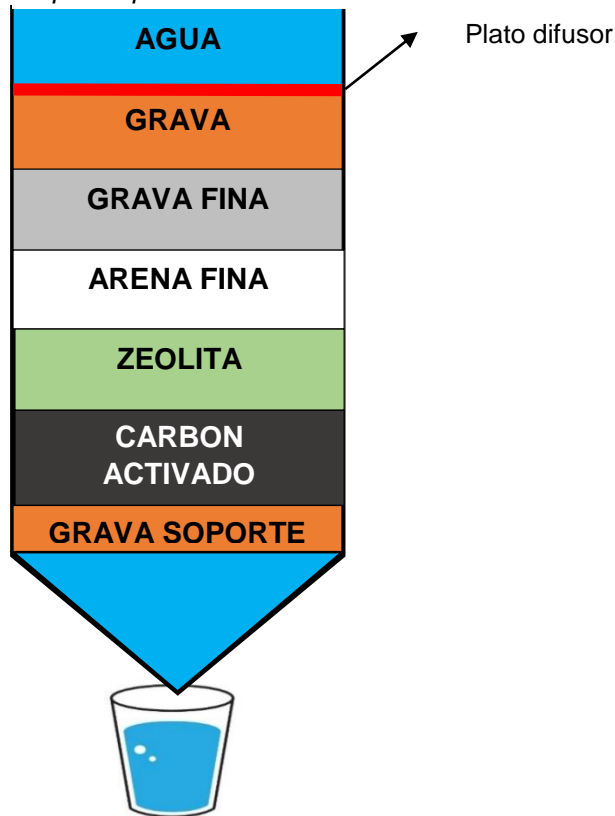
Nota. La tabla muestra los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas del filtrado.

Se destaca de estos resultados los valores medidos para el color y la turbiedad ya que están 405 UPC Y 65 NTU por encima del parámetro establecido respectivamente. Este incremento en estos valores se atribuye directamente a la calidad del carbón activado utilizado y a tu tamaño de partícula, por tal motivo, para el diseño final se decide cambiar de proveedor y aumentar el tamaño de partícula al doble. Adicionalmente, se evidencia que el grosor de la capa de carbón activado influye en los resultados de la calidad del filtrado y los tiempos de filtración disminuyendo la eficiencia del proceso.

Basado en estos análisis se propone el **planteamiento filtro #4**, este será el último planteamiento presentado por este proyecto de investigación. En el esquema de la figura 50 se puede observar el uso de los 5 lechos filtrantes seleccionados: grava, grava fina, arena fina, zeolita y carbón activado. Al igual que todos los planteamientos cuenta con una capa de grava de soporte, el plato difusor en la parte alta de la filtración para distribuir de manera uniforme el agua cruda que ingresa al sistema y por último el algodón en la parte inferior del filtro justo en la salida del efluente.

Figura 50

Esquema planteamiento #4



Nota. La figura anterior es el esquema planteado para el cuarto diseño.

Para este diseño se cambió el tamaño de partícula del carbón activado granular, usando para este caso el de mayor partícula 4mm en la parte inferior del filtro, seguido por la capa de zeolita.

A diferencia del filtro #3, este planteamiento si tienen en cuenta la implementación de una capa de arena fina que está dispuesta encima de la zeolita, seguida por las dos capas de grava fina y grava en la parte más alta del proceso de filtración que tienen la función de retener las partículas y sólidos de mayor tamaño. Ver figura 51.

Figura 51

Diseño cuarto filtro



Nota. La figura anterior muestra el cuarto diseño planteado.

Para hacer el análisis comparativo para la selección de las condiciones de operación más eficientes este último planteamiento también se replicó 3 veces al igual que los demás planteamientos para medir sus tiempos de filtración. En la tabla 16 se evidencian tiempos de filtración cortos, en promedio 1,41 minutos tarda en filtrar un volumen de 300 ml de la muestra del agua.

Tabla 16

Resultados filtro #4

Filtro #4	
Ciclo	Tiempo (min)
1	01:39,6
2	01:46,6
3	01:39,6

Nota. La tabla anterior contiene tiempos medidos en minutos para cada ciclo.

Teniendo en cuenta el tiempo promedio de filtración se calcula el caudal para este diseño, el cual se clasifica como el segundo planteamiento con mayor caudal.

$$Q = \frac{0,3 \text{ litros}}{1,41 \text{ min}} = 0,213 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

La velocidad de filtración para este último planteamiento se calcula a continuación:

$$w = \frac{0,0003 \text{ m}^3}{0,059 \text{ m}^2 * 101 \text{ s}} = 5,03 * 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Gracias a la velocidad de filtración y al caudal calculado, este último diseño se clasifica como el segundo más rápido de todos los planteamientos.

Continuando con el proceso de la selección de las condiciones para el desarrollo del filtro final se desea hacer un análisis cualitativo enfocado en destacar las características físicas de cada uno de los filtrados, donde se podrá apreciar y comparar parámetros como el color, el olor, el sabor y la turbiedad. Las siguientes dos figuras pone en comparación los 4 filtrados correspondientes a su planteamiento, donde se tomaron alícuotas de 150 ml y cada una de las muestras fue rotulada con su respectivo planteamiento, la figura 52 corresponde a la vista frontal de los filtrados y la figura 53 es la vista superior de los 4 filtrados.

Figura 52

Vista frontal de los resultados



Nota. La figura pone en comparación los filtrados obtenidos.

Figura 53

Vista superior de los resultados



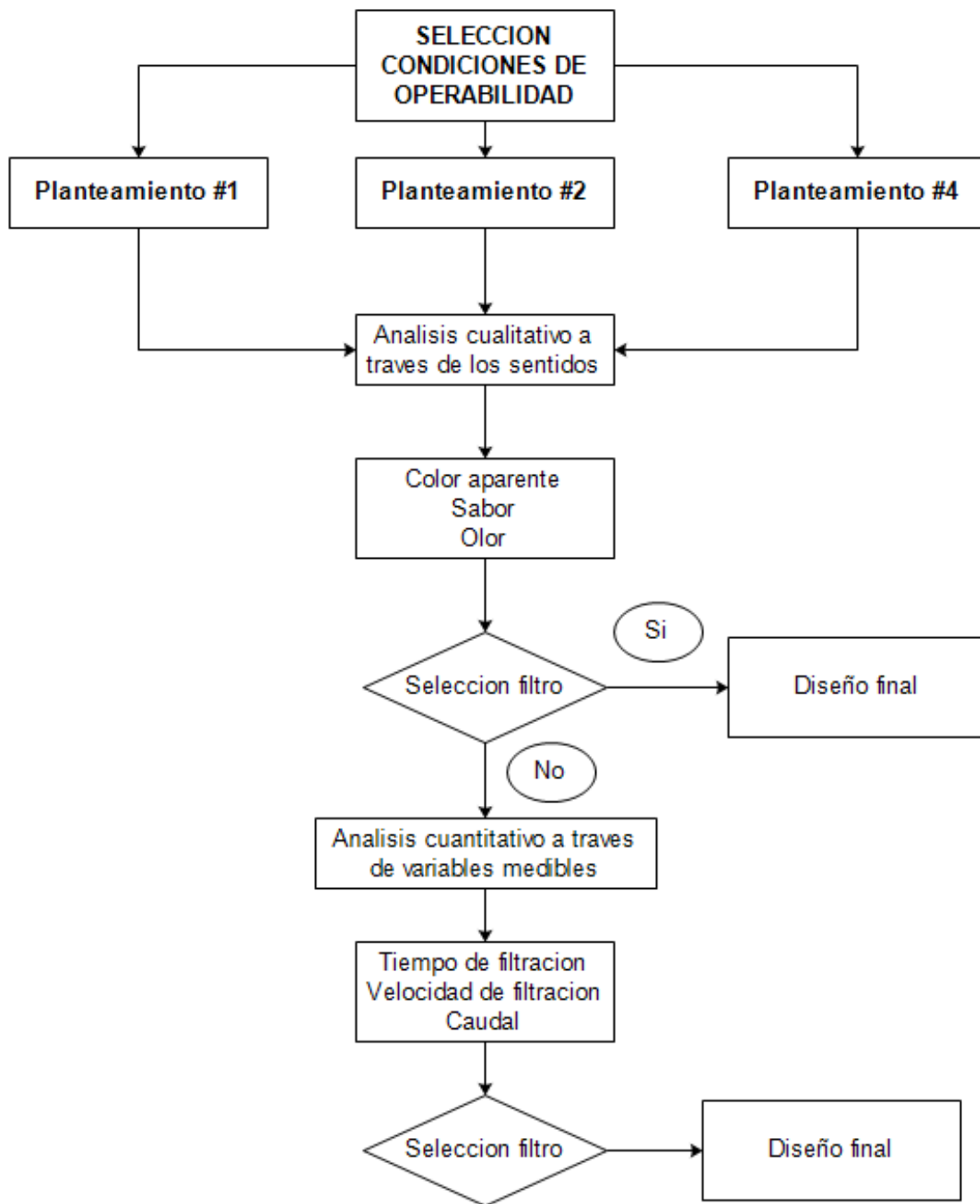
Nota. La figura pone en comparación los filtrados obtenidos.

A través de los sentidos es posible identificar y caracterizar algunas propiedades físicas del agua tratada, dentro de las cuales se evaluará el color aparente, la turbidez, el olor y el sabor con el fin de identificar cuál de los 4 planteamientos brinda unos mejores resultados mejorando la calidad del agua. De esta manera se descarta de inmediato el planteamiento 3 ya que en vez de mejorar sus parámetros físicos se obtuvo una coloración negra en el filtrado.

Para la selección de las condiciones de operación más eficientes para la filtración como operación unitaria para el tratamiento primario de agua se tuvo en cuenta el siguiente diagrama flujo:

Figura 54

Diagrama de flujo para la selección de las condiciones de operabilidad



Nota. La figura anterior es el diagrama de flujo empleado para la decisión de la selección del diseño y las condiciones de operabilidad de la filtración.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en las figuras 52 y 53 y siguiendo el esquema del diagrama de flujo anterior donde la primera selección se hará a través de un análisis cualitativo comparando 3 parámetros físicos del agua: color, sabor y olor, los cuales pueden percibirse gracias a los sentidos humanos. Para hacer un análisis objetivo para la selección durante el análisis cualitativo se tuvo en cuenta la percepción de 2 personas más.

En cuanto al color, las 3 muestras no presentan ninguna coloración permitiendo ver a través de su volumen. Continuando con el análisis, lo siguiente fue caracterizar el olor de los filtrados a través del olfato, para los cuales todas las muestras no presentaron ningún tipo de olor, lo cual es algo positivo ya que una de las características del agua potable es que debe ser inolora.

Lo siguiente fue evaluar el sabor de los filtrados, característica que el planteamiento 1 no cumplió ya que presentaba un sabor diferente al del agua potable; por lo tanto, estas condiciones de operabilidad del primer diseño son descartadas del análisis.

Para este momento, los planteamientos seleccionados son el 2 y el 4. La figura 55 hace una comparación de los filtrados junto con una muestra patrón de agua embotellada 100% potable, para tener una percepción más clara de los resultados que se desean alcanzar.

Figura 55

Análisis cualitativo con solución patrón



Nota. La figura pone en comparación los filtrados 2 y 4 junto a una muestra de agua potable patrón.

La metodología del análisis cualitativo con una muestra patrón permite establecer el punto máximo que se desea alcanzar, para este proceso de filtración una muestra de agua potable es el máximo objetivo ya que cumple con todos los parámetros establecidos por la Resolución 2115 de 2007. En la figura 55 se puede observar que el color del planteamiento 2 está un poco más opaco, pero en cuanto a sabor y olor ambos planteamientos son similares al de la muestra patrón por lo que un análisis cualitativo no es suficiente para la selección del diseño.

