

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
SUBTERRANEA PARA LA FINCA LAS BRISAS EN NEMOCÓN,
CUNDINAMARCA**

**DANIEL FERNANDO OSPINA GÓMEZ
ANDRÉS FELIPE ORJUELA BARRERO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2019**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
SUBTERRANEA PARA LA FINCA LAS BRISAS EN NEMOCÓN,
CUNDINAMARCA**

**DANIEL FERNANDO OSPINA GÓMEZ
ANDRÉS FELIPE ORJUELA BARRERO**

**Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
ALEXANDER LÓPEZ CASTRO
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2019**

Nota De Aceptación

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina
Jurado 1

Ing. Angie Tatiana Ortega Ramírez
Jurado 2

Bogotá D.C., Mayo del 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dr. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

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

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de grado a nuestros padres quienes nos apoyaron incondicionalmente desde el principio y nos brindaron toda su atención y fortaleza motivándonos en los momentos críticos y difíciles para llevar a cabo este proyecto y de esta forma alcanzar nuestro título como ingenieros químicos, por estas y muchas otras razones agradecemos a María de los Ángeles Gómez, Martha Liliana Barrero Páez, Oscar Orjuela Matiz y Armando Barrero Bonilla. También agradecemos a Dios por brindarnos las facultades físicas y mentales para alcanzar las metas propuestas durante el proyecto y la carrera.

*Andrés F. Orjuela Barrero
Daniel F. Ospina Gómez*

AGRADECIMIENTOS

A la Ingeniera Elizabeth Torres Gamez, quien estuvo a cargo de la orientación para la realización de nuestro proyecto de grado.

Al Ingeniero Alexander López Castro por dirigir nuestro proyecto de grado brindándonos su apoyo, tiempo y conocimientos.

Al señor José Cenon Ramírez Cubides por abrirnos las puertas de su propiedad y brindarnos la oportunidad y las herramientas para la realización de nuestro proyecto de grado.

A la Ingeniera Yenny Paulina Hernández Prieto por la gestión de los laboratorios.

A la Fundación Universidad de América por brindarnos los conocimientos y el apoyo requerido para el desarrollo de nuestro proyecto de grado.

CONTENIDO

	pág.
INDRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1 GENERALIDADES	21
1.1 GENERALIDADES DE LA FINCA LAS BRISAS	21
1.2 LOCALIZACIÓN	21
1.3 MARCO TEÓRICO	22
1.3.1 Generalidades del agua.	22
1.3.1.1 Aspectos microbiológicos.	22
1.3.1.2 Aspectos fisicoquímicos.	24
1.3.2 Agua superficial.	29
1.3.3 Agua subterránea.	29
1.3.4 Agua potable.	30
1.3.4.1 Características microbiológicas del agua potable.	30
1.3.4.2 Características fisicoquímicas del agua potable.	30
1.4 SISTEMA DE POTABILIZACIÓN	31
1.4.1 Tipos de potabilizadoras.	32
1.4.1.1 Convencional.	32
1.4.1.2 Compacta.	32
1.4.1.3 Filtración Directa.	33
1.4.2 Pretratamiento.	34
1.4.2.1 Aireación.	35
1.4.2.2 Coagulación.	37
1.4.2.3 Floculación.	38
1.4.2.4 Filtración.	39
1.4.2.5 Desinfección.	42
1.4.2.6 Neutralización.	42
1.5 MARCO LEGAL	44
1.5.1 Decreto Número 1575 de 2007.	44
1.5.2 Decreto Número 475 de 1998.	45
1.5.3 Decreto Numero 2115 de 2007.	45
1.5.4 Resolución 1096 de 2000 (RAS).	46
1.5.4.1 Título A.	46
1.5.4.2 Título C.	46
1.5.5 Resolución Número 0330 de 2017.	47
1.5.6 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-2.	47
1.5.7 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-3.	47
1.5.8 Norma Técnica Colombiana NTC 3903.	47
2. DIAGNÓSTICO	49

2.1 Agua proveniente del pozo (Afluente).	49
2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS	50
2.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL	55
3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	58
3.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	58
3.1.1 Criterios de Selección de la alternativa.	59
3.2 PRETRATAMIENTO	63
3.2.1 Selección del tipo de aireador.	64
3.2.2 Torre de aireación a escala.	66
3.3 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	68
3.3.1 Selección de la unidad de mezcla.	69
3.3.2 Prueba de jarras.	71
3.3.3 Selección de coagulantes.	72
3.3.3.1 Cloruro Férrico.	72
3.3.3.2 Sulfato de Aluminio.	72
3.3.3.3 Hidroxicloruro de Aluminio.	72
3.3.4 Preparación de Coagulantes. L	72
3.3.4.1 Cloruro Férrico.	72
3.3.4.2 Sulfato de Aluminio	72
3.3.4.3 Hidroxicloruro de Aluminio	72
3.3.5 Preparación de floculante.	72
3.3.6 Preparación de desinfectante	73
3.3.7 Preparación de neutralizante	73
3.3.8 Pre- experimentación.	73
3.3.9 Experimentación prueba de jarras.	76
3.3.9.1 Prueba de Jarras No 1.	77
3.3.9.2 Prueba de jarras No. 2.	79
3.4 FILTRACIÓN	80
3.5 DESINFECCIÓN	81
3.6 NEUTRALIZACIÓN	84
3.7 TRATAMIENTO SELECCIONADO	84
4. ESPECIFICACION DE ETAPAS DE TRATAMIENTO	87
4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DOSIFICACIÓN	87
4.1.1 Coagulación.	87
4.1.2 Floculación.	87
4.1.3 Desinfección.	
4.1.4 Neutralizante.	88
4.2 TORRE DE AIREACIÓN	88
4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE MEZCLA	92
4.4 CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO	97
4.4.1 Porosidad	98
4.4.2 Velocidad intersticia	98
4.4.3 Diámetro hidráulico.	99

5. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA	102
5.1 COSTOS DE EQUIPOS	102
5.1.1 Costos operacionales.	103
5.1.1.1 Costos mensuales y anuales de reactivos.	103
5.1.1.2 Agua de servicio.	104
5.1.1.3 Costo de mano de obra y mantenimiento.	105
5.1.1.4 Costo energético.	105
5.1.2 Costos anualizados.	106
5.2 VIABILIDAD DE LA PROPUESTA	107
6. CONCLUSIONES	110
7. RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFIA	113
ANEXOS	117

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Características microbiológicas del agua potable y técnicas utilizadas.	30
Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos del agua potable.	30
Cuadro 3. Clasificación de los sistemas de filtración directa.	34
Cuadro 4. Características de los floculantes.	39
Cuadro 5. Propósito de cada etapa de tratamiento.	43
Cuadro 6. Características físicas.	45
Cuadro 7. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.	46
Cuadro 8. Caracterización del agua subterránea respecto norma 2115 de 2007 agua potable.	50
Cuadro 9. Resultado análisis de hierro adicionales.	53
Cuadro 10. Ventajas y desventajas de las alternativas de tratamiento.	58
Cuadro 11. Descripción criterios de selección.	60
Cuadro 12. Porcentaje de importancia para cada criterio.	61
Cuadro 13. Calificación correspondiente al nivel de importancia.	61
Cuadro 14. Matriz de selección sistema de tratamiento.	62
Cuadro 15. Criterios de selección unidad de aireación.	64
Cuadro 16. Porcentaje de importancia asignado a cada criterio	65
Cuadro 17. Matriz de selección unidad de aireación.	65
Cuadro 18. Criterios de selección unidad de mezcla para la etapa de coagulación y floculación.	69
Cuadro 19. Porcentaje de importancia asignado.	69
Cuadro 20. Matriz de selección unidad de coagulación-floculación.	70
Cuadro 21. Matriz de selección unidad de coagulación-floculación.	71
Cuadro 22. Propuesta de potabilización de agua.	84
Cuadro 23. Resultados de los parámetros de interés en el agua tratada.	85
Cuadro 24. Cuadro comparativo concentraciones antes y después del tratamiento.	85
Cuadro 25. Calculo índice de riesgo irca para agua tratada.	86
Cuadro 26. Filtro de lecho profundo.	98

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tiempo de contacto requerido para remoción de contaminantes.	35
Tabla 2. Agente coagulante de acuerdo con la alcalinidad del agua a tratar.	38
Tabla 3. Arena para filtros rápidos	40
Tabla 4. Relación para filtro de medio dual.	42
Tabla 5. Calculo índice de calidad del agua irca.	55
Tabla 6. Clasificación del agua según la dureza	55
Tabla 7. Medición del caudal.	56
Tabla 8. Medición de temperatura, ph y conductividad en campo	56
Tabla 9. Dosificación de FeCl_3 y floculante en prueba de jarras.	75
Tabla 10. Resultados segunda prueba de jarras.	76
Tabla 11. Variación de la dosis de cloruro férrico al 1% a floculante polímero catiónico I-1569a constante.	77
Tabla 12. Resultados cuarta prueba de jarras.	78
Tabla 13. Evaluación de la dosis de I1569a al 0,08%.	79
Tabla 14. Resultados variación de cloruro férrico al 1% entre 62,5 y 75 ppm y L1569a al 0,08% desde 2 ppm hasta 8 ppm.	79
Tabla 15. Dosificación de hipoclorito de calcio para cada jarra.	82
Tabla 16. Concentración de cloro residual.	83
Tabla 17. Dosificación de Ca(OH)_2 al 0,18%.	84
Tabla 18. Resumen parámetros torre de aireación.	92
Tabla 19. Costo de unidades, elementos, accesorios del sistema de potabilización.	102
Tabla 20. Costos mensuales y anuales de reactivos	104
Tabla 21. Horas anuales requeridas en operación del sistema.	105
Tabla 22. Consumo energético mensual	106
Tabla 23. Consumo energético anual	106
Tabla 24. Costos de operación.	106
Tabla 25. Costo total de la propuesta del sistema de potabilización	107
Tabla 26. Pérdidas anuales por desabastecimiento de agua potable.	107
Tabla 27. Flujo de caja para el análisis caue	108

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo del índice irca según resolución 2115 de 2007	54
Ecuación 2. Cálculo de la calificación de parámetros.	62
Ecuación 3. Sumatoria calificación del sistema de potabilización.	62
Ecuación 4. Número total de orificios.	66
Ecuación 5. Cálculo del caudal de descarga del orificio.	66
Ecuación 6. Cálculo tiempo de exposición en torre de aireación.	67
Ecuación 7. Dosis mínima de sulfato de aluminio	73
Ecuación 8. Dosis máxima de sulfato de aluminio	73
Ecuación 9. Cálculo del porcentaje de remoción.	75
Ecuación 10. Área total de las bandejas.	88
Ecuación 11. Área de cada bandeja.	89
Ecuación 12. Longitud de cada lado de la bandeja.	89
Ecuación 13. Volumen de un cilindro.	92
Ecuación 14. Diámetro del impulsor.	93
Ecuación 15. Cálculo de gradiente.	93
Ecuación 16. Potencia requerida.	94
Ecuación 17. Cálculo de la velocidad de rotación (mezclador).	94
Ecuación 18. Relación de richter para ancho de las paletas.	95
Ecuación 19. Relación de richter para altura de la turbina	95
Ecuación 20. Relación de richter para longitud de las paletas.	95
Ecuación 21. Relación de richter para ancho de los estatores.	95
Ecuación 22. Dimensionamiento tolva.	96
Ecuación 23. Volumen del cono.	96
Ecuación 24. Volumen total.	97
Ecuación 25. Cálculo de la porosidad del medio.	98
Ecuación 26. Cálculo de la velocidad intersticial.	98
Ecuación 27. Cálculo del diámetro hidráulico.	99
Ecuación 28. Cálculo de la tasa interna de oportunidad.	108
Ecuación 29. Cálculo del VPN	108
Ecuación 30. Cálculo del CAUE.	109
Ecuación 31. Dosificación reactivos químicos.	134

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Finca las brisas, nemocón, cundinamarca	22
Figura 2. Diagrama sistema de potabilización convencional	32
Figura 3. Diagrama de sistema de potabilización por filtración directa.	34
Figura 4. Torre de aireación por bandejas	36
Figura 5. Aireación por vertedero o cascada.	36
Figura 6. Aireador manual para remoción de hierro y manganeso	37
Figura 7. Cambio en el aspecto del agua por el aumento en concentración de hierro.	54
Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de potabilización convencional.	63
Figura 9. Prueba experimental de aireación por torre de bandejas.	68
Figura 10. Resultado obtenido en la jarra 2.	76
Figura 11. Disminución en la dosificación de cloruro férrico al 1%	78
Figura 12. Floculo sedimentado con 75 ppm de $FeCl_3$ y 0,2 ppm, 0,5 ppm y 0,8ppm de lipesa 1569a.	80
Figura 13. Filtro experimental con gradiente granulométrico.	81
Figura 14. Determinación cloro residual.	82
Figura 15. Torre de aireación por bandejas (cm).	91
Figura 16. Tanque homogeneizador.	97
Figura 17. Funcionamiento filtro lecho profundo.	99
Figura 18. Diagrama del sistema de tratamiento de agua potable.	101

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Precipitación media mensual en el municipio de nemocón.	49
Grafica 2. Parámetros fisicoquímicos resolución 2115 de 2007.	52
Grafica 3. Incumplimiento de la resolución 2115 de 2007 para mesófilos	52
Grafica 4. Curva de cloro residual, con hipoclorito de calcio al 1%.	83

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Resultados primera caracterizacion laboratorio biotrends	116
Anexo B. Resultados segunda caracterizacion de hierro total	119
Anexo C. Resultados tercera caracterizacion de hierro total	120
Anexo D. Resultados caracterizacion final laboratorio biotrends	121
Anexo E. Ficha tecnica cloruro ferrico	123
Anexo F. Cotizacion coagulante, desinfectante, lecho filtrante	124
Anexo G. Cotizacion lecho filtrante	126
Anexo H. Cotizacion y ficha tecnica lipesa L1569-a	127
Anexo I. Ficha tecnica bomba de filtracion	130
Anexo J. Cotizacion torre de aireacion tanque de clarificado	132
Anexo K. Cotizacion equipos de control hanna instruments	133
Anexo L. Calculo de dosificacion de coagulante, floculante, desinfectante y neutralizante en ppm	134
Anexo M. Indice de Willcomb	136
Anexo N. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el irca por muestra, el irca mensual y acciones que deben adelantarse	137
Anexo O. Valores de k para algunos tipos de impulsores	138

LISTA DE ABREVIATURAS

COT: Carbóno orgánico total.
IRCA: Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.
NTC: Norma técnica colombiana.
NTU: Número de unidades de turbiedad.
OD: Oxígeno disuelto.
PAC: Hidroxicloruro de Aluminio.
PFD: Diagrama de flujo de procesos.
ppm: Partes por millón.
PTAP: Planta de tratamiento de agua potable.
PtCo: Patrón de color.
RAS: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.
RPM: Revoluciones por minuto.
SDT: Solidos disueltos totales.
SST: Solidos suspendidos totales.
UFC: Unidades formadoras de colonia

RESUMEN

El presente proyecto plantea una propuesta de un sistema de potabilización de agua subterránea para la finca Las Brisas, debido a que el suministro de agua potable es insuficiente e inconsistente generando retrasos y pérdidas en los procesos productivos de la finca.

Se determinan las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del afluente y así conocer los parámetros que se incumplen respecto a la resolución 2115 de 2007 para la calidad del agua para consumo humano, a partir de estos resultados realizar una búsqueda bibliográfica de sistemas de tratamiento empleados para potabilización de aguas; mediante una matriz de selección establecer cuál es el sistema que mejor se ajusta a las necesidades de la finca. La aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y neutralización son las etapas que se llevan a cabo experimentalmente con el fin de establecer las condiciones de operación del sistema, donde se concluye que para la coagulación se emplea cloruro férrico (FeCl_3), en la floculación Lipesa 1569A, en la desinfección hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) y en la neutralización hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Posterior al desarrollo experimental se realizan las especificaciones técnicas del diseño propuesto.

Finalmente se realiza un análisis financiero del sistema planteado evaluando los costos de la propuesta, viabilidad financiera y los beneficios para la finca si se implementara la propuesta.

PALABRAS CLAVE: Agua Potable, Tratamiento de Agua, Agua Subterránea, Parámetros de Diseño.

INTRODUCCIÓN

El agua potable es una necesidad básica del hombre pues es vital en su ciclo alimenticio, además de ser una materia prima para procesos en diferentes sectores de la economía, por ejemplo, en la agricultura, en procesos industriales, servicios, etc. Por estos motivos el hombre se ha visto en la obligación de potabilizar y estabilizar el agua de diferentes cuerpos hídricos que no cumplen con las condiciones para su consumo; por esto, el objetivo principal es proveer a toda la población de agua potable con el fin de que cada persona pueda satisfacer su necesidad fundamental para su bienestar y comodidad. En diferentes zonas del territorio colombiano la problemática va más allá de la calidad del agua potable, otro gran problema es el acceso a este recurso como ocurre en zonas rurales y poblaciones dispersas que no cuenta con la cobertura de este servicio, generando problemas en la salud y calidad de vida¹.

La Finca Las Brisas en Nemocón, Cundinamarca, es una de las múltiples fincas que se encuentran en la zona rural de los diferentes municipios aledaños a la Sabana de Bogotá, en este caso la zona rural del municipio de Nemocón, Cundinamarca en la vereda La Checua. Actualmente, la finca cuenta con tres tipos de cultivos los cuales son: el cultivo de rosas, tomate y por último con la producción de champiñones. Dichos cultivos generan una demanda significativa en el abastecimiento de agua potable, que es de aproximadamente 60 m³ al mes, por este motivo la finca busca mejorar las condiciones de operación de sus cultivos porque presenta problemas de intermitencia tanto en el suministro, como en la calidad de este recurso.

En este proyecto se busca proponer un sistema de potabilización de agua que brinde un suministro constante con parámetros estables en la calidad del recurso, cumpliendo con los estándares exigidos por la resolución 2115 de 2007, aprovechando un pozo de 90 metros de profundidad que se encuentra en el interior de la finca a una distancia de 4.5 m del sistema de producción de champiñones y que posee una bomba sumergible que cumple funciones de distribución y abastecimiento para labores de riego.

Es necesaria el agua potable para la producción de champiñones, considerando que las condiciones del cultivo son bastante específicas y a su vez para mejorar la calidad de vida de los habitantes de dicha finca.

¹ UNICEF, COLOMBIA. El estado del agua, alcantarillado y los residuos sólidos en los municipios. En: El agua potable y saneamiento básico en los planes de desarrollo. Cap 1. 32-35 [En Línea], [Citado 2 de abril 2019] Disponible en: <https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para un sistema de potabilización de agua subterránea, para la finca Las Brisas en el municipio de Nemocón, Cundinamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la corriente del influente al sistema de potabilización.
- Establecer un sistema para la potabilización de agua subterránea, por medio de un desarrollo experimental.
- Especificar las características y condiciones de operación de las etapas con las que contara el sistema de potabilización.
- Realizar el análisis financiero de la propuesta de potabilización de agua subterránea.

1. GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES DE LA FINCA LAS BRISAS

La Finca Las Brisas ubicada en Nemocón, Cundinamarca, se encuentra en la zona rural vereda La Checua. El municipio de Nemocón está en la sabana de Bogotá, en la cual existen pozos con profundidades entre 60 y 600 m y caudales entre 1 y 18 LPS²; pozos de gran importancia para el abastecimiento del agua para consumo humano y riego. La sabana de Bogotá cuenta con un balance favorable en la relación de carga y descarga de los acuíferos lo que permite pensar en incrementar el uso del agua subterránea sin causar descenso en los niveles de los acuíferos³. La finca hace parte del sector primario de la economía debido a que se dedica a la producción agrícola con cultivos que generan una demanda de 60 m³ de agua al mes. La producción de la finca es comercializada a nivel departamental principalmente en la ciudad de Bogotá y en el centro de acopio Corabastos.

En la actualidad la finca posee un área total de 34279,11 m² la cual está dividida en tres viveros, uno de ellos dedicado a la producción de tomate, los otros dos destinados a la producción de rosas y para la producción de champiñón. Cuenta con una amplia infraestructura que consta de una bodega de recepción de materia prima, una bodega de compostaje, un cuarto de pasteurización, un molino de bolas y ocho salas de cultivo, además de esto una bodega de almacenamiento y distribución de producto terminado. En el interior de la finca hay un pozo de 90 m de profundidad con una bomba sumergible encargada de transportar el agua hasta la superficie y ser empleada para riego, esta se encuentra a una distancia de 4 o 5 m del sistema de producción de champiñones.

1.2 LOCALIZACIÓN

La finca Las Brisas se encuentra localizada al noroccidente del municipio de Nemocón, en la vereda la Checua, cercana a los municipios de Tausa, Suesca, Cundinamarca. En la **Figura 1** se muestra la ubicación de la finca a 5,9 km con respecto a la cabecera municipal de Nemocón, la ruta de acceso y la distribución de los viveros al interior de la finca.