Continuando con el diagrama de flujo planteado en la figura 54, los siguientes parámetros que se pueden evaluar son propios del proceso de filtración, teniendo en cuenta el caudal, tiempos y velocidades de filtración. A través de tabla 17 se analizarán 3 parámetros cuantitativos que se calcularon previamente en la sección de los tiempos de filtración.

Tabla 17

Resultados calculados para cada planteamiento

Parametro	Planteamiento #1	Planteamiento #2	Planteamiento #4
Tiempo promedio (min)	2:28	1:26	1:41
Caudal (l/min)	0,132	0,238	0,213
Velocidad (m/s)	3,49E-04	5,91E-04	5,03E-04

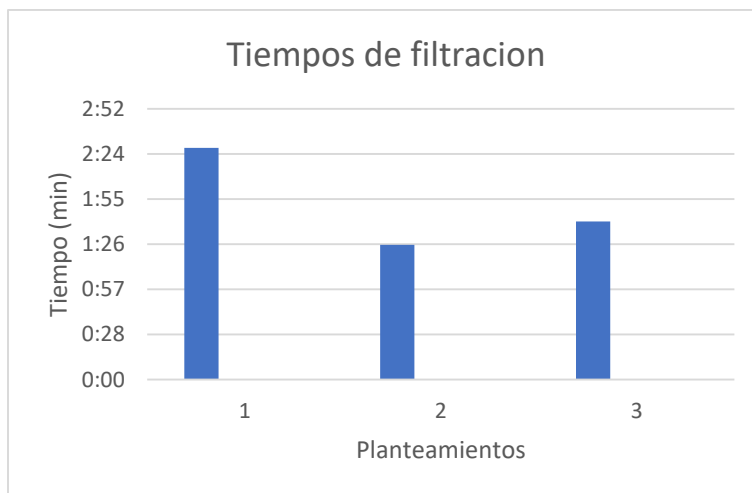
Nota. La tabla anterior clasifica los resultados calculados para variables medidas en los diseños experimentales.

Adicional a la tabla anterior, los resultados calculados se graficaron con el objetivo de identificar cuáles son las condiciones de operación en la filtración que presenta una mayor eficiencia, que para este proceso se refiere a tiempos cortos de filtración con una velocidad alta y el mayor caudal posible. Ver gráficas.

La figura 56 evidencia que las condiciones de operabilidad que presentan un menor tiempo de filtración son las planteadas por el segundo diseño, el cual es característico por el uso de la zeolita para la remoción de contaminantes del agua cruda. Por otra parte, el primer planteamiento que utiliza carbón activado fue el que tardo más tiempo, casi el doble que el del segundo diseño.

Figura 56

Tiempos promedio de filtración



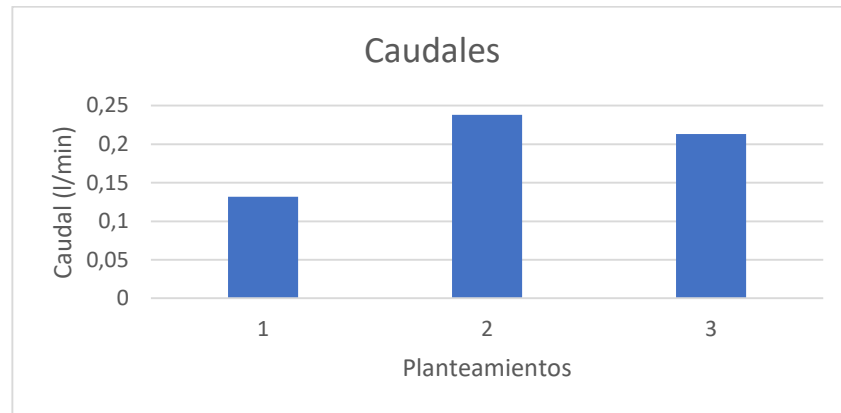
Nota. La grafica anterior representa los tiempos promedios de filtración.

El caudal es una variable que se calcula relacionando el volumen que se está filtrando con el tiempo que tarda en terminar el proceso, es decir, que un caudal optimo es aquel que filtra un volumen determinado en el mayor tiempo posible. Para el análisis de esta variable dentro del proceso de filtración, se tuvo en cuenta el mismo volumen de 300 ml para cada planteamiento.

La figura 57 evidencia que las condiciones de operación que presentan un mayor caudal son las planteadas en el segundo diseño.

Figura 57

Caudales



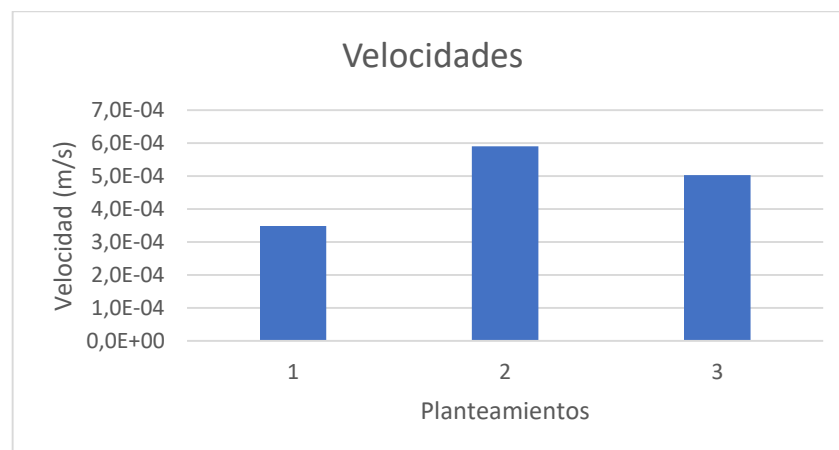
Nota. La grafica anterior representa los caudales de cada diseño.

Por último, la velocidad es otra de los cálculos tenidos en cuenta dentro del análisis cuantitativo. Lograr una velocidad alta de filtración es una de las metas en los diseños de procesos sin desmejorar la calidad de resultados.

Nuevamente las condiciones de operación del segundo planteamiento son las más eficientes ya que presentan la velocidad más grande de filtración de todos los diseños planteados. Esta variable tiene una relación directa con el cálculo del caudal.

Figura 58

Velocidades de filtración



Nota. La grafica anterior representa las velocidades de filtración. Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de operación planteadas en el segundo diseño son aquellas que permiten obtener los resultados óptimos a nivel de operabilidad del sistema de filtración, pero la calidad del filtrado no es la mejor. Por otro lado, los resultados del cuarto diseño son los segundos más eficientes y cualitativamente represento los mejores resultados. Esta diferencia en los tiempos y velocidades de filtración entre un diseño y otro está relacionado con las condiciones de operación de cada uno, ya que el planteamiento 4 es el que combina todos los cinco lechos filtrantes seleccionados, a diferencia del planteamiento 2 que no implementa en su diseño el carbón activado granulado.

Gracias a los análisis presentados se identifica que las mejores condiciones de operación para la filtración para el tratamiento primario del agua del aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental son las del cuarto planteamiento, ya que presenta una de las mejores eficiencias y velocidades de filtración, además de tener los mejores resultados cualitativos respecto a la solución patrón y está equipado con los 5 lechos filtrantes: grava, grava fina, arena fina, zeolita y carbón activado granular de 4 mm.

5.4 Diseño final del filtro

Teniendo en cuenta todos los parámetros analizados, tanto cualitativos como cuantitativos, se concluye que las configuraciones de operación más eficientes son las planteadas por el diseño 4, destacando que cualitativamente es la que presenta los mejores resultados en cuanto a color aparente, olor y sabor; y cuantitativamente es el segundo planteamiento más rápido y que realiza la operación en un corto tiempo. Con la selección de operación del planteamiento 4 como el más eficientes para el proceso de filtración como tratamiento primario de agua del aljibe se procede con la construcción del diseño final, teniendo en cuenta

La construcción del diseño final sigue la misma metodología presentada en este documento en la sección “5.2 METODOLOGÍA”. EL proceso inicia entonces con el lavado del material, como este será el diseño final implementado para tratar el agua del aljibe, adicional al lavado, cada uno de los materiales permaneció durante 10 minutos en agua hirviendo. Ver figura 59.

Figura 59

Lavado del material



Nota. La figura anterior muestra el lavado de los materiales con agua hirviendo.

En la figura 60 se evidencia una espuma negra generada durante el lavado del carbón activado granular de 4 mm con agua hirviendo, toda esta espuma generada es un factor indeseado en el proceso de tratamiento de agua ya que disminuye la calidad del agua.

Figura 60

Suciedad de los materiales



Nota. La figura anterior muestra el exceso de material contaminante extraído gracias al lavado de los materiales.

Cada proceso de lavado se realizó por al menos 10 minutos con agua hirviendo para remover las fuentes externas de contaminación. Posteriormente, los lechos filtrantes se secaron en un horno eléctrico casero a una temperatura de 230°C por un lapso de 20 minutos (ver figura 61) moviendo el material periódicamente para obtener un secado uniforme en todas las partículas de cada lecho filtrante. Esta elevada temperatura de secado es un complemento en la remoción de bacterias y contaminantes que están presentes en el material adquirido para el diseño del filtro.

Figura 61

Secado del material



Nota. La figura anterior muestra el secado de los materiales en un horno casero.

Las condiciones de operación para el diseño del filtro establecen la implementación de 5 lechos filtrantes: grava, grava fina, arena fina, carbón activado granular de 4 mm y zeolita (Ver figura 62) para mejorar la calidad del agua recolectada por el aljibe, considerando una filtración en múltiples etapas, donde cada uno de los lechos filtrantes será una etapa.

Figura 62

Materiales para el diseño final



Nota. La figura anterior muestra los materiales seleccionados para el diseño del filtro final.

Teniendo en cuenta los lechos filtrantes que se van a utilizar lo siguiente, es llevar a cabo el diseño del filtro final capaz de mejorar la calidad del agua a tratar.

Para el filtro final se tomó como criterio de diseño la cantidad requerida para satisfacer la dotación del consumo diario del lugar de investigación que para este caso se calculó de 6 litros diarios por persona.

A partir de la relación entre el caudal de filtración y la velocidad de filtración es posible calcular el área superficial requerida.

$$As = \frac{Q}{v}$$

Donde

As = área superficial (m²)

Q = caudal (m³/s)

V = velocidad (m/s)

Dentro de la revisión bibliográfica realizada para esta investigación, un trabajo evalúa la remoción de DQO, amoníaco y color. “Se encontró que la máxima eliminación de los contaminantes entre el tratamiento de toda adsorción utilizando 10 cm de carbón activado granular y 10 cm de zeolita en una columna de 6,35 cm de diámetro con una eliminación del 59,46% de DQO, y el 58,4% del color”. [39]

La velocidad de filtración varía entre $5,55 \times 10^{-4}$ a $8,33 \times 10^{-4}$ m/s dependiendo la calidad del agua. Entre mayor la razón de contaminación, menor la velocidad de filtración. [40]

Para satisfacer con la demanda mensual calculada para el caso de don Misael es necesario manejar un caudal de $3,00 \times 10^{-6}$ m³/s, por lo tanto, para calcular el radio requerido para el contenedor de plástico se calcula el área con la relación entre el caudal necesario y la velocidad.

$$As = \frac{3,00 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{5,55 \times 10^{-4} \frac{m}{s}} = 5,40 \times 10^{-3} m^2 = 54 \text{ cm}^2$$

Posteriormente con el área de la circunferencia es posible calcular el radio requerido para satisfacer con la anterior área calculada. Tenemos que el área de una circunferencia depende directamente de las dimensiones del radio o diámetro.

$$r = \sqrt{\frac{As}{\pi}} = \sqrt{\frac{5,40 \times 10^{-3} m^2}{\pi}} = 0,0415 m^2 = 4,15 \text{ cm}$$

Al sobredimensionar las dimensiones, el radio de la circunferencia correspondiente al contenedor de plástico debe ser de 4,97 cm. La determinación de las alturas de los lechos filtrantes se hizo a través de los diferentes planteamientos y del análisis correspondiente, demostrando que el grosor de la capa de carbón activado de 10 cm afecta negativamente la eficiencia del filtro aumentando los tiempos de filtración, además afecta la calidad del agua ya que las pruebas fisicoquímicas identificaron en los resultados que los parámetros del color, la turbiedad, el recuento de coliformes totales, la conductividad y la alcalinidad total aumentaron su concentración.

“Aunque no se reporta investigación experimental sobre mecanismos físicos asociados con la captura de partículas en la filtración, en la literatura se extrapolan frecuentemente los conceptos desarrollados, para explicar el comportamiento de filtración”. [40]

Teniendo en cuenta las revisiones bibliográficas, se re diseñan las dimensiones del filtro que demostró una eficiencia de aproximadamente del 60% para la remoción del color y turbiedad donde utilizan un diámetro de filtración de 6,35 cm que en relación con el

diámetro calculado es de la mitad, por lo que las profundidades de los lechos filtrantes se plantean para este diseño final de 5 cm. Los planteamientos 1 y 2 son un soporte y una guía ya que en ellos se manejaron profundidades uniformes de entre 4 y 5 cm en los lechos filtrantes, y como resultado mejoraron la calidad del agua cruda disminuyendo la turbiedad y el color de la muestra recolectada por el aljibe.

Con la implantación del diseño de este filtro y basando en las dimensiones y los lechos filtrantes seleccionados, se busca reducir la concentración de los parámetros que no se están cumpliendo en la sección del diagnóstico a través de la porosidad de los medios filtrantes. Dicho proceso se repetirá 3 ciclos con el fin de calcular la eficiencia y los tiempos de filtración teniendo en cuenta que el objetivo principal es mejorar la calidad del agua para que pueda ser consumida que será evaluada con las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a nivel laboratorio.

La figura 63 es la representación gráfica del diseño del filtro final que logro cumplir con el objetivo de mejorar la calidad del agua según los parámetros establecidos por la resolución colombiana 2115 de 2007 a excepción del color y la turbiedad los cuales están por encima del límite. A pesar de no cumplir estos dos parámetros la calidad del filtrado es buena y el agua puede ser consumida de manera segura.

Figura 63

Diseño del filtro seleccionado



Nota. La figura anterior muestra el diseño del filtro final.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos por el planteamiento final seleccionado con las condiciones de operación más óptimas, donde se tendrá en cuenta todo el proceso de diseño, desde la toma de las muestras hasta que es analizada a nivel laboratorio, esto con el fin de identificar las etapas que pueden estar beneficiando o afectando el sistema de filtración.

Lo primero que hay que destacar son las condiciones atmosféricas, la figura 64 evidencia que durante el momento de la recolección de la muestra de agua del aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental en Chiquinquirá las condiciones climatológicas eran 11°C con lluvias fuertes, estas condiciones de lluvia fueron habituales días previos a la recolección de la muestra.

Figura 64

Condiciones atmosféricas



Nota. La figura anterior representa las condiciones atmosféricas del momento en el que se está haciendo la recolección de la muestra.

En la sección de diagnóstico, se evidencia que el aljibe está completamente abierto a la intemperie por lo que la lluvia se convierte en una variable externa que afecta negativamente la calidad del agua recolectada, ya que la fuerza de impacto de las gotas

de lluvia sobre la superficie del aljibe genera movimientos que pueden desprender material orgánico y sólidos en suspensión de los alrededores o a nivel interno del aljibe, recordemos que los aljibes son fuente hídricas naturales por lo que al interior del aljibe existe material rocoso, arena, arcilla y otros materiales que por el movimiento causado por la lluvia se puede desprender incrementando la concentración de sólidos suspendidos y de material orgánico. La figura 65 es una alícuota tomada del volumen utilizado para el diseño final, en ella se aprecia que calidad del agua del aljibe en términos de color y turbiedad disminuye respecto a las condiciones iniciales (ver figura 21 y 22) por lo que los niveles de contaminación aumentaron para este caso de estudio.

Figura 65

Alícuota del agua recolectada por el



Nota. La figura anterior corresponde a una alícuota del volumen recogido para ser sometida al proceso de filtración.

Adicional al color y a la turbiedad, en la figura 66 se evidencia una cantidad de sólidos que se sedimentaron con el paso del tiempo, por lo que la cantidad de materia orgánica y sólidos totales aumento gracias a las fuertes lluvias. Estos parámetros afectados son apenas los que se pueden apreciar a través de los sentidos del hombre, pero los demás parámetros fisicoquímicos también se ven afectados negativamente. Las condiciones meteorológicas y la lluvia son entonces una variable externa no controlable en el proceso que afecta los resultados de este análisis.

Figura 66

Solidos sedimentados



Nota. La figura anterior corresponde a una alícuota del volumen recogido para ser sometida al proceso de filtración.

La muestra del aljibe correspondiente al agua cruda del proceso de filtración se pasó a través del lecho profundo 3 veces, la figura 67 muestra los resultados obtenidos por el diseño seleccionado, en ella se observa un agua aparentemente de buena calidad, de sus parámetros físicos se destaca la reducción del color y la turbiedad obteniendo un filtrado incoloro e inodoro, además a la percepción de la vista no se observan ningún tipo de partícula, solido o materia orgánica suspendida en el volumen del filtrado.

Figura 67

Filtrado diseño final



Nota. La figura anterior corresponde al filtrado obtenido tras someter el agua cruda a 3 procesos de filtración.

A pesar de que el filtrado parece de buena calidad, la muestra fue llevada al laboratorio para ser analizada para establecer si se cumplen o no los parámetros establecidos por la resolución.

La tabla 18 clasifica los parámetros analizados a nivel laboratorio, de color rojo se destacan aquellos parámetros que no cumplen con la norma y en verde aquellos que se encuentran por debajo del máximo permiso para el agua potable. En ella destaca la eficiencia del 100% de remoción del filtro a través de los lechos filtrantes ya que fue capaz de erradicar por completo la concentración de coliformes presente en el agua del aljibe satisfaciendo los parámetros permisibles. Adicionalmente, 10 de los 12 parámetros fisicoquímicos evaluados lograron cumplir con la norma establecida para clasificar al agua como potable gracias al diseño final empleado. Dentro de los parámetros que no se alcanzaron a cumplir esta el color y la turbiedad.

Tabla 18

Concentraciones de los filtrados

Parametro	Caracterizacion inicial (mg/L)	Diseño Carbon Activado (mg/L)	Diseño Final (mg/L)	Limites Resolucion (mg/L)
Alcalinidad total	19,50	121,50	39,50	200,00
Calcio	12,40	5,20	26,00	60,00
Cloro residual libre	0,00	0,00	0,00	0,3 - 2,0
Cloruros	4,75	39,00	10,00	250,00
Color	40	440,00	35,00	15,00
Conductividad	117,10	757,00	290,10	1000,00
Dureza total	38,00	17,00	84,00	300,00
Hierro total	0,39	1,11	0,28	0,30
Magnesio	1,70	0,97	4,62	36,00
pH (20°C)	6,61	8,13	8,51	6,5 - 9,0
Sulfatos	33,90	135,96	60,15	250,00
Turbiedad	4,35	67,10	9,86	2,00
Coliformes totales	26,00	200,00	0,00	0,00

Nota. La tabla anterior clasifica los parámetros medidos y analizados según la Resolución 2115 de 2007 para las concentraciones de los resultados obtenidos por la filtración.

A pesar de que el diseño propuesto para identificar la incidencia de la capa con carbón activado es ineficiente, se destaca una remoción del 58% para la concentración del calcio y un 55% en la reducción de la concentración de la dureza total del agua.

Para los resultados obtenidos por el diseño final respecto a las condiciones iniciales hay que recordar las diferencias de la calidad del agua cruda entre el periodo de diagnóstico y la evaluación experimental, ya que hubo un periodo de tiempo de aproximadamente 60 días entre la caracterización inicial y el diseño final cuando se llevó a cabo la evaluación experimental. Además, durante este periodo de tiempo las condiciones meteorológicas afectaron la calidad del agua recolectada por el aljibe, por lo que existe una variabilidad en los análisis de los resultados debido a este tiempo entre la toma de muestras; la figura 65 evidencia esta variación de la calidad del agua respecto a la muestra recolectada con las que se hizo el análisis de diagnóstico (Figuras 21 y 22). Esta variación se atribuye a que el aljibe está expuesto a la atmosfera permitiendo todo tiempo de contacto a contaminación del medio que lo rodea.

A pesar de que la calidad del agua cruda era más deficiente al momento de la filtración, el diseño implementado tiene la capacidad de potabilizar y garantizar que el agua filtrada es segura y puede ser consumida sin ninguna preocupación ya que cumple con todos los parámetros establecidos por la norma colombiana para la clasificación del agua potable, con excepción del color y la turbiedad, que son parámetros que no representa ningún riesgo para la salud de la persona que la consume.

Según los resultados el parámetro del cloro residual nunca se llega a cumplir ya que según la resolución colombiana debe haber una concentración mínima de 0,3 mg Cl₂/L de cloro en el agua potable y para todos los casos evaluados la concentración del cloro es nula.

El cloro residual libre hace referencia a esa parte del cloro que no ha reaccionado, es parte fundamental en cualquier proceso de desinfección del agua siendo una de las alternativas más utilizadas ya que se conoce el impacto de la sustancia en los procesos de tratamiento de aguas y los impactos en la salud humana. El cloro es utilizado en las redes de abastecimiento de agua debido a que el agua potable debe recorrer largos tramos a través de las redes de distribución desde la planta de tratamiento de aguas

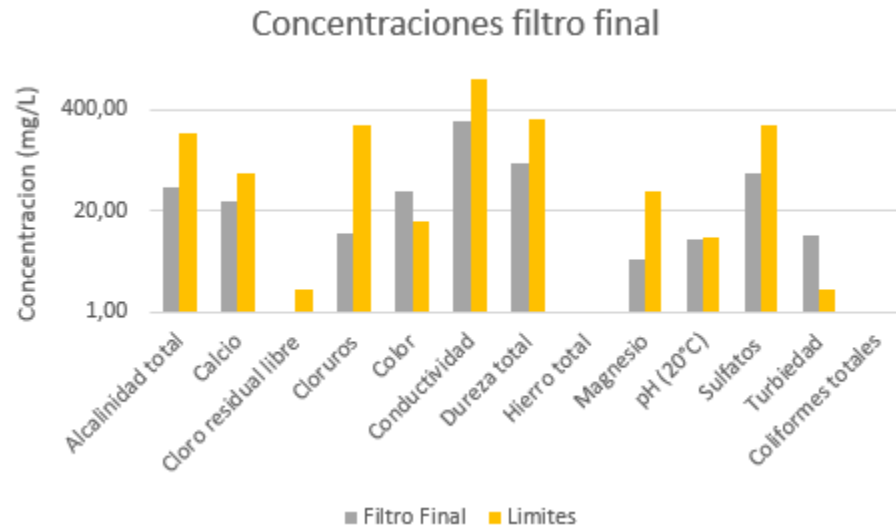
hasta el lugar de descarga, con la presencia del cloro se pretende la eliminación de la contaminación bacteriológica que se pueda presentar en los tramos longitudinales de las tuberías de la red de abastecimiento, el cloro actúa destruyendo la materia orgánica por oxidación.