Su cabecera municipal está localizada a los 5° 04´ 09” de latitud norte y 73° 52´ 48” de longitud oeste. La mayor parte del territorio es de clima frío, la precipitación media anual es de 629,7 mm, los periodos más lluviosos van de septiembre a diciembre y el más seco de diciembre a marzo.

² MONTOYA ARENAS, Diana María. REYES TORRES, German Alfonso. Geología de la Sabana de Bogotá. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS. Bogotá D.C.. 2005., p. 95.

³ Ibid., p. 96.

El municipio de Nemocón cuenta con una extensión total de 9.811,19 Has, distribuida en una extensión de área urbana correspondiente a 61,19 Has y área rural 9,75 Has, una temperatura de 12,8 °C⁴.

Figura 1. Finca Las Brisas, Nemocón, Cundinamarca



Fuente. Google maps. Nemocón. Cundinamarca [en línea]. [17 de octubre de 2018]. Disponible en: [\[https://www.google.com/maps/place/Nemoc%C3%B3n,+Cundinamarca/@5.1033342,-73.8722744,671a,35y,230.34h/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e406cfca14a12a7:0xbdc94f5344cec08a!8m2!3d5.066969!4d-73.880696\]](https://www.google.com/maps/place/Nemoc%C3%B3n,+Cundinamarca/@5.1033342,-73.8722744,671a,35y,230.34h/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e406cfca14a12a7:0xbdc94f5344cec08a!8m2!3d5.066969!4d-73.880696)

1.3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hace la descripción de los conceptos relacionados con el desarrollo del proyecto, como operaciones unitarias, tipos de tratamientos, variables relacionadas a las operaciones, tipos de contaminantes, tipos de agua, métodos alternativos, algunos datos comparativos sobre técnicas de desinfección y los valores máximos permitidos en la normatividad colombiana de sustancias físicas, químicas y microbiológicas para agua potable.

1.3.1 Generalidades del agua. El agua, en su estado natural no es pura, al ser su naturaleza variable en composición es necesario realizar tratamientos adecuados para su consumo y tener un detallado control sobre las siguientes características.

1.3.1.1 Aspectos microbiológicos. Es uno de los mayores factores de riesgo para la salud debido a que puede estar en contacto con contaminantes como las heces humanas o animales, por lo tanto puede contener los siguiente organismos patógenos: Bacterias (*E.coli*, *Klebsiella* y *Salmonella*), Virus de origen

⁴ Gobierno Digital. Alcaldía Municipal de Nemocón Cundinamarca. Nuestro municipio. 2018 [en línea], [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en: <http://www.nemocon-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

entérico (enterovirus, astrovirus, adenovirus, virus de hepatitis A y E), protozoos (*Cryptosporidium*, *Entamoeba histolítica* y *Giardia lamblia*), algas, hongos, larvas, y pequeños crustáceos, los cuales pueden causar un incremento en el color, turbidez, mal sabor y olor.

- **Coliformes Totales.** Son microorganismos que habitan normalmente en el suelo y en la vegetación, estos son bacterias Gram negativas, que fermentan la lactosa y producen ácido y gas (CO₂) entre los 35 y 37 °C. Dentro de este grupo se encuentran los siguientes microorganismos: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*, entre otros. En términos generales, este grupo se emplea como indicador de contaminación microbiológica.
- **Coliformes Fecales.** Subgrupo de los Coliformes Totales que se identifican por la capacidad de fermentar la lactosa a temperaturas más elevadas, entre los 44 y 45 °C, es decir, son termoestables. Sin embargo, ya no son considerados un indicador efectivo de contaminación por heces puesto que algunos de ellos, de origen no fecal, son también termoestables⁵.
- **Mesófilos Aerobios.** Bacterias mesofílicas, son las bacterias que descomponen la materia orgánica a temperaturas que oscilan entre 30 y 40 °C. Las bacterias mesofílicas aerobias proporcionan información acerca del número de bacterias viables, por lo que representan un recurso valioso adicional para determinar el grado de exposición de los alimentos a la contaminación por microorganismos. El recuento de estos organismos representa un respaldo al significado atribuido a los resultados de los análisis de los coliformes⁶.
- **Enterococos o Streptococos Fecales.** Este grupo es otro indicador de contaminación por organismos patógenos en el agua, además de ser más resistentes a los desinfectantes, lo emplean para determinar cuales es la relación de coliformes fecales provenientes de humanos o animales. Mediante el siguiente cociente propuesto por Geldreich y Kenner:

$$\frac{\text{Coliformes fecales}}{\text{Streptococos Fecales}}$$

Si la relación tiene un resultado >4,0 se tratará de desechos de origen humano; si está entre 2,0 y 4,0, predomina la contaminación humana (mezcla humana y animal); si se encuentra entre 0,7 y 2,0, predomina la contaminación animal (mezcla animal y humana); y si es <0,7 se trata de excretas de origen animal⁷. Sin embargo,

⁵ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 35 p. ISBN 9789588957180

⁶ EcuRed. Bacterias mesófilas [En Línea], [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en: https://www.ecured.cu/Bacterias_mes%C3%B3filas

⁷ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá

esta relación no es totalmente confiable debido a que este grupo presenta mayor resistencia y una mortalidad diferente. Además de esto se ha comprobado que en países tropicales los estreptococos fecales pueden estar presentes de forma natural.

1.3.1.2 Aspectos fisicoquímicos. El agua de fuentes naturales que no ha sufrido ninguna transformación o tratamiento contienen elementos físicos y químicos que alteran su apariencia, por lo tanto, el consumidor la rechaza evitando un posible efecto adverso en su salud.

- **Sabor y olor.** El grupo de sustancias que imparten olor y sabor al agua pueden tener origen natural (orgánico), proveniente de descomposición de material vegetal o animal, o pueden tener un origen industrial⁸.
- **Color.** Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, entre otros. El color en el agua que se produce por la materia suspendida y disuelta, a este se le denomina “color aparente”, una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como “color verdadero”. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbidez; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra⁹.
- **Turbiedad o turbidez.** Es una percepción óptica regida por la Ley de Beer, resultante de la dificultad del paso de la luz a través de una muestra de agua. Está causada por sustancias y material no soluble en suspensión (entre 1 y 1.000 nanómetros -nm-)¹⁰.
- **Temperatura.** Las temperaturas para la potabilización deberían oscilar entre los 8 y los 15 °C, con un óptimo entre 10 °C y 12 °C; no obstante, este parámetro muy rara vez se ajusta¹¹. Las elevadas temperaturas en el agua incrementan la corrosión en tuberías y le atribuye mal sabor por la disminución de oxígeno disuelto.
- **Conductividad.** La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. En disoluciones acuosas su viscosidad disminuye con la temperatura, la facilidad de transporte iónico o conductividad aumentará a medida que se eleva la

D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 35 p. ISBN 9789588957180

⁸ Ibid., p. 38

⁹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 2009. 109 p. ISBN 9789588060835

¹⁰ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 41 p. ISBN 9789588957180

¹¹ Ibid., p. 42

temperatura¹².

▪ **Alcalinidad.** Es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato CO_3H^- , carbonato $\text{CO}_3=$ y oxhidrilo OH^- , pero también los fosfatos y ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir CO_2 en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado. También pueden provocar espumas, o provocar arrastre de sólidos con el vapor y fragilizar el acero de las calderas. Si las aguas presentan una alcalinidad alta, pueden neutralizar una gran cantidad de ácido sin grandes cambios en el pH, en cambio si presenta alcalinidad muy baja el agua tiende a volverse muy sensible a la contaminación y no tienen la capacidad de oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación). Este es un parámetro muy importante ya que amortigua los cambios en el pH inducido por actividades humanas o naturales. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Se expresa como la concentración equivalente de iones hidroxilo, en mg/L o como la cantidad equivalente de CaCO_3 en mg/L¹³. Para aguas de consumo humano, el valor de alcalinidad total no debe sobrepasar los 200 mg/L de CaCO_3 y para dureza total, no debe ser superior a 300 mg/L de CaCO_3 . Aguas muy alcalinas dan mal sabor al agua.

▪ **Acidez.** La acidez de un agua es una medida de su capacidad para reaccionar con bases fuertes a determinado pH. Los valores de la medición pueden variar significativamente con el punto final, la acidez es una medición de las propiedades agregadas del agua y puede ser interpretada en términos de las sustancias específicas, solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Los ácidos fuertes, ácidos débiles tales como carbónico, acético y las sales hidrolizadas pueden contribuir a la acidez del agua¹⁴.

▪ **pH.** Es un término usado para expresar la concentración de iones hidronio $[\text{H}^+]$ respecto de la concentración de iones hidroxilo $[\text{OH}^-]$ y, consecuentemente, el grado de alcalinidad o de acidez de una muestra de agua. Influye sobre la eficacia de los desinfectantes, permitiendo, para pH más bajo en el caso del cloro, que prevalezca un compuesto clorado más efectivo (HOCl , ácido hipocloroso) sobre otro de menor poder desinfectante (OCl^- , ión hipoclorito). Adicionalmente, si el agua presenta un valor de pH menor a 7 unidades, el agua puede comportarse como corrosiva, si es mayor a 7 puede originar depósitos de calcio que obstruyen las

¹² Reitec. Conductividad Eléctrica. [Sitio Web]. La entidad. [Citado 12 de marzo 2019]. Disponible en: <http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>

¹³ GONZÁLEZ SALAZAR, Laura Andrea. OLAYA QUIROGA, Lady. Propuesta de mejoramiento en el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto Acuaból en el municipio de Bolívar – Santander. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de América. Bogotá D.C.: 2011 p. 32

¹⁴ GIRALDO, Gloria, Manual de análisis de aguas. Trabajo requisito Profesor Asistente. Universidad Nacional De Colombia. Manizales: 1995 [Consultado 05, octubre, 2018] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>

tuberías de la red de distribución. Generalmente se mide, por medio de un electrodo unido a un equipo llamado pH-meter (pH-metro). La mayor parte de las normativas establecen un rango de pH aceptable, entre 6,5 y 9,0 unidades, especialmente porque permiten mantener la integridad y alargar la vida útil de la red de distribución¹⁵.