La problemática principal de la vereda Sucre Occidental en Chiquinquirá es que no existe una red de abastecimiento que provea constantemente agua potable, es decir, que no se cuenta con un sistema de tuberías ni válvulas que controlen el flujo de agua ya que no existe. El aljibe se convierte entonces en la fuente principal de abastecimiento del recurso hídrico, al ser un yacimiento de agua natural no existe la presencia de cloro y tampoco es necesario adicionar esta sustancia química debido a que el agua es transportada hasta la casa en baldes plásticos y es consumida en un periodo corto de tiempo.

Finalmente, para concluir este análisis, la figura 68 está representada por las concentraciones obtenidas por el diseño final y los parámetros máximos aceptados. Las barras de color amarillo delimitan el máximo permitido por la resolución 2115 de 2007 de Colombia para caracterizar un agua como potable y apta para consumo humano de forma segura, por lo tanto, las concentraciones del filtrado deben estar por debajo de los valores de las barras amarillas para garantizar su calidad.

Figura 68

Concentraciones finales del filtrado



Nota. La figura anterior representa las concentraciones finales obtenidas por el filtro.

Las concentraciones resultantes para el diseño final están representadas por las barras de color gris las cuales están por debajo de los límites, concluyendo de esta manera que el diseño final tiene la capacidad de llevar las concentraciones del agua del aljibe por debajo de lo establecido por la resolución colombiana 2115 de 2007 para la clasificación del agua potable.

Para el color, la resolución establece un máximo de 15 UPC, es decir, que el filtrado está 20 UPC por encima de lo permitido y para la turbiedad se identifica que este parámetro supera por 7,86 NTU al rango máximo, por lo que 3 filtraciones no fueron suficientes para mejorar estos dos parámetros.

Con estos resultados se evidencia que la selección del planteamiento final con las dimensiones propuestas es apropiadas, ya que logro que el agua del aljibe de la vereda Sucre Occidental sea consumible de forma segura sin generar algún riesgo para la salud después haber sido tratada a través de la filtración en lecho profundo propuesto por este trabajo de investigación.

6.1 Tiempos finales de filtración

Una vez analizados los resultados de las concentraciones finales y el cumplimiento los parámetros máximos establecidos, se continua con el análisis de la eficiencia del proceso mecánico de filtración. Para ello se tomó un volumen de 1,5 L para medir los tiempos de filtración, caudal y velocidad, variables que se desean analizar junto con los resultados del filtro de carbón activado, por lo tanto, se desea establecer un volumen constante en ambos casos para analizarlos a través de una comparación de los resultados obtenidos. La tabla 19 muestra los tiempos de filtración medidos para los 3 ciclos.

Tabla 19

Tiempos de filtración diseño final

Filtro Final	
Ciclo	Tiempo (min)
1	08:24,0
2	08:40,2
3	08:34,8

Nota. La tabla anterior muestra los tiempos de filtración medidos.

El tiempo promedio de filtración necesario para filtrar 1,5 litros de agua cruda es de 8,33 minutos. Teniendo en cuenta, el volumen filtrado y los tiempos medidos es posible calcular el caudal, dividiendo el volumen entre el tiempo promedio.

$$Q = \frac{1,5 \text{ litros}}{8,33 \text{ min}} = 0,18 \frac{\text{litros}}{\text{min}}$$

El tiempo promedio solo tiene en cuenta el tiempo que tardo la operación en filtrar un solo volumen de 1,5 L del agua cruda. Los resultados obtenidos se alcanzaron tras filtrar 3 veces el volumen, es decir tardaría alrededor de 25 minutos en concluir el tratamiento de agua que garantice que el filtrado es un agua de calidad segura para el consumo.

Considerando que la dotación diaria es de 6 litros por día y que el caudal de filtración es de 0,18 L/min quiere decir que para satisfacer la demanda diaria de la población se requerirán aproximadamente de 1 hora con 40 minutos, destacando que para ese tiempo el volumen del agua cruda ya ha sido sometido 3 veces por el proceso de filtración. Esta

dotación tiene en cuenta el volumen de agua utilizada para el consumo y para la cocción de alimentos.

Adicionalmente, también es pertinente calcular la velocidad de filtración relacionando el área de filtración teniendo en cuenta que las dimensiones del contenedor plástico empleado son 27 cm de longitud con un radio 5,2 cm.

$$S = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

$$S = 2\pi * 5,2cm * 27 cm + 2\pi(7,16 cm)^2$$

$$S = 1052,06 cm^2$$

Con el área es posible continuar con el cálculo de la velocidad de filtración siguiendo la ecuación.

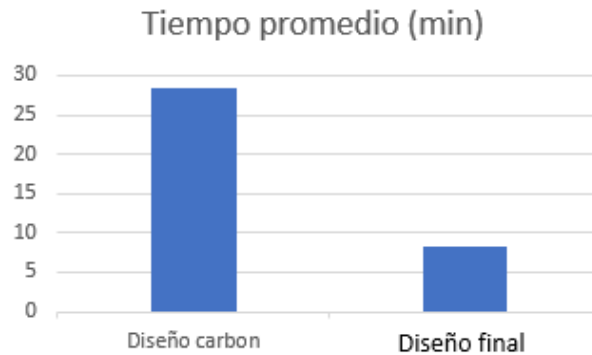
$$w = \frac{dV}{S * dT}$$

$$w = \frac{0,0015 m^3}{0,1052 m^2 * 513 s} = 2,77 * 10^{-5} \frac{m}{s}$$

Con la velocidad y el caudal medido es posible comparar la eficiencia relacionada a los tiempos y velocidades de filtración del diseño con carbón activado con el diseño final seleccionado. La figura 69 evidencia la gran diferencia que hay en los tiempos de filtración entre el uno y otro, donde el filtro con carbón activado tarda el triple de tiempo en filtrar un volumen de 1,5 L.

Figura 69

Comparación tiempos de filtración



Nota. La figura anterior es una comparación de los tiempos de filtración medidos para el diseño con carbón activado y el diseño final.

Esta diferencia de tiempos se atribuye directamente al grosor de la capa de carbón activado y su tamaño de partícula, ambos planteamientos cuentan con este lecho filtrante diferenciándose uno de otro porque para el caso del filtro con carbón activado el grosor de la capa fue de 10 cm, mientras que el grosor para el diseño final es de la mitad.

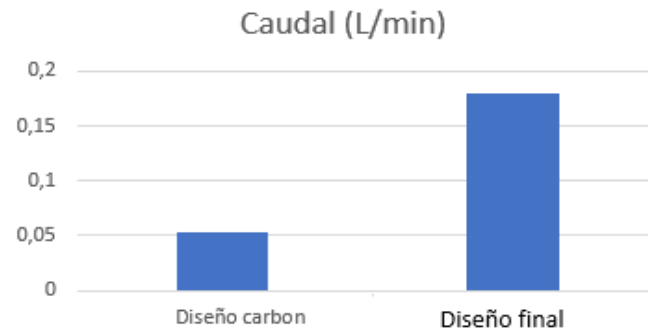
A pesar de que el carbón activado es altamente usado en los diseños tratamiento de aguas por su capacidad de remover moléculas contaminantes presentes en su interior, los resultados evidencian que una capa de carbón activado muy gruesa afecta directamente en la eficiencia del filtro aumentando los tiempos de filtración lo que a su vez disminuye la velocidad de filtración ya que tarda mucho tiempo en filtrar un volumen pequeño. Adicionalmente, es importante tener en cuenta el tamaño de partícula del carbón activado debido a que si es muy pequeño, como el de 2 mm, influye negativamente en el color del filtrado generando una pigmentación negra como se evidencia en las figuras 47 y 49 que son los filtrados obtenidos por dos planteamientos.

La eficiencia de un filtro también puede ser medida por su capacidad de filtración que tiene, se considera un filtro eficiente cuando es capaz de filtrar grandes volúmenes de agua en un corto tiempo. La figura 70 muestra que el diseño final tiene mayor capacidad de filtración respecto al del carbón activado, donde el primero tiene la capacidad de manejar un caudal de 0,18 L/min a una velocidad de $2,78 \times 10^{-5}$ m/s. Basados en la

figura 70 se identifica una baja eficiencia por parte del filtro del carbón activado ya que solo puede filtrar un volumen de 0,05 L/min.

Figura 70

Comparaciones caudales



Nota. La figura anterior es una comparación de los caudales medidos para el diseño con carbón activado y el diseño final.

Adicionalmente, para maximizar los resultados del filtrado y la durabilidad del filtro se recomienda realizar un mantenimiento a todos los materiales donde basta solo con un calentamiento en un horno eléctrico como el de la figura 61 para elevar la temperatura hasta 200°C por un periodo de 20 minutos. Este mantenimiento se recomienda hacerlo 4 veces al año.

7 EVALUACIÓN DE COSTOS

En este capítulo se tratará el último objetivo de investigación donde se busca calcular los costos de implementación de un filtro para el tratamiento de aguas del aljibe ubicado en la vereda Sucre Occidental de Chiquinquirá. Para la evaluación de costos se tuvo en cuenta la selección y los costos de los materiales filtrantes encargados de llevar al agua del aljibe al cumplimiento de los parámetros establecidos por la norma para el agua potable.

Desde un principio, siempre se tuvo en cuenta la población y las condiciones en las que viven estas familias, que en su mayoría son campesinos. En el diagnóstico se evidencia que son personas de escasos recursos, que además no tienen la posibilidad de contar con un sistema de tuberías que les proporcione constantemente un flujo de agua y que por motivos económicos no tienen la capacidad de comprar agua potable en botellones para que pueda ser consumida sin ningún riesgo.

Teniendo en cuenta que la demanda y la dotación diaria del agua consumida diariamente es de 6 litros, se planteó el diseño de un filtro con materiales de fácil acceso y económicos, que pueden ser reutilizados con un correcto mantenimiento del filtro para mantener los buenos resultados en la calidad del agua filtrada y que les brinda un recurso potable y seguro para ser consumido, esta dotación fue determinada de manera experimental con un proceso reiterativo a lo largo de un periodo de tiempo con volúmenes determinados para establecer en cuanto tiempo era consumido dicho volumen; de esta manera se buscaba determinar la cantidad de agua que se debe tratar para satisfacer con las necesidades diarias de don Misael.

A través de una hoja de cálculo se determinó el costo final de la implementación del diseño del filtro final. Ver tabla 20.

Tabla 20

Costos materiales diseño de filtro

Materiales	Costo x kg	Cantidad	Total
Grava	\$ 3.500	3	\$ 10.500
Grava Fina	\$ 3.500	2	\$ 7.000
Arena fina	\$ 3.000	2	\$ 6.000
Zeolita	\$ 7.500	3	\$ 22.500
Carbon activado	\$ 8.500	3	\$ 25.500
Contenedor plastico	\$ 3.200	1	\$ 3.200
Algodón	\$ 3.500	1	\$ 3.500
			\$ 78.200

Nota. La tabla anterior representa los costos de los materiales requeridos para mejorar la calidad del agua del aljibe.

Debido a que son una población marginada y que la topografía de la vereda presenta una gran dificultad en las vías de acceso, la manera en que se deben abastecer del agua del aljibe es rudimentaria y con métodos y técnicas obsoletos a través de baldes y con el esfuerzo físico que deben ejercer para transportar el agua desde el aljibe hasta la casa, por lo que el transporte no representa ningún gasto económico. Lastimosamente debido a que no cuentan con los recursos necesarios no es viable implementar un sistema de bombeo que permita tener un flujo constante a la entrada del filtro, además, no se justifica debido a que la demanda de agua diaria es de 6 litros por lo que no es necesario implementar todo un sistema de tuberías únicamente para transportar 6 litros de agua, ya que el agua del aljibe tratada por el filtro es únicamente para el consumo humano.

La realización de este modelo de filtración no requiere de horas de trabajo de un personal pago, ya que está diseñado de manera sencilla, por lo que los mismos habitantes que deseen implementar el filtro lo pueden realizar a través del esquema planteado para el último diseño. Adicionalmente, el mantenimiento del filtro no requiere de un costo adicional por lo que únicamente se utiliza agua de lavado y un horno eléctrico para secar los materiales previamente lavados.

Por último, la implementación del filtro no generara un gasto económico en la comunidad de la vereda ya que el aljibe es un recurso hídrico natural que está a disposición de manera gratuita. El beneficio real de la implementación de este filtro en las rutinas diarias

de las personas es que puedan consumir de manera segura el agua recolectada sin generar algún efecto negativo en la salud de las personas que la consumen.

Los criterios para el diseño del filtro están basados en la caracterización inicial del agua del aljibe, donde se busca reducir la concentración del color, la turbiedad, el hierro total, el cloro residual libre y los coliformes totales ya que están por encima de los límites permisibles por la resolución 2115 de 2007. Debido a que el aljibe está a la intemperie expuesto a todo tiempo de contaminación externa, es necesario realizar entre 3 a 4 pruebas fisicoquímicas y microbiológicas para la caracterización del agua del aljibe a lo largo del año, en especial después de la época de lluvia para verificar que las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se mantengan cercanas a las evaluadas en el diagnóstico para garantizar el buen funcionamiento del filtro de lecho profundo que sea capaz de mejorar la calidad del agua. De esta manera se pretende hacer una recolección de datos para hacer un análisis de las condiciones del agua a lo largo de todo el año, para determinar si en algún momento del año las concentraciones de los parámetros aumentan o disminuyen.

Por lo tanto, si dichos parámetros incrementan notablemente a lo largo del año, la eficiencia y la calidad de filtrado no será la misma y consumirla no sería seguro. El costo de este análisis fisicoquímico y microbiológico se muestra en la tabla 21, lugar donde se realizaron las pruebas de este proyecto de investigación en el laboratorio NULAB ubicado en la ciudad de Bogotá. Se considera necesario el realizar estas pruebas ya que la dificultad de estos métodos de análisis no permite que la comunidad puedan realizarlos por su cuenta, por lo tanto, la única manera que ellos tienen de evaluar las condiciones del agua es a través de los sentidos físicos y esto no es suficiente para determinar la calidad del agua del aljibe de la vereda Sucre Occidental.

Tabla 21

Costos análisis fisicoquímico y microbiológico

MUESTRA INDIVIDUAL	ANÁLISIS / MÉTODO ANALÍTICO	VALOR UNITARIO (Antes de IVA)
AGUA PARA CONSUMO HUMANO Resolución 2115/2007**	Coliformes Totales (ISO 9308-1:2014*)	\$ 66.000
	E.coli (ISO 9308-1:2014*)	
MUESTRA INDIVIDUAL	ANÁLISIS FISICOQUIMICO /METODO ANALITICO	VALOR UNITARIO (Antes de IVA)
AGUA POTABLE Resolución 2115/2007** SM = Standard Methods for the examination of water and wastewater.	PH (SM 4500-H+B. 23rd Ed.2017) Alcalinidad Total (SM 2320 B) Dureza Total (SM 2340 C. 23rd Ed.2017*) Hierro (3500-Fe B) Sulfatos (SM 4500-SO4 2- E) Cloruros (Argentométrico SM 4500-Cl-B) Cloro residual libre (SM 4500-Cl-G) Calcio (SM 3500-Ca B. 23rd Ed.2017*) Magnesio (SM 3500-Mg B) Color (SM 2120 B) Turbiedad (SM 2130 B) Conductividad (SM 2510 B)	\$ 127.000

Nota. La tabla anterior muestra los precios sin IVA del costo de las pruebas para el análisis de agua potable. Tomado de: Nulab Laboratorio. cotización análisis fisicoquímico y microbiológico Bogotá. 2021. [En línea]. <https://www.nulab.com.co/>

El costo final de implementar el diseño propuesto en este trabajo de investigación se calculó aproximadamente por 80.000 pesos colombianos convirtiéndose en una alternativa favorable y económica para el tratamiento primario del agua del aljibe. En la sección del planteamiento de los diseños se evidencia como a lo largo del tiempo la calidad del agua cruda puede variar significativamente entre un periodo y otro, haciendo necesario que se realicen las pruebas analíticas pertinentes para identificar las concentraciones de los parámetros que no se están cumpliendo, verificando que las demás propiedades se mantengan por debajo de los límites permisibles para que el filtro se encargue de la remoción de los parámetros que se están cumpliendo.

El costo de realizar las pruebas a nivel laboratorio en Bogotá, tienen un costo de 193.000 pesos colombianos (Tarifa sin IVA) y solo a través de ellas es posible garantizar que los parámetros que no se están cumpliendo sean reducidos hasta alcanzar los límites establecidos para el agua potable, por lo que se considera necesario incluir el costo de estas pruebas en la implementación del filtro.

El análisis respecto al tiempo de vida útil del filtro está relacionado con los lechos filtrantes seleccionados, donde los dos tipos de grava y la arena fina, no requieren de ser cambiados ya que su acción de filtración está fundamentada en fenómenos físicos y mecánicos donde los sólidos y partículas de mayor tamaño quedan atrapados en los espacios generados por los diferentes tamaños de partícula. Por otra parte, tanto el carbón activado granular y la zeolita, son materiales que tienen la capacidad de absorción a través de su superficie y que con el uso frecuente del filtro pueden perder su capacidad de absorción reduciendo la efectividad del filtro.

Dentro del análisis previo a la selección de los lechos filtrantes se tuvo en cuenta las ventajas de cada uno, donde una de las ventajas de la implementación del carbón activado granular, es su rentabilidad, ya que puede durar varios años sin necesidad de cambiarse, pero teniendo un cuidado adecuado. Sin embargo, como se trata de consumir un agua potable para evitar riesgos en la salud de las personas que lo consumen, se recomienda cambiar el carbón activado anualmente teniendo en cuenta que el costo del material es muy económico. [41]

La zeolita es otro material filtrante que se le atribuyen grandes ventajas como mejorar la calidad del agua, permite manera grandes flujos y la brinda una menor caída de presión. Las propiedades que caracterizan a este mineral brindan una durabilidad de hasta 4 años y para su mantenimiento requiere de menos retro lavados que para la arena ya que está no se satura tan rápido. [42]

Considerando que la dotación diaria es de 6 litros por día, el tiempo empleado para alcanzar esta dotación repitiendo por triplicado cada ciclo es de 1 hora con 40 minutos, sin incurrir en gastos adicionales de otros servicios ya que la fuerza de filtración es por acción de la gravedad y no se requiere de ningún otro tipo de fuerza mecánica o impulsora para realizar la operación unitaria de la filtración.

8. CONCLUSIONES

Las condiciones ambientales y meteorológicas son una fuente externa de contaminación no controlable que afecta la calidad del agua del aljibe, ya que este está diseñado a cielo abierto y no cuenta con ningún sistema que lo aisle del medio ambiente por lo que cualquier fuente de contaminación puede ser arrastrada a través de las fuertes corrientes de vientos y lluvias que son frecuentes en la vereda Sucre Occidental en el municipio de Chiquinquirá.

La configuración de operación del segundo planteamiento son las que presentan unos mejores resultados en cuanto a la operación de filtración, midiendo los tiempos más cortos de filtración y la velocidad más alta, atribuyendo estas variables a que este diseño se caracteriza por utilizar zeolita como lecho filtrante con una tasa de filtración de 2,4 m³/h.

Se concluye que una capa de carbón activado muy profunda influye de manera negativamente en los tiempos de filtración disminuyendo la eficiencia del filtro y deteriorando la calidad del agua ya que aumenta la concentración inicial del color, la turbiedad, la alcalinidad total, la conductividad, los sulfatos y los coliformes totales presentes.

La caracterización inicial del agua recolectada por el aljibe y los resultados obtenidos después del tratamiento primario de aguas a través de una filtración de lecho profundo, se identifica que la concentración del cloro residual libre es de 0 mg Cl₂/L, lo cual se justifica ya que la fuente de origen del agua es natural y no existe la presencia de cloro residual a diferencia de las plantas de tratamiento de agua que siempre deben mantener una concentración mínima de cloro para garantizar un agua de buena calidad a lo largo de toda la red de distribución hasta el lugar de salida del efluente.

La selección de las condiciones correspondientes al planteamiento 4 demostraron ser óptimas cumpliendo con el objetivo brindar un agua segura y potable reduciendo por completo la concentración de coliformes totales y alcanzando una concentración permitida por la Resolución 2115 de 2007 de hierro total de 0,28 mg Fe/L.

Se concluye que la implementación de esta filtración es una alternativa lo suficientemente capaz como operación unitaria para el tratamiento primario de agua del aljibe mejorando la calidad del agua haciéndola apta y segura para ser consumida.

La implementación del diseño físico del filtro seleccionado tiene un costo total de 78.200 pesos colombianos. Adicionalmente, se requiere el pago de una serie de pruebas analíticas a lo largo del año para identificar que las condiciones del agua del aljibe no han variado con el tiempo, debido a que, si aumenta la concentración de una o más de las variables que se cumplen actualmente, se debe replantear un nuevo diseño capaz de mejorar los nuevos parámetros que no se están cumpliendo.

El tiempo de vida útil del filtro depende directamente de los materiales seleccionados para la mejorar la calidad del agua del aljibe que en su mayoría son materiales que no requieren ser cambiados, a excepción del carbón activado granular y la zeolita que se recomienda cambiarlos cada 1 y 4 años respectivamente, pero que para garantizar unos buenos resultados se debe realizar un mantenimiento y lavado 4 veces al año con el fin de que la comunidad pueda repetir la operación unitaria de la filtración para tratar el agua cruda del aljibe de manera segura hasta alcanzar los parámetros de un agua potable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Aquaes Fundacion,» Aquaes, 2013. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquaes.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>. [Último acceso: 12 09 2021].
- [2] N. Unidas, «Naciones Unidas. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/global-issues/water>. [Último acceso: 12 09 2021].
- [3] M. D. C. y. J. F. Rojas, «Super Servicios,» 2019. [En línea]. Available: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aa_2018-20-12-2019.pdf. [Último acceso: 12 09 2021].
- [4] O. M. d. I. Salud, «Organizacion Mundial de la Salud,» OMS, [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. [Último acceso: 12 09 2021].
- [5] UNICEF, «Dia mundial del Agua,» UNICEF, [En línea]. Available: <https://www.unicef.es/noticia/dia-mundial-del-agua-1000-ninos-mueren-cada-dia-por-falta-de-agua-potable>. [Último acceso: 12 09 2021].
- [6] Ecocal, «Potabilizacion agua de pozo,» Ecocal, 08 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.descalcificadoraguas.com/descalcificadores/potabilizar-agua-de-pozo/>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [7] Acciona, «Tratamiento del agua,» Acciona, [En línea]. Available: https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/?_adin=02021864894. [Último acceso: 11 12 2021].
- [8] UNAM, «Unidad 3. Adsorcion,» UNAM, [En línea]. Available: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3Adsorcion_19664.pdf. [Último acceso: 28 10 2021].
- [9] AQUAFREE, «Un vistazo sobre los diferentes tipos de filtracion,» Aqua free, 08 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.aqua-free.com/es/revista/un-vistazo-sobre-los-diferentes-tipos-de-filtracion>. [Último acceso: 28 10 2021].
- [10] J. Vasquez, «Catarina,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_r_d/capitulo2.pdf. [Último acceso: 17 09 2021].