- **Dureza.** La dureza del agua puede ocasionar obstrucciones en tuberías e incrustaciones o “sarro” en calderas, calentadores, ollas y utensilios de cocina. Un agua muy dura tiene concentraciones mayores a 300 mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3), que son las unidades en que se mide la dureza; un agua dura tiene entre 150 y 300 mg/L, moderadamente dura entre 75 y 150 mg/L y blanda, si tiene valores inferiores a los 75 mg/L de CaCO_3 . La dureza no tiene efectos negativos probados sobre la salud. La dureza total, no deberá ser superior a 300 mg/L de CaCO_3 ¹⁶.
- **Hierro y manganeso.** Estos elementos están especialmente presentes en aguas subterráneas y casi siempre juntos. Su principal efecto es la coloración del agua, generalmente se eliminan mediante aireación, floculación y filtración. Las concentraciones totales de hierro y manganeso no deberán sobrepasar, para aguas de consumo humano, los 0,3 y 0,1 mg/L, respectivamente. Aunque no se conocen efectos adversos sobre la salud, las concentraciones superiores a 2 mg/L de hierro y mayores de 0,4 mg/L de manganeso imparten sabor desagradable al agua¹⁷.
- **Nitritos.** Los nitritos son iones que existen naturalmente y forman parte del ciclo del nitrógeno, la presencia de estos en aguas subterráneas se debe a prácticas agrícolas y ganaderas. La presencia se determina mediante espectrofotometría y puede ser removido del agua mediante procesos como coagulación, floculación, sedimentación y filtración¹⁸.
- **Nitrógeno amoniacal.** La fuente de nitrógeno amoniacal en agua proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza, es un componente transitorio en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. La presencia de esta sustancia se determina mediante espectrofotometría¹⁹.

¹⁵ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 41 p. ISBN 9789588957180

¹⁶ Ibid., p. 44.

¹⁷ Ibid., p 46

¹⁸ GIRALDO, Gloria, Manual de análisis de aguas. Trabajo requisito Profesor Asistente. Universidad Nacional De Colombia. Manizales: 1995 [Consultado 05, octubre, 2018] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisdeaguas.pdf>

¹⁹ González, Lourdes. Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Universidad Tecnológica De Panamá. Revista Mente & Materia. 2013. [Consultado 05, octubre, 2018] Disponible en: revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/viewFile/334/pdf

- **Cloruros.** Las aguas provenientes de fuentes de acuíferos o terrenos salinos pueden ser influenciados por corrientes de agua salada (Marinas), estas poseen niveles altos de cloruros. Por otro lado, las concentraciones de cloruros en aguas superficiales comúnmente son bajas.

- **Aluminio.** Es un componente natural del agua, principalmente forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm²⁰. Puede formar muchos complejos con aniones variados. Desde el punto de vista toxicológico parece probada su relación con la enfermedad de Alzheimer en personas sometidas a diálisis, por el incremento de Al en estos líquidos de diálisis. Cuando el aluminio se encuentra en el agua cruda, se recomienda usar como coagulantes sales de hierro o polímeros sintéticos. Los coagulantes alumínicos dejan un remanente de metal²¹.

- **Arsénico.** Impureza en muchos minerales (p.e., de cobre, plomo, zinc y cobalto) accede a las aguas por disolución de sus sales y de sus complejos orgánicos procedentes de emisiones volcánicas o de vertidos industriales metalúrgicos, de insecticidas o de refinado de metales. En aguas bajo condiciones poco oxidantes o reductoras se encuentra mayoritariamente As³⁺, mientras que en aguas de ambientes muy oxidantes existe As⁵⁺. La concentración de As en aguas naturales suele ser <10 µg/L, pero en aguas subterráneas contaminadas pueden llegar hasta algunos mg/L. En zonas del mundo volcánicas o con agriculturas intensivas se incrementan los niveles medidos: 0,6-2,0 mg/L en Taiwán, 3,0 mg/L en Japón, 0,9-3,4 mg/L en Argentina y 1,7 mg/L en EE. UU. Se determina con métodos como absorción atómica y puede ser eliminado del agua con procesos como coagulación, adsorción por alúmina activa, intercambio iónico y filtración por membrana²².

- **Bario.** El bario es un oligoelemento presente en las rocas ígneas y sedimentarias. Sus compuestos tienen una gran diversidad de aplicaciones industriales, pero el bario presente en el agua proviene principalmente de fuentes naturales. Los alimentos son la fuente principal de consumo para la población que no está expuesta por motivos laborales, aunque si la concentración de bario del agua es elevada, el agua de consumo puede contribuir significativamente a la ingesta total. Se determinan por absorción atómica y puede ser eliminado del agua con procesos como coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Meta esto

²⁰ VARGAS, Lidia. Capítulo 1. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. 18 p.

²¹ GALVIN, R. Marin. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA). Córdoba, España. [Consultado 05, octubre, 2018] Disponible en: <https://static.eoi.es/savia/documents/componente48099.pdf>

²² Ibid., p. 13.

último en el bario²³.

▪ **Sulfatos.** Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad. Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo. Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones. Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas. La remoción de sulfato puede resultar costosa y requerir métodos complicados, por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con niveles de sulfato por debajo de los límites aconsejados. Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor y porque no hay métodos definidos para su remoción, la OMS recomienda que, en aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor guía está destinado a evitar la probable corrosividad del agua.²⁴

▪ **Carbono Orgánico Total.** Los compuestos de Carbono orgánico varían enormemente. El Carbono orgánico total (COT) es una prueba no específica, es decir, el COT no determinará qué compuestos concretos están presentes (la mayoría de las muestras son mezclas complejas que contienen miles de compuestos de Carbono orgánico diferentes). En lugar de ello, el COT informará al usuario de la suma de todo el Carbono orgánico presente en estos compuestos. Las razones para la medición de COT varían dependiendo del sector, pero suelen pertenecer a dos categorías: el control de procesos o el cumplimiento de las normativas. Los métodos para analizar el COT utilizan calor, oxígeno, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o combinaciones de estos oxidantes para convertir el Carbono orgánico en dióxido de Carbono.²⁵

▪ **Oxígeno disuelto (OD).** Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua. Puede

²³ PCS. Barium and barium compounds, 2001 Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (Documento internacional conciso sobre evaluación de sustancias químicas n 33). [Consultado 07 de mayo de 2019]. Disponible en Internet:http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/25489/CE92_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²⁴ BARRENECHEA, Ada. Capítulo 1. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. En: Tratamientos de agua para consumo humano. 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>, p. 47.

²⁵ RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. [en línea]. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.: 2009. [Consultado 07 de mayo de 2019]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación. La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dice: “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura”. El agua potable debe contener cierta cantidad de oxígeno disuelto. Debe estar bien aireada y es muy importante tener en cuenta las variaciones relativas de oxígeno disuelto, ya que, si estas son grandes, es síntoma de un probable aumento de vegetales, materia orgánica, gérmenes aerobios, reductores inorgánicos, etc.²⁶

1.3.2 Agua superficial. Las aguas superficiales son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo. El agua superficial se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Una vez producida, el agua superficial sigue el camino que le ofrece menor resistencia pudiéndose presentar en forma correntosa, como en el caso de ríos y arroyos, o quietas si se trata de lagos o embalses.²⁷

1.3.3 Agua subterránea. Es el agua existente bajo la superficie del terreno. En concreto, es aquella situada bajo el nivel freático y que está saturando completamente los poros y fisuras del terreno. Esta agua fluye a la superficie de forma natural a través de manantiales, áreas de cauces fluviales, o bien directamente al mar. Puede también dirigirse artificialmente a pozos, galerías y otros tipos de captaciones. Se renueva de modo constante por la Naturaleza, merced a la recarga. Esta recarga procede principalmente de las precipitaciones, pero también puede producirse a partir de escorrentía y cursos superficiales de agua (sobre todo en climas áridos), de acuíferos próximos o de retornos de ciertos usos (destacan los retornos de los regadíos)²⁸.

El agua al ser el disolvente universal y estar en contacto durante un periodo prolongado de tiempo con diferentes materiales, sustancias y formaciones geológicas es capaz de incorporarlas, modificando su composición natural por causas naturales o por factores antrópicos. Las causas naturales son el clima, la temperatura, y el aporte de gases reactivos, principalmente CO₂ y O₂. El tipo de terreno a través del cual se desplaza el agua subterránea dependiendo de su

²⁶ BARRENECHEA, Ada. Capítulo 1. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. En: Tratamientos de agua para consumo humano. 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>. p. 41.

²⁷ ADASA, Monitorización en tiempo real de la calidad de las aguas. Aguas superficiales [Sitio WEB]. Barcelona. La entidad. [Consultado 07 de mayo de 2019]. Disponible en Internet: <http://adasaproducts.com/aguas-superficiales/>

²⁸ LOPEZ-GETA, Juan Antonio. Las Aguas Subterráneas Un Recurso Natural del Subsuelo. [en línea]. Fundación Marcelino Botín. España. 2009. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/FORMACION/educacion%20ambiental.pdf. p. 14

porosidad y permeabilidad disminuye o aumenta la velocidad de circulación²⁹.

1.3.4 Agua potable. Es aquella que posee parámetros físicos, químicos y biológicos dentro de los rangos estipulados por la normatividad para ser consumida por la población humana o sea requerida para uso doméstico sin generar efectos negativos en la salud.

1.3.4.1 Características microbiológicas del agua potable. Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse en los valores máximos aceptables consignados en el **Cuadro 1** desde el punto de vista microbiológico³⁰.

Cuadro 1. Características microbiológicas del agua potable y técnicas utilizadas

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 6

1.3.4.2 Características fisicoquímicas del agua potable. En el **Cuadro 2** se encuentran todas las propiedades físicas y químicas que representan un riesgo en la calidad del agua para consumo humano y la máxima concentración de estos en el agua.

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos del agua potable

Característica	Unidades	Máxima concentración
Color Aparente	PtCo	15
Turbiedad	NTU	2
pH	-	6,5 - 9
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3 - 2

²⁹ Ibid., p. 23

³⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 6

Cuadro 3. (Continuación)

Característica	Unidades	Máxima concentración
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	200
Calcio	mgCa/L	60
Fosfatos	mgPO ₄ /L	0,5
Manganeso	mgMn/L	0,1
Molibdeno	mg/L	0,07
Magnesio	mg/L	36
Zinc	mg/L	3
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	300
Sulfatos	mgSO ₄ =/L	250
Hierro Total	mgFe/L	0,3
Cloruros	mgCl-/L	250
Nitratos	mgNO ₃ /L	10
Nitritos	mg/L	0,1
Aluminio (Al³⁺)	mg/L	0,2
Fluoruros	mgF/L	1
COT	mgC/L	5

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. Modificado

1.4 SISTEMA DE POTABILIZACIÓN

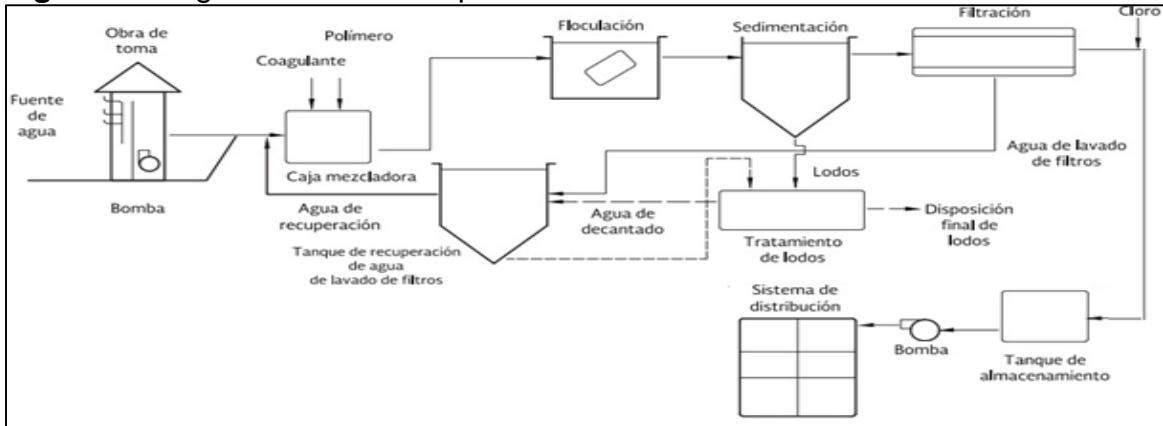
El tipo de tratamiento requerido para producir agua va a depender del origen de la fuente de agua cruda y las condiciones locales, por lo tanto, cada diseño es particular. El objetivo de cada planta se basa en alcanzar un balance entre eficiencia operativa y el costo, por lo cual es necesario integrar de forma económica los procesos y operaciones de tratamiento de manera tal que cumpla con las condiciones de diseño enfocadas en alcanzar la calidad del agua potable. Una planta o sistema de potabilización debe tener una confiabilidad y flexibilidad bastante altas, de manera tal que en caso de que las condiciones del agua del afluente varíen el sistema tenga la capacidad de ajustarse y mantener las condiciones del efluente constantes, también, es necesario considerar la capacidad técnica de quien esté a cargo del sistema, además, de la capacidad local y económica de tal forma que se diseñe un sistema que tenga una amplia vida útil.

1.4.1 Tipos de potabilizadoras. Las plantas de potabilización de agua se subdividen en tres tipos de acuerdo con las unidades empleadas, distribución y características operativas.

1.4.1.1 Convencional. Son plantas de potabilización de agua que cuentan con unidades de operación separadas que son de fácil identificación como lo muestra la **Figura 2**, este tipo de planta generalmente está construida con materiales como hormigón³¹.

Es un sistema que cuenta con todas las unidades físicas que demanda cada operación, las cuales están estrechamente relacionadas al estado del agua cruda, este tipo de sistema no es limitado con respecto a las condiciones del influente puesto que al contar con unidades independientes es posible ajustar cada unidad para alcanzar la meta establecida, generalmente se emplean para agua cruda muy contaminada donde los valores de turbidez, color, dureza, alcalinidad, coliformes totales son bastante grandes, se emplean en sistemas con un nivel de complejidad medio-alto y alto, es decir donde la población cuenta con más de 12501 habitantes según la RAS 2000 Título A donde se define la asignación del nivel de complejidad en el cuadro A.3.1.

Figura 2. Diagrama sistema de potabilización convencional



Fuente: Comisión nacional del agua, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Evaluación rápida de plantas potabilizadoras, P 54. Modificado para este documento [en línea] [Citado 1 de noviembre de 2018]. Disponible en: mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro45.pdf

1.4.1.2 Compacta. Son plantas prefabricadas donde varias operaciones son llevadas a cabo en una sola unidad que tiene subdivisiones en su interior pero que a simple vista solo hay una unidad de operación, generalmente son construidas en

³¹ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 58 p. ISBN 9789588957180

laminas metálicas o en fibra de vidrio³².

En un sistema compacto de potabilización se busca garantizar la calidad del recurso hídrico en procesos operados desde un solo módulo, para ello se implementan nuevos métodos de potabilización que en su desarrollo requieren de una menor infraestructura comparada con la convencional; es así, como se pueden encontrar interrelaciones entre etapas; como es el caso de la decantación y floculación, debido a la recirculación de mantos de fango que se aprovechan gracias a la retención de algunos reactivos que no se han agotado en su totalidad y que en el proceso generan una floculación más rápida y eficaz, permitiendo un ahorro sustancioso de reactivos y llegado el caso poder trabajar con la misma eficiencia teniendo el proceso en una etapa estática. En cuanto a la filtración se implementan filtros abiertos de arena y filtros de carbón activo en granos abiertos, para ello se hace necesario definir la granulometría del lecho filtrante y la altura del lecho en función del floc obtenido anteriormente, todo esto garantiza un pre tratamiento de excelente calidad que de paso a los tratamientos específicos donde se encuentra, dependiendo el tipo de agua, los procesos de aireación, desferrificación biológica, eliminación de nitratos, fluoruros, arsénico y micro contaminantes orgánicos, entre otros, que posteriormente darán lugar a nuevos procedimientos que relacionados con los anteriores y aplicados de un forma correcta permitirían innovar en el proceso de potabilización; finalmente se procede a la desinfección y entrega del agua tratada³³.

1.4.1.3 Filtración Directa. Son una modificación a las plantas convencionales, en este tipo de planta no hay unidades de filtración y sedimentación, a pesar de esto las operaciones si son realizadas, pero debido a las características del agua cruda no requieren unidades físicas, en la **Figura 3** se muestra el diagrama de proceso de este tipo de sistema de potabilización³⁴.

Los sistemas de filtración directa nacen de los sistemas convencionales, donde por ciertas condiciones favorables del agua se pueden eliminar el uso de equipos, a pesar de que la operación exista como es caso de la floculación, donde el tanque de floculación es omitido, pero la floculación es un proceso denominado micro floculación sobre filtro, los filtros generalmente están conformados por medios porosos los cuales pueden ser carbón activado granulado o en pellets, arena o antracita, igualmente se omiten los tanques de sedimentación. Los procesos involucrados en este tipo de sistemas son la coagulación mediante la mezcla rápida, floculación, filtración y desinfección. la clasificación de sistemas de filtración directa

³² Ibid., p. 58

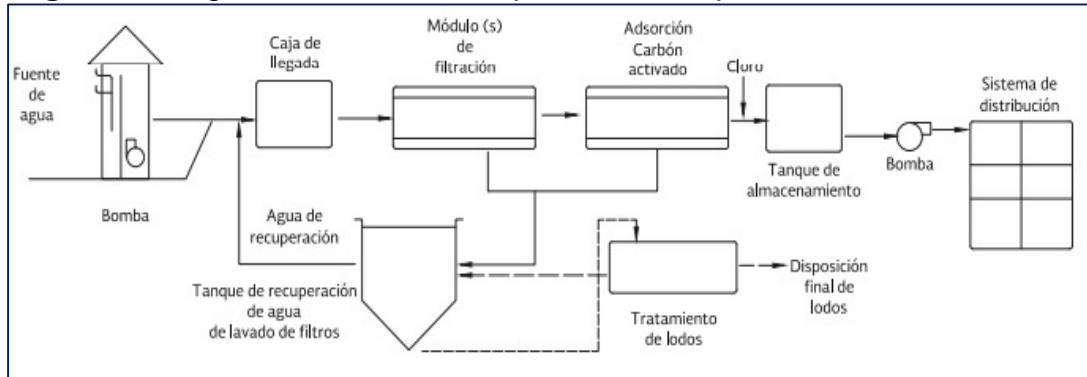
³³ "Manual técnico del agua". [en línea] [citado 10 de mayo 2019] disponible en Internet: www.degremont.com Citado por: CORTES, Harold y MORA, Lina. Diseño de un sistema compacto de potabilización de agua para consumo humano en la granja La Fortaleza ubicada en el municipio de Melgar-Tolima. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental. Bogotá D.C., Universidad Libre. 2015. p. 56 y 57.

³⁴ Ibid., p. 58

se describe en el **Cuadro 3**.

Este sistema de filtración directa cuenta con ciertas limitaciones relacionadas con el color y la turbidez del agua debido a que estos son indicadores de pequeñas partículas coloidales que no sean retenidas durante la filtración.

Figura 3. Diagrama de sistema de potabilización por filtración directa



Fuente: Comisión nacional del agua, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Evaluación rápida de plantas potabilizadoras, P 55 [en línea] [Citado 1 de noviembre de 2018] Disponible en: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro45.pdf>

Cuadro 4. Clasificación de los sistemas de filtración directa

Filtración de contacto	Solo hay un proceso de mezcla rápida después de la adición de coagulantes y luego pasa el flujo directamente a los filtros para que la floculación se realice dentro del lecho.
Filtración en línea	Coagulación y mezcla rápida seguida de 7 a 10 min de floculación con gradientes de velocidad intensos entre 60 y 100 s ⁻¹ para formar un micro floculo compacto. Busca dosis óptimas de coagulante
Filtración sin sedimentación previa	Se realizan procesos convencionales de mezcla rápida, floculación de 20 a 40 min y posterior filtración
Filtración conjunta	Se dosifican bajas dosis de coagulantes (4 a 8 mg/L) con procesos de una planta convencional y posterior filtración

Fuente: ROJAS CUBIDES, Elena Rocio. Viabilidad de la filtración directa de agua dulce para hangares flotantes. Universidad de la Salle facultad de ingenierías programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá D.C.: 2010., p 29

1.4.2 Pretratamiento. En el diseño para un sistema de potabilización, el uso de una unidad preliminar tiene como objetivo acondicionar el agua para las operaciones

posteriores de los tratamientos primarios y secundarios. Etapas preliminares como: Desbaste o remoción de material flotante (rejillas, mallas y trampas flotantes), Pre-sedimentación y remoción de material grueso en suspensión (Desarenadores, pre-sedimentadores, pre-filtros y micro-tamices), el propósito de estas etapas es el de remover materiales voluminosos, objetos indeseados, arcillas y arenas que pueden perjudicar el funcionamiento del sistema.