- [11] O. M. d. I. Salud, «WHO,» 2006. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf. [Último acceso: 17 09 2021].
- [12] P. Water, «Pure Water,» [En línea]. Available: <https://purewater.com.co/que-es-el-ph-del-agua/>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [13] E. Perez, 03 03 2016. [En línea]. Available: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2884/pdf. [Último acceso: 17 09 2021].
- [14] S. A. Rodriguez, «EduTecne,» 2010. [En línea]. Available: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf. [Último acceso: 17 09 2021].
- [15] C. Bahamon, «Fisicanet,» Fisicanet, [En línea]. Available: <https://www.fisicanet.com.ar/quimica/analitica/lb01-mohr-volhard.php>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [16] P. Londoño, «Caracterizacion de parametros microbiologicos y fisicoquimicos del sistema para producir agua desionizada.,» [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10961/CARACTERI...pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 21 10 2021].
- [17] Microlabindustrial, «Análisis de coliformes totales,» [En línea]. Available: <https://www.microlabindustrial.com/parametros/patogenos/182/coliformes-fecales>. [Último acceso: 21 10 2021].
- [18] M. Y. E. A. Instituto De Hidrologia, «Determinacion de Escherichia Coli y Coliformes totales.,» [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>. [Último acceso: 21 10 2021].
- [19] M. C. R. y. J. J. Rubio, «Repository U. Catolica,» 2014. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [20] A. Vadiviello, «¿Que es un pozo?,» iAgua, [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-pozo-agua>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [21] I. q. especializada, «MK Ingenieria,» MK, [En línea]. Available: <https://mkingenieria.co/lechos-filtrantes/>. [Último acceso: 17 09 2021].

- [22] «Carbotecnia,» Carbotecnia, [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [23] v. y. d. t. Ministerio de ambiente, «Resolucion 2115,» 2007. [En línea]. Available: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf. [Último acceso: 17 09 2021].
- [24] «HUMMA,» Purificadores, 10 07 2019. [En línea]. Available: <https://humma.com.ar/como-funciona-el-carbon-activado/>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [25] C. J. Vargas, «UTMACH,» 11 11 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3120/1/TESIS%20-%20JONATHAN%20LARREA.pdf>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [26] M. d. l. p. social, «Decreto Numero 1575,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [27] M. d. d. economico, «Resolucion 1096,» Alcaldia de Bogota, 2000. [En línea]. Available: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=24174>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [28] M. Municipio, «Informacion del municipio de Chiquinquirá,» Mi Municipio, [En línea]. Available: <https://www.chiquinquiraboyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx> [. [Último acceso: 10 21 2021].
- [29] G. d. Boyaca, «Aspectos Geograficos,» Gobernacion de Boyaca, 2012. [En línea]. Available: <https://www.boyaca.gov.co/aspectos-geograficos/>. [Último acceso: 21 10 2021].
- [30] O. J. G. d. J. S. Maria Carmenza, «IDEAM,» 2010. [En línea]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [31] I. C. d. N. y. Certificacion, «Calidad del Agua,» de *NTC ISO 5567-2*, Bogota, Tecnicas de Muestreo, pp. 1-15.

- [32] Carbotecnia, «¿Que es un lecho profundo?,» Carbotecnia, 17 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-lecho-profundo/>. [Último acceso: 25 10 2021].
- [33] D. A. B. y. J. L. Perez, «Filtros lentos de arena,» [En línea]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [34] A. Madrigal, «Repositorio Digital. Universidad Autonoma Agrario,» 03 2007. [En línea]. Available: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/42543>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [35] S. M. B. C. A. O. L. P. I. D. R. Cifuentes, «Revista de Ingenierias Universidad de Medellin,» 2012. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242012000200004&script=sci_abstract&tlng=es. [Último acceso: 30 10 2021].
- [36] L. leñeria, «Medios filtrantes,» [En línea]. Available: <https://laleneria.com/materiales-filtrantes/>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [37] «La luz solar como asesion de bacterias,» Adventistas, 11 02 2015. [En línea]. Available: <https://noticias.adventistas.org/es/noticia/estilo-de-vida/la-luz-solar-como-asesino-de-bacterias-2/>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [38] INTECH, «Calculo para la seleccion de filtro,» INTECH, 2021. [En línea]. Available: https://intech-gmbh.es/filters_calculation_and_selection/. [Último acceso: 30 10 2021].
- [39] I. D. y. I. Abustan, «CCSE,» 01 02 2012. [En línea]. Available: <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/mas/article/view/14350>. [Último acceso: 30 10 2021].
- [40] G. G. C. y. J. Latorre, «filtracion en multiples etapas.,» 1999. [En línea]. Available: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/255.9-99FI-17025.pdf>. [Último acceso: 02 09 2021].
- [41] Carbotecnia, «Frecuencia de cambio del carbón activado de un equipo,» 01 10 2021. [En línea]. Available: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/equipos-con-carbon-activado/cuando-cambiar-el-carbon-activado-de-mi-equipo/>. [Último acceso: 20 11 2021].
- [42] EVANS, «Purificacion Zeolita,» EVANS, [En línea]. Available: https://www.evans.com.mx/media/manuales/ZEO_FT3.pdf. [Último acceso: 21 11 2021].

- [43] C. -. ICASH, «Catedra Internacional de Estudios Avanzados en Hidratacion,» 21 09 2012. [En línea]. Available: <https://cieah.ulpgc.es/es/efsa-issues-new-recommendations-for-water-intake-in-humans>. [Último acceso: 17 09 2021].
- [44] J. E. Varon, Manual de metodos fisicoquimicos basicos para el analiss de aguas para consumo humano., Programa de Vigilancia por laboratorio de la calidad para consumo Humano, 2011.
- [45] S. Methods, «4500 -Cl- Cloruro,» [En línea]. Available: <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.079>. [Último acceso: 22 10 2021].
- [46] A. P. H. Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, New York: American Public Health Association, 1998.
- [47] G. M. y. S. Moyano, «Tecnica de filtracion ISO 9308,» [En línea]. Available: <https://radi.org.ar/wp-content/uploads/2016/10/12-1.pdf>. [Último acceso: 21 10 2021].

ANEXOS

ANEXO 1

RECOMENDACIONES

Caracterizar el agua recolectada por el aljibe en un periodo corto de tiempo previo al diseño final del filtro ya que, si el tiempo es muy grande, la concentración de los parámetros evaluados puede variar significativamente entre un periodo de tiempo y otro. Además, teniendo en cuenta que la localización del aljibe está a la intemperie, los factores meteorológicos y climatológicos son variables no controladas que afectan la calidad del agua y que deben ser tenidos en cuenta al momento de analizar una muestra del agua cruda.

Se recomienda una revisión de diferentes técnicas y métodos que puedan ser aplicados para incrementar la eficiencia del filtro mejorando los parámetros del color y la turbiedad que no lograron satisfacer los límites establecidos por la resolución colombiana.

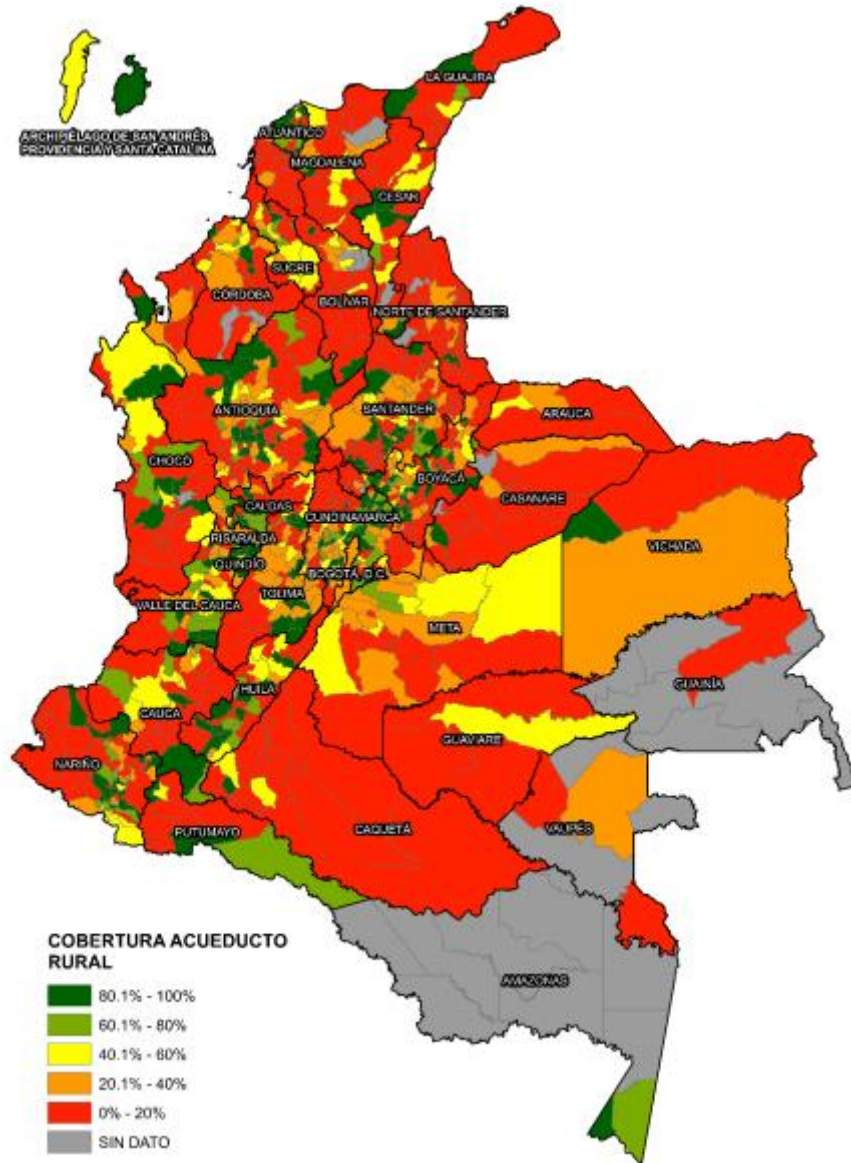
Lavar periódicamente con agua hirviendo los materiales filtrantes y secarlos en un horno para mantener una operabilidad en la filtración sin afectar la calidad del agua filtrada y cambiar el carbón activado granular una vez al año.

Debido a que este recurso hídrico natural es utilizado únicamente para el consumo diario por parte de la población de estudio, se recomienda que los volúmenes filtrados sean almacenados en botellas plásticas de agua potable manteniéndolos refrigeradas a bajas temperaturas, con el fin de inhibir el crecimiento de bacterias y coliformes.