1.4.2.1 Aireación. La aireación se emplea en los tratamientos de purificación de agua para que mediante el oxígeno sean removidos el hierro y el manganeso, en plantas de ablandamiento lo que se busca remover mediante la aireación es el dióxido de carbono antes de emplear cal para el ablandamiento. Esta operación también la emplean para la remoción de olores y sabores que en algunos casos son provenientes de sustancias volátiles en el agua. Dentro de las funciones de la aireación se encuentra aumentar el oxígeno disponible en el agua, eliminar gases como metano, amoníaco y cloro, además de remover compuestos orgánicos volátiles. En la **Tabla 1** se presenta el tiempo requerido para la remoción de diferentes contaminantes y la adsorción de oxígeno.

Tabla 1. Tiempo de contacto requerido para remoción de contaminantes.

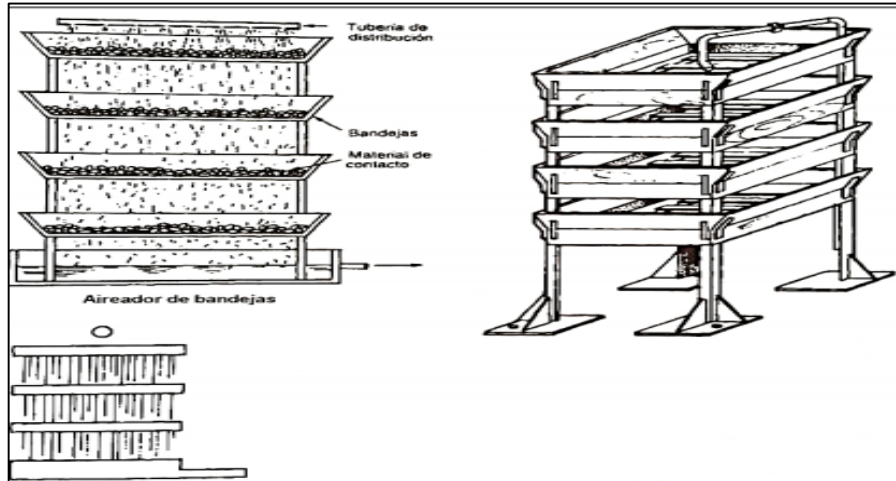
Objetivo	Tiempo Mínimo de contacto (s)
Remoción de CO ₂	0,7 a 1,0
Remoción de compuestos orgánicos volátiles (olor y sabor)	1,0 a 1,5
Remoción de H ₂ S	1,5 a 2,0
Absorción de O ₂	0,4 a 0,6

Fuente: LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 108 p. ISBN 9789588957180

- **Torre de bandejas de Aireación.** Consisten en múltiples bandejas de forma trapezoidal lo cual reduce el desperdicio de agua por salpicadura, cuentan con fondos perforados o mallas metálicas donde se distribuye el agua hasta llegar a un tanque receptor en la base, la **Figura 4** refleja el diseño de las bandejas y el flujo del agua a través de las bandejas, generalmente poseen un medio grueso de material adsorbente como carbón mineral o carbón coque en el interior de las bandejas buscando mejorar la distribución del agua y favoreciendo el intercambio de gases. El número de bandejas oscila de 3 a 9, donde es más común encontrar torres de aireación de 5 bandejas con una altura promedio de 2,5 m.³⁵

³⁵ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 109 p. ISBN 9789588957180

Figura 4. Torre de aireación por bandejas



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 38 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

- **Aireadores en cascada y vertederos** Este tipo de aireadores son estructuras escalonadas o vertederos de caída libre como se muestra en la **Figura 5** donde el agua cae en capas delgadas sobre una segunda superficie o escalón, la aireación ocurre debido al impacto del agua en el área de salpicadura donde sucede la remoción de CO_2 . Este tipo de estructuras requieren de mayor área pues entre más grande sea el área horizontal mejora el porcentaje de remoción. Este tipo de aireación es una buena opción siempre y cuando el agua del afluente cuente con gran cantidad de energía por lo que es de operación sencilla y bajos costos en el mantenimiento.³⁶

Figura 5. Aireación por vertedero o cascada.

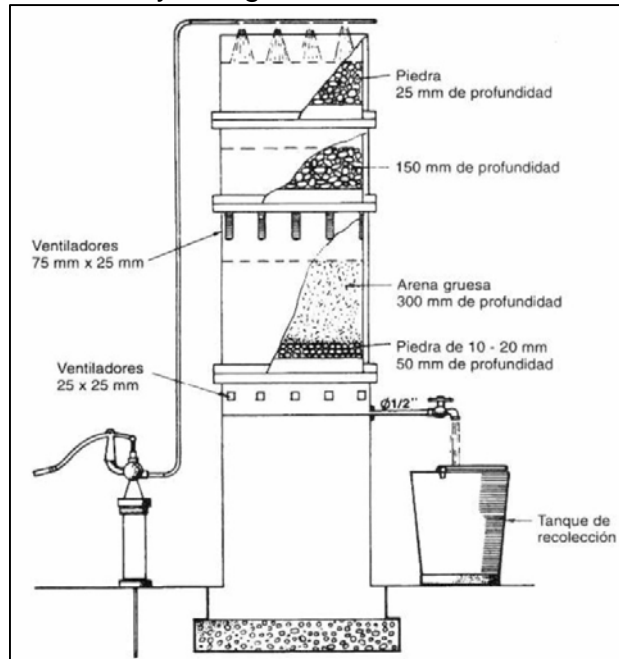


Fuente: García, Marcelo. Se puede imaginar al Riachuelo como una nueva costanera. El Litoral. 2010

³⁶ Ibid., p. 119

- **Aireador manual para remoción de hierro y manganeso.** El aireador manual para remoción de hierro y manganeso consta de tres cilindros colocados uno sobre otro. En cada uno de los dos cilindros superiores se colocan 15 cm de piedra de 20-50 mm. En la capa del cilindro inferior se colocar un espesor de 30 cm de arena gruesa sobre un lecho de soporte de grava de 5 cm de espesor y grava de 1 – 2 cm³⁷.

Figura 6. Aireador manual para remoción de hierro y manganeso



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 38 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

En la **Figura 6**. Se muestra este tipo de aireador, así como el arreglo del material filtrante que compone los cilindros.

1.4.2.2 Coagulación. Operación que consiste en adicionar un agente químico que tienen propiedades coagulantes, lo que quiere decir que este transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover lo que va a favorecer la formación y aparición de flóculos al ser neutralizada la carga eléctrica de los coloides, la eficiencia de la coagulación va a depender de las condiciones de pH y alcalinidad del agua, la **Tabla 2** muestra los coagulantes más empleados con respecto a la

³⁷ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 43 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

alcalinidad del agua a tratar.

Tabla 2. Agente coagulante de acuerdo con la alcalinidad del agua a tratar

Coagulante	Alcalinidad requerida (mg/L de alcalinidad por cada mg/L de coagulante)
Alumbre $Al_2(SO_4)_3$	0,5 HCO_3 . como $CaCO_3$
	0,28 Cal viva (CaO)
	0,37 Cal apagada $Ca(OH)_2$
	0,53 soda ash (Na_2CO_3)
Cloruro férrico $FeCl_3$	0,92 HCO_3 . como $CaCO_3$
	0,52 Cal viva (CaO)
	0,68 Cal apagada $Ca(OH)_2$
	0,98 soda ash (Na_2CO_3)
Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$	0,75 HCO_3 . como $CaCO_3$
	0,42 Cal viva (CaO)
	0,55 Cal apagada $Ca(OH)_2$
	0,79 soda ash (Na_2CO_3)

Fuente: LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 149 p. ISBN 9789588957180

- **Polímeros o polielectrolitos.** Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable³⁸

1.4.2.3 Floculación. Es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agentes preformados, dando como resultado flocs que se pueden retirar fácilmente del agua clarificada en este proceso los flocs aumentan su peso específico hasta superar el del líquido que los contiene, lo cual permite la sedimentación del aglomerado. La floculación se produce en condiciones de mezcla suave y lenta, se ve favorecida por una agitación moderada con paletas a poca velocidad. Un mayor contacto entre las partículas favorecerá la formación de flóculos, sin embargo, si la agitación fuese demasiado

³⁸ RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. [en línea]. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.: 2009. [Consultado 07 de mayo de 2019]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf. 10 p.

fuerte, los esfuerzos cortantes que se producen romperán el flóculo en partículas más pequeñas. La agitación debe controlarse con mucho cuidado, para que los flóculos tengan un tamaño adecuado y puedan depositarse rápidamente. Los tiempos de retención típicos para floculación varían entre 5 y 30 minutos³⁹. A continuación, en el **Cuadro 4** se describen las características de cada floculante utilizados.

Cuadro 5. Características de los floculantes

Tipos de floculantes	Características
Poliacrilamidas Aniónicas	Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (Grupos carboxílicos).
Poliacrilamidas Iónicas no	Reservadas para potabilización de agua. Son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
Poliacrilamidas Catiónicas	Reservadas para potabilización de agua. Caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debido a la presencia de grupos amino.

Fuente: METCALF y EDDY, INC. Ingeniera sanitaria. Tratamiento, evaluación y reutilización de aguas residuales.2 ed. España.1995. 283p. ISBN 8448116127

1.4.2.4 Filtración. La filtración es una operación requerida para la producción de agua segura, puesto que mediante esta operación se remueve el flóculo y sólidos suspendidos cuando atraviesa un medio filtrante, el cual debe tener ciertas características de permeabilidad y porosidad, disminuyendo los parámetros de color y turbidez, ajustándolos a los estipulado en la normatividad, además de esto cumple un papel fundamental en el control microbiológico, pues la filtración evita que exista algún tipo de interferencia en procesos de desinfección y son removidos microorganismos patógenos que presentan alta resistencia a la desinfección por cloro.

La filtración se puede clasificar de diferentes maneras, considerando que esta clasificación puede estar dada según la dirección del flujo, bien sea ascendente lo cual quiere decir que el flujo va en sentido decreciente de granulometría; de flujo descendente, o de flujo mixto, donde el filtro cuenta con dos alimentos uno por la parte superior, otra por la parte inferior y el efluente en la otra pared del filtro buscando un punto medio, este punto del efluente puede variar según sean las

³⁹ METCALF y EDDY, INC. Ingeniera sanitaria. Tratamiento, evaluación y reutilización de aguas residuales.2 ed. España.1995. 219 p. ISBN 8448116127

características del afluente. Otro tipo de clasificación se da mediante la fuerza impulsora dado que esta puede ser por gravedad o por presión, que ocurre cuando el filtro es herméticamente sellado y la fuerza impulsora proviene de una bomba. La clasificación por tasa de filtración se divide en filtración rápida o lenta, la cual cuenta con una relación a la fuerza impulsora y cuentan con una tasa de filtración lenta cuando la fuerza impulsora es la gravedad y filtración rápida si la fuerza impulsora es por presión.⁴⁰

- **Medio filtrante.** El grado de purificación deseado y las condiciones de turbiedad y color del afluente serán los principales criterios de selección del medio filtrante, el cual debe ser un material capaz de retener la mayor cantidad de sólidos suspendidos, flocs y microorganismos, el medio filtrante debe ser de fácil limpieza, de alta vida útil y una buena permeabilidad. Este puede tener una granulometría constante o un gradiente en el tamaño del poro conforme aumenta la columna de material filtrante partiendo de un grado fino hasta un grado grueso. El medio filtrante puede ser de un solo material o dual. Los materiales más empleados como medio filtrante en las plantas y sistemas de potabilización de agua son: arena, antracita y grava.