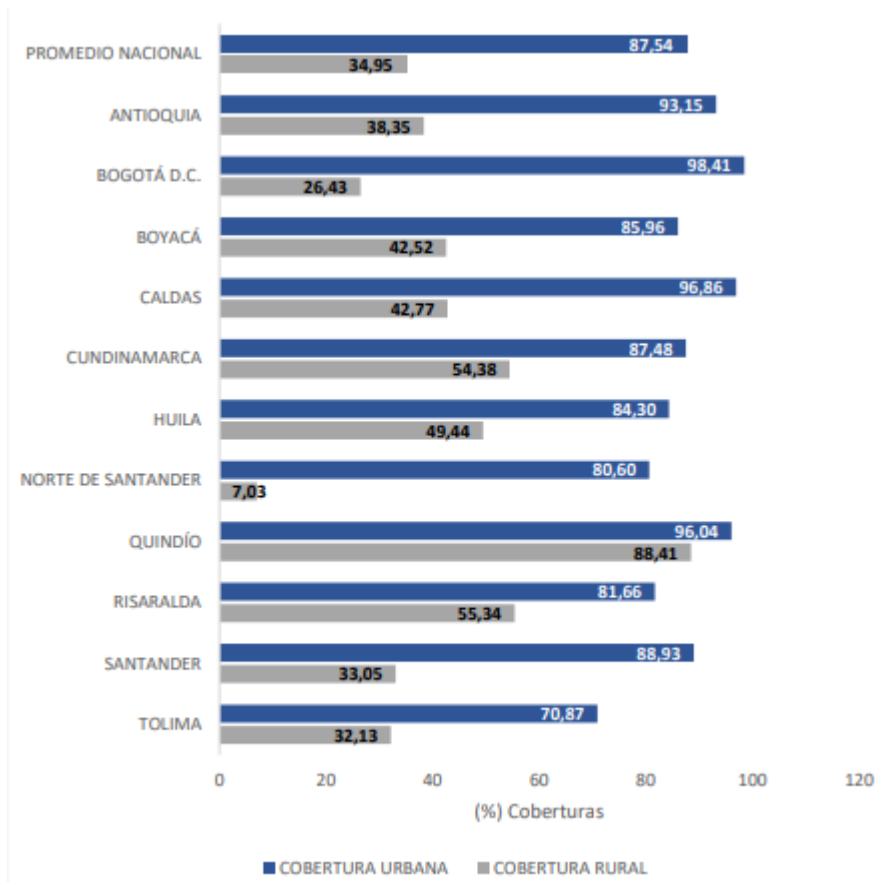
ANEXO 2

COBERTURA DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO EN EL AREA RURAL

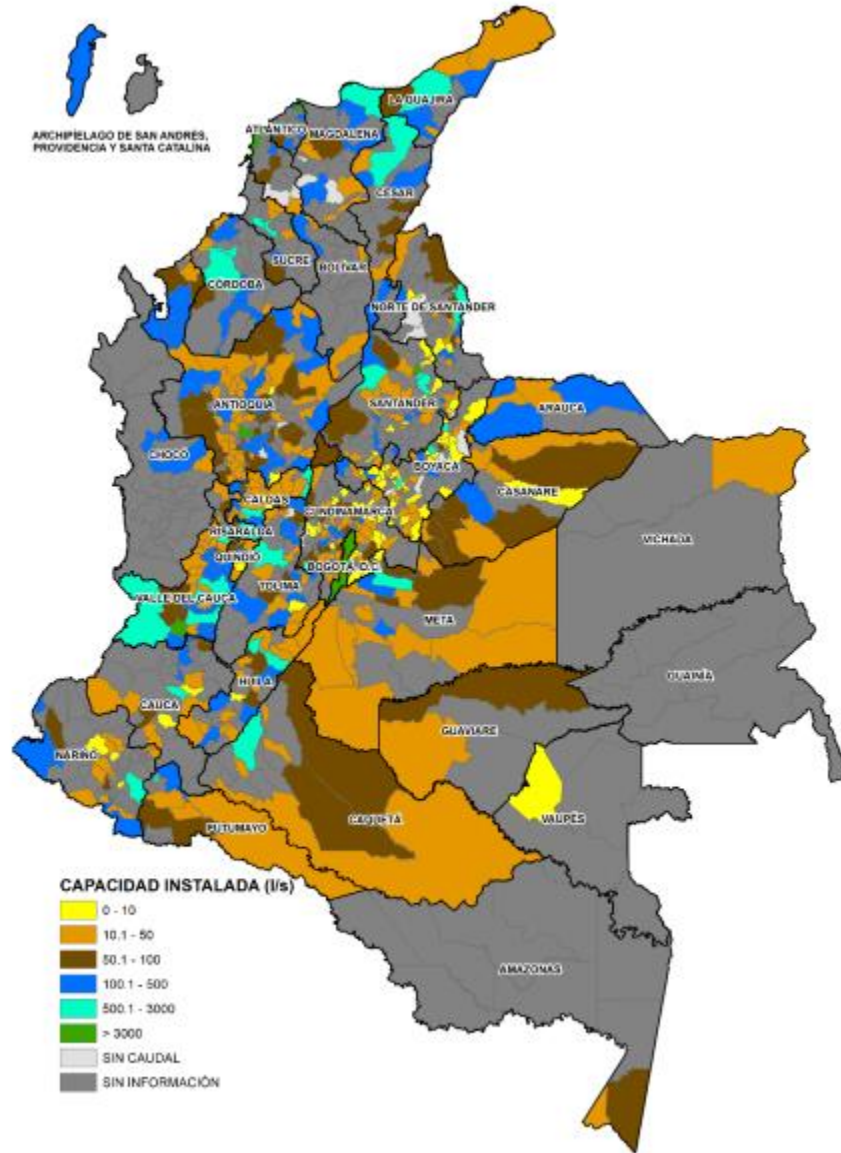
- Colombia 2018



- Porcentaje cobertura región andina 2018



- Capacidad instalada para el tratamiento de aguas 2018



ANEXO 3

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS MUESTRAS

- Resultados caracterización inicial del agua del aljibe (agosto 13 de 2021)



Reporte de Análisis Microbiológico 20210821078

Página: 1 de 1

Razón Social: SÁNCHEZ PÁEZ NICOLAS Principal		C.C 1072713260
Contacto: Nicolas Sanchez		Correo electrónico: nicolaspaez24@gmail.com
Dirección: Calle 15 #1A-39		
Ciudad: Restrepo - Meta	Teléfono: 350-7905539	FAX: N.D.
Observaciones: N.A.		
Fecha Recepción: 2021-08-13	Fecha Análisis: 2021-08-13	Fecha Reporte: 2021-08-24

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	1300ml	BOTELLA PLASTICA + BOLSA PLASTICA ESTERIL	ENVIADA AL LABORATORIO		N.A.	1.3	VEREDA SUCRE OCCIDENTAL CHIQUINQUIRA

RESULTADOS

Descripción de la muestra	# LAB	Recuento Coliformes Totales UFC/100 cm ³	Recuento E coli UFC/100 cm ³
AGUA DE ALJIBE #1	C1078	26	0
MINSALUD RESOLUCION 2115 22-JUN-07 AGUA POTABLE		0	0
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO		ISO 9308-1: 2014	ISO 9308-1: 2014

La muestra **NO CUMPLE** con los parámetros especificados por MINSALUD para AGUA POTABLE en Coliformes Totales ($U \pm 2$ UFC).
 La muestra **CUMPLE** con los parámetros especificados por MINSALUD para AGUA POTABLE en E.coli ($U \pm 2$ UFC).
 U=Incertidumbre estimada en la verificación del Método.

Declaración de conformidad basada en la regla de decisión descrita en la guía ILAC-G8:09:2019 numeral 4.2.1 "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple", descrita en el documento INMF-002 de Nulab.

FIN DEL REPORTE

- Resultados filtro carbón activado 2 mm (septiembre 20 de 2021)



Reporte de Análisis Microbiológico 20210920960

Página: 1 de 1

Razón Social: SÁNCHEZ PÁEZ NICOLAS Principal		C.C 1072713260
Contacto: Nicolas Sanchez	Correo electrónico: nicolaspaez24@gmail.com	
Dirección: Calle 15 #1A-39		
Ciudad: Restrepo - Meta	Teléfono: 350-7905539	FAX: N.D.
Observaciones: N.A.		
Fecha Recepción: 2021-09-20	Fecha Análisis: 2021-09-20	Fecha Reporte: 2021-09-28

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	1200ml	BOLSA PLASTICA ESTERIL + BOTELLA PLASTICA	ENVIADA AL LABORATORIO	N.A.	N.A.	3.0	F.T.19/09/21 TOMADA EN VEREDA SUCRE OCCIDENTAL CHIQUINQUIRA

RESULTADOS

Descripción de la muestra	# LAB	Recuento Coliformes Totales UFC/100 cm ³	Recuento E coli UFC/100 cm ³
AGUA ALJIBE	C0960	>200 CONTEO ESTIMADO	0
MINSALUD RESOLUCIÓN 2115 22-JUN-07 AGUA POTABLE		0	0
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO		ISO 9308-1: 2014*	ISO 9308-1: 2014*

La muestra NO CUMPLE con los parámetros especificados por MINSALUD para AGUA POTABLE en recuento de Coliformes Totales ($U \pm 2$ UFC).
La muestra CUMPLE con los parámetros especificados por MINSALUD para AGUA POTABLE en E.coli ($U \pm 2$ UFC).

U=Incertidumbre estimada en la verificación del Método.

Declaración de conformidad basada en la regla de decisión descrita en la guía ILAC-G8:09:2019 numeral 4.2.1 "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple", descrita en el documento INMF-002 de Nulab.

Nulab con acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de acreditación 16-LAB-002, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017, manifiesta que los análisis identificados con este símbolo (*) se encuentran cubiertos por el alcance de acreditación

FIN DEL REPORTE

- Resultados diseño final (octubre 11 de 2021)



Reporte de Análisis Microbiológico 20211020487

Página: 1 de 1

Razón Social: NICOLAS SANCHEZ Principal		N.I.T 19306713-7
Contacto: Departamento de Calidad		Correo electrónico: nicolaspaez24@gmail.com
Dirección: Calle 188 No. 55A-62		
Ciudad: Bogota DC	Teléfono: 7049599	FAX: N.D.
Observaciones: N.A.		
Fecha Recepción: 2021-10-11	Fecha Análisis: 2021-10-11	Fecha Reporte: 2021-10-13

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	1300ml	BOLSA PLASTICA ESTERIL + BOTELLA PLASTICA	ENVIADA AL LABORATORIO	N.A.	N.A.	9.2	ALJIBE VEREDA SICRE OCCIDENTAL CHIQUINQUIRA

RESULTADOS

Descripción de la muestra	# LAB	Recuento Coliformes TotalesUFC/100 cm ³	Recuento E coliUFC/100 cm ³
AGUA DE ALJIBE	C0487	0	0
MINSALUD RESOLUCION 2115 22-JUN-07 AGUA POTABLE		0	0
MÉTODO DE ANÁLISIS EMPLEADO		ISO 9308-1: 2014	ISO 9308-1: 2014

La muestra CUMPLE con los parámetros especificados por MINSALUD para AGUA POTABLE en los análisis realizados.

Declaración de conformidad basada en la regla de decisión descrita en la guía ILAC-G8:09:2019 numeral 4.2.1 "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple", descrita en el documento INMF-002 de Nulab.

FIN DEL REPORTE

ANEXO 4.

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MUESTRAS

- Resultados caracterización inicial del agua del aljibe (agosto 13 de 2021)



Reporte de Análisis Físicoquímico 20210821078

Página: 1 de 1

Razón Social: SÁNCHEZ PÁEZ NICOLAS Principal		C.C 1072713260
Contacto: Nicolas Sanchez	Correo electrónico: nicolaspaez24@gmail.com	
Dirección: Calle 15 #1A-39		
Ciudad: Restrepo - Meta	Teléfono: 350-7905539	FAX: N.D.
Observaciones: N.A.		
Fecha Recepción: 2021-08-13	Fecha Análisis: 2021-08-13	Fecha Reporte: 2021-08-23 17:14:17

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	1300ml	BOTELLA PLASTICA + BOLSA PLASTICA ESTERIL	ENVIADA AL LABORATORIO		N.A.	13	VEREDA SUCRE OCCIDENTAL CHIQUINQUIRA

AGUA DE ALJIBE #1 (C1078)

ANÁLISIS	RESULTADOS	PARÁMETRO	MÉTODO ANÁLISIS
ALCALINIDAD TOTAL	19.50 mg CaCO ₃ /L	200 mg CaCO ₃ /L Máx.	SM. 2320 B. 23rd Ed. 2017
CALCIO	12.40 mg Ca/L	60 mg Ca/L Máx.	SM. 3500-Ca B. 23rd Ed. 2017
COLOR RESIDUAL LIBRE	0.00 mg Cl ₂ /L	0.3 - 2.0 mg Cl ₂ /L	SM. 4500-Cl-G. 23rd Ed. 2017
CLORUROS	4.75 mg Cl ⁻ /L	250 mg Cl ⁻ /L Máx.	SM. 4500-Cl. B. 23rd Ed. 2017
COLOR	40 UPC	15 UPC Máx.	SM. 2120 B. 23rd Ed. 2017
CONDUCTIVIDAD	117.1 µS/cm	1000 µS/cm Máx.	SM. 2510 B. 23rd Ed. 2017
DUREZA TOTAL	38.00 mg CaCO ₃ /L	300 mg CaCO ₃ /L Máx.	SM. 2340 C. 23rd Ed. 2017
HIERRO TOTAL	0.39 mg Fe/L	0.3 mg Fe/L Máx.	SM. 3500-Fe B. 23rd Ed. 2017
MAGNESIO	1.70 mg Mg/L	36 mg Mg/L Máx.	SM. 3500-Mg B. 23rd Ed. 2017
pH (20°C)	6.61 Unidades de pH	6.5 - 9.0 Unidades de pH	SM. 4500-H+B. 23rd Ed. 2017
SULFATOS	33.90 mg SO ₄ 2 ⁻ /L	250 mg SO ₄ 2 ⁻ /L Máx.	SM. 4500-SO4 2 ⁻ . E. 23rd Ed. 2017
TURBIEDAD	4.35 NTU	2 NTU Máx.	SM. 2130 B. 23rd Ed. 2017

La muestra CUMPLE con la RESOLUCIÓN 2115/2007 de AGUA PARA CONSUMO HUMANO en Alcalinidad, Calcio (U ± 0,19 mg Ca/L), Cloruros, Conductividad, Dureza Total (U ± 0,66 mg CaCO₃/L), Magnesio, pH y Sulfatos.

La muestra NO CUMPLE con la RESOLUCIÓN 2115/2007 para agua para consumo humano en los parámetros de cloro residual libre, turbiedad, hierro y color.

U= Incertidumbre estimada en la verificación del método.

Declaración de conformidad basada en la regla de decisión descrita en la guía ILAC-G8:09:2019 numeral 4.2.1 "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple", descrita en el documento INMF-002 de Nulab.

FIN DEL REPORTE


Revisó:

 Teresa Mantilla Ariza
FÍSICOQUÍMICA

Aprobó:

 Katherine Jurado B.
DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA

- Resultados filtro carbón activado 2 mm (septiembre 20 de 2021)



NULAB
LABORATORIO
Somos su soporte competitivo

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN:
 ALIMENTOS / ASIAS / ADORES / COSMÉTICOS /
 INDUSTRIAL / BIODIESEL /
 CONCENTRADOS PARA ANIMALES /
 CAPACITACIÓN EPIM Y HACOP. ASESORIAS EN
 ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD
 TNP-022-v05

Reporte de Análisis Físicoquímico 20210920960

Página: 1 de 1

Razón Social: SÁNCHEZ PÁEZ NICOLAS Principal		C.C 1072713260
Contacto: Nicolas Sanchez		Correo electrónico: nicolaspaez24@gmail.com
Dirección: Calle 15 #1A-39		
Ciudad: Restrepo - Meta	Teléfono: 350-7905539	FAX: N.D.
Observaciones: N.A.		
Fecha Recepción: 2021-09-20	Fecha Análisis: 2021-09-20	Fecha Reporte: 2021-09-29 16:25:13

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	1200ml	BOLSA PLASTICA ESTERE + BOTELLA PLASTICA	ENVIADA AL LABORATORIO	N.A.	N.A.	3.0	F.T.19/09/21 TOMADA EN VEREDA SUICRE OCCIDENTAL CHIQUINQUIRA

AGUA ALJIBE (C0960)


ANÁLISIS	RESULTADOS	PARAMETRO	MÉTODO ANÁLISIS
ALCALINIDAD TOTAL	121.50 mg CaCO ₃ /L	200 mg CaCO ₃ /L. Máx.	SM. 2320 B. 23rd Ed. 2017
CALCIO	5.20 mg Ca/L	60 mg Ca/L. Máx.	SM. 3500-Ca B. 23rd Ed. 2017
CLORO RESIDUAL LIBRE	0.00 mg Cl ₂ /L	0.3 - 2.0 mg Cl ₂ /L	SM. 4500-Cl ₂ G. 23rd Ed. 2017
CLORUROS	39.00 mg Cl- /L	250 mg Cl- /L. Máx.	SM. 4500-Cl- B. 23rd Ed. 2017
COLOR	440 UPC	15 UPC Máx.	SM. 2120 B. 23rd Ed. 2017
CONDUCTIVIDAD	757 µS/cm	1000 µS/cm Máx.	SM. 2510 B. 23rd Ed. 2017
DUREZA TOTAL	17.00 mg CaCO ₃ /L	300 mg CaCO ₃ /L. Máx.	SM. 2340 C. 23rd Ed. 2017
HIERRO TOTAL	1.11 mg Fe/L	0.3 mg Fe/L. Máx.	SM. 3500-Fe B. 23rd Ed. 2017
MAGNESIO	0.97 mg Mg/L	36 mg Mg/L. Máx.	SM. 3500-Mg B. 23rd Ed. 2017
pH (20°C)	8.13 Unidades de pH	6.5 - 9.0 Unidades de pH	SM. 4500-H+B. 23rd Ed. 2017
SULFATOS	135.98 mg SO ₄ 2- /L	250 mg SO ₄ 2- /L. Máx.	SM. 4500-SO ₄ 2- E. 23rd Ed. 2017
TURBIEDAD	87.1 NTU	2 NTU Máx.	SM. 2130 B. 23rd Ed. 2017

La muestra CUMPLE con la RESOLUCIÓN 2115/2007 de AGUA PARA CONSUMO HUMANO en Alcalinidad, Calcio (U ± 0,10 mg Ca/L), Cloruros, Conductividad, Dureza Total (U ± 0,66 mg CaCO₃ /L), Magnesio, pH y Sulfatos.
 La muestra NO CUMPLE con la RESOLUCIÓN 2115/2007 para AGUA PARA CONSUMO HUMANO. Los valores de Cloro residual libre, Color, Hierro y Turbiedad están fuera de los parámetros establecidos.
 U= Incertidumbre estimada en la verificación del método.

Declaración de conformidad basada en la regla de decisión descrita en la guía ILAC-G8:09:2019 numeral 4.2.1 "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple", descrita en el documento INMF-002 de Nulab.


FIN DEL REPORTE

Revisó:




FISICOQUIMICA

Aprobó:



DIRECTOR DE FISICOQUIMICA

- Resultados diseño final (octubre 11 de 2021)



NULAB
LABORATORIO
Somos su soporte competitivo

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS EN:
ALIMENTOS / ABLAR / LICIOS / COSMÉTICOS /
FARMACIALES / INSECTICIDAS /
CONCENTRADOS PARA ANIMALES /
CARACTACIÓN, BPM Y HACCP, ABEORIAS EN
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

FMF-022-v05

Reporte de Análisis Físicoquímico 20211020487

Página: 1 de 1

Razón Social: NICOLAS SANCHEZ Principal	N.I.T 19306713-7
Contacto: Departamento de Calidad	Correo electrónico: nicolaspaez24@gmail.com
Dirección: Calle 188 No. 55A-62	
Ciudad: Bogotá DC	Teléfono: 7049599 FAX: N.D.
Observaciones: N.A.	
Fecha Recepción: 2021-10-11	Fecha Análisis: 2021-10-11 Fecha Reporte: 2021-10-22 09:03:49

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Proveedor	Cantidad	Presentación	Lugar Muestra	Lote	Vencimiento	Temp. °C	Condiciones específicas de la muestra
N.A.	1300ml	BOLSA PLASTICA ESTERIL + BOTELLA PLASTICA	ENVIADA AL LABORATORIO	N.A.	N.A.	9.2	ALJIBE VEREDA SUCRE OCCIDENTAL CHIQUINQUIRA

AGUA DE ALJIBE (C0487)

ANÁLISIS	RESULTADOS	PARÁMETRO	MÉTODO ANÁLISIS
ALCALINIDAD TOTAL	39.50 mg CaCO ₃ /L	200 mg CaCO ₃ /L Máx.	SM. 2320 B. 23rd Ed. 2017
CALCIO	26.00 mg Ca/L	60 mg Ca/L Máx.	SM. 3500-Ca B. 23rd Ed. 2017
CLORO RESIDUAL LIBRE	0.00 mg Cl ₂ /L	0.3 - 2.0 mg Cl ₂ /L	SM. 4500-Cl-G. 23rd Ed. 2017
CLORUROS	10.00 mg Cl ⁻ /L	250 mg Cl ⁻ /L Máx.	SM. 4500-Cl- B. 23rd Ed. 2017
COLOR	35 UPC	15 UPC Máx.	SM. 2120 B. 23rd Ed. 2017
CONDUCTIVIDAD	290.1 µS/cm	1000 µS/cm Máx.	SM. 2510 B. 23rd Ed. 2017
DUREZA TOTAL	84.00 mg CaCO ₃ /L	300 mg CaCO ₃ /L Máx.	SM. 2340 C. 23rd Ed. 2017
HIERRO TOTAL	0.28 mg Fe/L	0.3 mg Fe/L Máx.	SM. 3500-Fe B. 23rd Ed. 2017
MAGNESIO	4.62 mg Mg/L	36 mg Mg/L Máx.	SM. 3500-Mg B. 23rd Ed. 2017
pH (20°C)	8.51 Unidades de pH	6.5 - 9.0 Unidades de pH	SM. 4500-H-B. 23rd Ed. 2017
SULFATOS	60.15 mg SO ₄ 2 ⁻ /L	250 mg SO ₄ 2 ⁻ /L Máx.	SM. 4500-SO ₄ 2 ⁻ . E. 23rd Ed. 2017
TURBIEDAD	9.86 NTU	2 NTU Máx.	SM. 2130 B. 23rd Ed. 2017


La muestra CUMPLE con la RESOLUCIÓN 2115/2007 de AGUA PARA CONSUMO HUMANO en Alcalinidad, Calcio (U ± 0,19 mg Ca/L), Cloruros, Conductividad, Dureza Total (U ± 0,66 mg CaCO₃ /L), Hierro, Magnesio, pH y Sulfatos.

La muestra NO CUMPLE con la RESOLUCIÓN 2115/2007 para AGUA PARA CONSUMO HUMANO. Los valores de Cloro residual libre, Color y Turbiedad están fuera de los parámetros establecidos.

U= Incertidumbre estimada en la verificación del método.

Declaración de conformidad basada en la regla de decisión descrita en la guía ILAC-G8:09:2019 numeral 4.2.1 "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple", descrita en el documento INMF-002 de Nulab.

Revisó:




Yessica Mantilla Ariza

FISICOQUIMICA

FIN DEL REPORTE

Aprobó:



Katherine Jurado B.

DIRECTOR DE FISICOQUIMICA