- ❖ **Arena.** Es el medio filtrante más usado debido a su bajo costo, para la filtración rápida la profundidad de este lecho oscila entre 60 y 75 cm, el tamaño efectivo (TE) de 0,35 a 0,5 y el coeficiente de uniformidad de 1,3 a 1,7⁴¹.

Tabla 3. Arena para filtros rápidos

N° Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido sobre tamiz	
		Mínimo	Máximo
16	1,168	0	1
20	0,833	0	9
30	0,589	40	60
40	0,417	40	60
50	0,295	0	9
70	0,208	0	1

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 224 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

En la **Tabla 3** se consignan los valores de la abertura en mm de acuerdo con el

⁴⁰ BARRENECHEA, Ada. Capítulo 9. Filtración. En: Tratamientos de agua para consumo humano. 2004. [citado 08 mayo 2018]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>. 116 p.

⁴¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 224 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

número de maya empleada en el tamiz

❖ **Carbón Activado.** El carbón activado es utilizado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo cual lo podemos encontrar en aplicaciones sencillas, hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos. Tiene una gran variedad de tamaños de poros brindando gran área superficial, sin embargo, es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y microporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido⁴².

❖ **Arena Sílice.** La arena sílica o arena de sílice es un compuesto resultante de la combinación de la sílice con el oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO₂. Esta molécula es insoluble en agua y en la naturaleza se encuentra en forma de cuarzo. Si el cuarzo está cristalizado se denomina Cristal de Roca. Las arenas son utilizadas como lecho filtrante para depuración y potabilización de las aguas (para la retención de los flóculos de tamaños muy pequeños que no son separados por decantación) y por su dureza son utilizados para la fabricación de lejías, abrasivos industriales y arenados⁴³.

❖ **Grava.** La grava de sílice se utiliza como soporte de medios filtrantes, justamente como relleno en la parte más baja de los filtros, por ser un material económico y no imparte ninguna característica al agua a tratar. La grava de sílice es producida por trituración de molienda y lavado de la sílice de alta calidad⁴⁴.

❖ **Antracita.** En ocasiones se usa carbón antracita triturado en vez de arena como medio granulado filtrante. La antracita para filtros debe ser limpia, dura (dureza mayor de 2,7 en la escala de MOHS), de densidad relativa mayor de 1.4, la profundidad de la antracita puede variar de 60 a 70 cm y con un tamaño efectivo mayor o igual a 0,7 mm⁴⁵.

▪ **Medio dual arena-antracita.** En un medio dual por lo general se usa 60 cm

⁴² UNIVERSIDAD POLITECNICA SEVILLA. El agua potable. [Sitio Web]. Manual de carbón activo. La entidad. [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

⁴³ Carbotécnia. Medio de arena sílica para filtros de agua. [Sitio Web]. La entidad. [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>

⁴⁴ H2OSoluciones. [en línea], [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en: <http://www.h2osoluciones.com/materiales-filtrantes.html>

⁴⁵ UNIVERSIDAD POLITECNICA SEVILLA. El agua potable. [Sitio Web]. Manual de carbón activo. La entidad. [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en:

de antracita de 1mm sobre 15 cm de arena. El lavado es más fácil que en otros medios gracias a la diferencia de densidades que por lo general es de 1,4 para la antracita y 2,65 para la arena, con tasas de filtración de 240 a 300 m³/d⁴⁶.

Tabla 4. Relación para filtro de medio dual

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Antracita		
Profundidad, cm	20 - 60	46
TE, mm	0,8 - 2,0	1,2
CU	1,4 - 1,8	1,5
Arena		
Profundidad, cm	25 - 60	30
TE, mm	0,3 - 0,8	0,5
CU	1,2 - 1,6	1,4
Tasa de filtración	120 - 600	350

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingenieria, 1999. 22 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

La **Tabla 4.** Describe las características del filtro con medio dual, el rango de altura que puede tener cada lecho y cuál es la altura promedio empleada en los sistemas de filtración.

1.4.2.5 Desinfección. La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de esta desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor. Si bien la práctica muestra que los procesos de coagulación, sedimentación y filtración remueven el mayor porcentaje de microorganismos patógenos del agua, la eficiencia de estos no llega al 100%. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo⁴⁷.

1.4.2.6 Neutralización. La neutralización es el tratamiento ácido base que se le realiza al agua ya sea potable o residual y puede utilizarse para los siguientes fines: ajuste final del pH del efluente ultimo antes de la descarga al medio receptor, antes del tratamiento biológico: Con un pH entre 6,5-9 unidades para una actividad biológica optima o para la precipitación de metales pesados: Es la aplicación más

⁴⁶ Ibid., p 225

⁴⁷ BARRENECHEA, Ada. Capítulo 10, Desinfección. En: Tratamientos de agua para consumo humano. 2004. [citado 08 mayo 2018]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf> p 155.

importante donde intervienen diversos factores cómo el producto de solubilidad del metal, pH óptimo de precipitación, concentración del metal y del agente precipitante. Los metales pesados se precipitan normalmente en forma de hidróxidos, utilizando cal hasta alcanzar el pH óptimo de precipitación⁴⁸.

El propósito de cada etapa en los sistemas de tratamiento de potabilización se describe en el **Cuadro 5**, cabe aclarar que cada planta o sistema cuenta con sus propias etapas y no todas las plantas cuentan con los mismos procesos debido a las condiciones particulares del agua cruda.

Cuadro 6. Propósito de cada etapa de tratamiento

Tratamiento	Proceso	Propósito
Preliminares	Desbaste y Remoción de Flotantes	Eliminación de material grueso (hojas, ramas, animales muertos, etc.) para evitar atascos y daños en los equipos de potabilizadora.
	Pre-sedimentación y remoción de material en suspensión	Eliminación de limos, arcillas y arenas que son materiales abrasivos y que, ocasionalmente, pueden disminuir el rendimiento de los procesos de potabilización, incluyendo excesos de materia orgánica
	Oxidación química	Remoción de sustancias orgánicas e inorgánicas que causan problemas de olor y sabor que contribuyen a la formación de subproductos de la desinfección (THM's, HAA's, etc.), o que evitan crecimiento de microorganismos en las paredes de unidades de potabilización.
	Aireación	Remoción de olores y sabores, transferencia de oxígeno y eliminación de CO ₂ , Fe, Mn y otros compuestos orgánicos volátiles.
	Aforo	Medición del caudal a ser tratado. El aforo es indispensable para el cálculo de adición de sustancias químicas.

⁴⁸ ANALIZA CALIDAD, Consultores, Tratamiento de aguas, [en línea], [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>. Citado por: CAICEDO, Heidi y SUÁREZ Erica. Propuesta de mejora para el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto veredal Coovesur L.T.D.A esp del municipio de Fusagasugá - Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. 2018. p. 41

Cuadro 5. (Continuación)

Tratamiento	Proceso	Propósito
Clarificación	Coagulación Y floculación	Aglomeración de coloides y otras sustancias no sedimentables hasta la formación de flóculos sedimentables.
	Sedimentación	Eliminación de flóculos de coloides aglomerados en suspensión. Eliminación de sustancias que le confieren color y turbidez al agua.
	Filtración	Pulimento en la eliminación de sustancias que le confieren color y turbidez al agua.
	Desinfección	Eliminación de organismos patógenos, especialmente de algunos virus y otras bacterias no retenidas en procesos anteriores. Aseguramiento de niveles residuales de desinfectante que eviten contaminaciones posteriores en la red de abastecimiento.
Procesos adicionales	Ablandamiento	Remoción de la dureza del agua.
	Adsorción	Eliminación de sustancias inorgánicas y color.
	Estabilización	Ajuste del pH para evitar incrustaciones o corrosión.

Fuente: LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 55 p. ISBN 9789588957180

1.5 MARCO LEGAL

1.5.1 Decreto Número 1575 de 2007. Por el cual se establece el sistema para la protección y control de calidad del agua para consumo humano. 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. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyen agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada en todo 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 usuarios⁴⁹.

1.5.2 Decreto Número 475 de 1998. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Las disposiciones del presente decreto son de orden público y de obligatorio cumplimiento y con ella se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano donde se debe garantizar la calidad del agua potable, en toda época y en cualquiera de los puntos que conforman el sistema de distribución o suministro de agua potable⁵⁰.

1.5.3 Decreto Numero 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano⁵¹. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación⁵²:

Cuadro 7. Características Físicas.

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

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 1-23

Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse en los valores máximos aceptables que se señalan a continuación⁵³:

⁴⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1575 (09 mayo 2007). Bogotá: El Ministerio 2007.

⁵⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 475 de 1998 (10 marzo 1998). Bogotá: El Ministerio 2007.

⁵¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 1

⁵² Ibid., p. 2

⁵³ Ibid., p. 3

Cuadro 8. Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THM's	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 1-23

1.5.4 Resolución 1096 de 2000 (RAS). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico. Sección II. Aspectos generales del agua potable y saneamiento básico.

1.5.4.1 Título A. El presente Reglamento tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, señaladas en el artículo 14, numerales 14.19, 14.22, 14.23 y 14.24 de la Ley 142 de 1994, que adelanten las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces⁵⁴.

1.5.4.2 Título C. El presente título está dirigido al desarrollo de estudios y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento

⁵⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. RAS 2000. (17, noviembre, 2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Aspectos Generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2000. no. p. 1-480

que se desarrolle en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado⁵⁵.

1.5.5 Resolución Número 0330 de 2017. La presente Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y continua la Resolución: “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2013, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”. Rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo⁵⁶.

1.5.6 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-2. Norma Técnica colombiana: Gestión Ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas Generales de Muestreo. Esta norma constituye una guía sobre técnicas de muestreo utilizadas con el fin de obtener los datos necesarios para hacer análisis con propósitos de control de calidad, caracterización de la calidad e identificación de fuentes de contaminación del agua⁵⁷.

1.5.7 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-3. Norma Técnica colombiana: Gestión Ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para la preservación y manejo de las muestras. Esta norma suministra directrices generales sobre las precauciones que se debe tomar para preservar y transportar muestras de agua. Estas directrices son adecuadas, en particular cuando una muestra (puntual o compuesta) no se puede analizar en el sitio y tiene que ser transportada para analizar en el laboratorio⁵⁸.

1.5.8 Norma Técnica Colombiana NTC 3903. Norma Técnica colombiana: Gestión Ambiental. Agua. Procedimiento para el método de jarras en la Coagulación-Floculación del agua. Esta norma establece un procedimiento general para la evaluación de un tratamiento encaminado a reducir el material disuelto, en suspensión, coloidal y no sedimentable del agua mediante coagulación-floculación química, seguida por sedimentación mediante la gravedad. El procedimiento se

⁵⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. RAS 2000. (17, noviembre, 2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sistemas de potabilización. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2000. no. p. 1-480

⁵⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO Resolución 0330 de 2017, (08, junio, 2017). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2017.

⁵⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. NTC ISO 5667-2. BOGOTÁ D.C.: El instituto, 1995., p. 1-15

⁵⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para la preservación y manejo de muestras. NTC ISO 5667-3. BOGOTÁ D.C.: El instituto, 2004., 1-35 p.

puede usar para evaluar el color, la turbidez y la reducción de la dureza⁵⁹.

Para la propuesta de potabilización se tomaron muestras de agua subterránea para su respectivo análisis en un laboratorio externo, con el fin de determinar sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. Estos resultados se compararon con la normatividad colombiana vigente para agua potable, para identificar los parámetros incumplidos. Posterior a esto se realizó una búsqueda bibliográfica de los sistemas de potabilización de agua, destacando las ventajas y desventajas de cada uno.

Mediante una matriz de selección se escoge el sistema más adecuado con relación al tipo de agua, que se pueda adaptar a las necesidades de la finca. Una vez seleccionado el sistema y las unidades de cada etapa, se hace el desarrollo experimental del proyecto, para establecer las condiciones de operación, dosificación, y dimensionamiento de los equipos del sistema. Por último, se establece un indicador financiero para analizar la viabilidad de proyecto.

⁵⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC 3903. Procedimiento para el ensayo de coagulación – floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá D.C.: El instituto, 2008., 1-26 p.

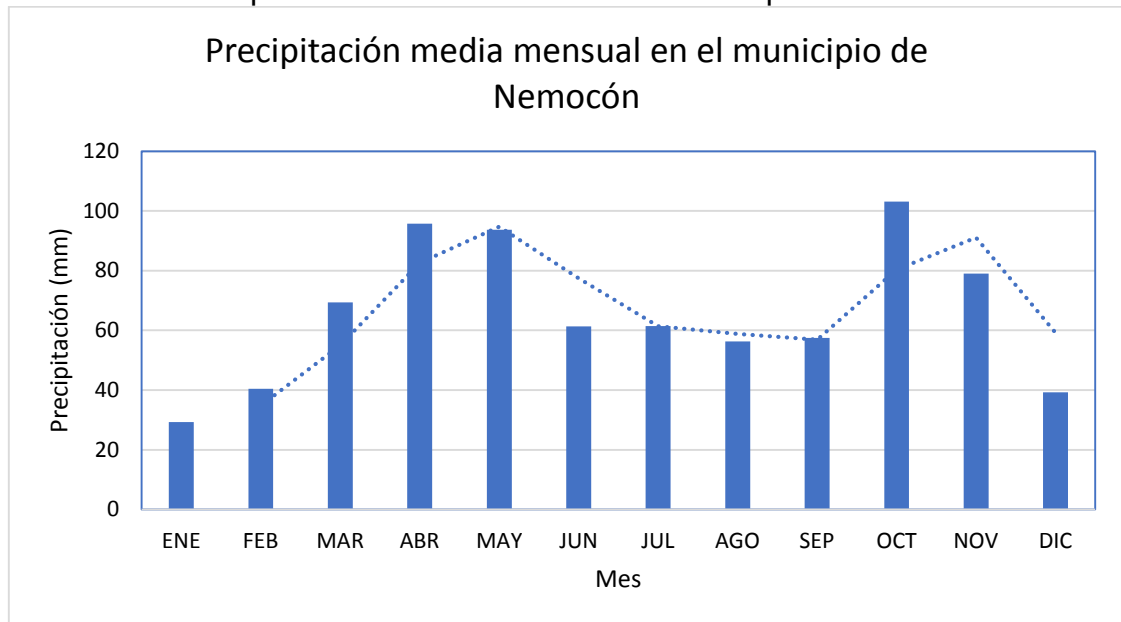
2. DIAGNÓSTICO

Para el desarrollo de la propuesta de un sistema de potabilización de agua subterránea para la finca, se inicia con analizar la calidad del agua del afluente, con la intención de determinar los valores de cada uno de los parámetros organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, para posteriormente comparar e identificar cuáles de estos valores superan los máximos reglamentados en la resolución 2115 de 2007 de agua potable. De acuerdo con lo anterior se realiza un diagnóstico del tipo de agua y su nivel de riesgos en la salud con base al índice IRCA a partir del puntaje de riesgo de cada uno de los parámetros incumplidos.

2.1 AGUA PROVENIENTE DEL POZO (AFLUENTE)

Las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua subterránea captada del pozo tienen una variabilidad a causa de que estas provienen de aguas lluvia, aguas que gotean por el fondo de lagunas y ríos, riego de cultivos, fugas de otros acuíferos, que modifican la presión y temperatura de este. Otro factor que influye en la variabilidad de las propiedades es el clima y en la **Grafica 1** se puede apreciar la precipitación media mensual en el municipio de Nemocón a lo largo del año.

Grafica 1. Precipitación media mensual en el municipio de Nemocón



Fuente: MÉNDEZ BERNAL, Mayury Yuleimi. Modelo hidrogeológico conceptual de la mina de sal de Nemocón, contrato de concesión HIQO – 01. U.P.T.C. Escuela de Ingeniería Geológica., 2016. [en línea], [Citado el 10 de octubre de 2018], Disponible en Internet: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1685/1/TGT-376.pdf>

La determinación de las propiedades del agua fue realizada a finales del mes de octubre, es el periodo que mayor precipitación media mensual presenta a lo largo del año como se muestra en la **Grafica 1** donde se evidencia que en este mes las precipitaciones superan los 100mm.

2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

El análisis entregado por el laboratorio BIOTRENDS S.A.S, presentado en el **ANEXO A**, de una muestra tomada del afluente de la finca Las Brisas el día 30 de octubre de 2018. Se siguió la metodología especificada en la NTC-ISO 5667-3 referente a la preparación de los recipientes, los cuales deben ser sanitizados con detergentes aptos para recipientes de vidrio y plástico, llenado de recipiente, manejo y preservación de muestras, enfriamiento de muestras y adición de preservantes. La entrega de la muestra al laboratorio se realizó el mismo día que fue tomada.

Se tomaron dos litros de muestra del afluente en dos recipientes color ámbar con capacidad de un litro cada uno para los análisis fisicoquímicos y mil mililitros en dos recipientes plásticos con preservantes (Ácido Nítrico y Tiosulfato de Sodio) para los análisis microbiológicos; para la toma de muestras primero se lavan los recipientes con detergente diluido y abundante agua.

La muestra de agua fue captada de una manguera conectada al sistema de distribución de la bomba sumergible, donde previo a la toma se realizan tres purgas únicamente a los recipientes de color ámbar, posteriormente son llenados completamente para que no haya aire sobre la muestra, mientras que, los recipientes plásticos con preservantes se llenan hasta la línea de aforo.

Cuadro 9. Caracterización del agua subterránea respecto norma 2115 de 2007 Agua potable

Análisis	Unidades	Valor Máximo Aceptable (Resolución 2115 de 2007)	Resultado	Cumplimiento
Fluoruros	mgF/L	1	< 0,1	Si Cumple
Carbóno Orgánico Total	mgC/L	5	3	Si Cumple
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	200	51,4	Si Cumple
Cloruros	mgCl-/L	250	23,66	Si Cumple
Color Aparente	PtCo	15	35	No Cumple
Conductividad	uS/cm	1000	140,6	Si Cumple
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	300	161,31	Si Cumple

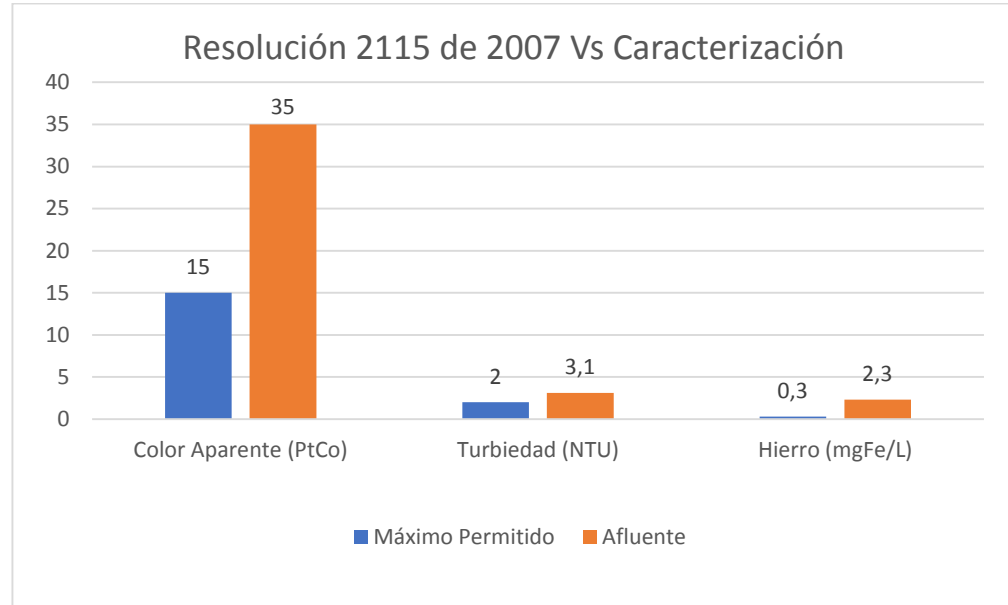
Cuadro 8. (Continuación)

Análisis	Unidades	Valor Máximo Aceptable (Resolución 2115 de 2007)	Resultado	Cumplimiento
pH	-	6,5 - 9	6,61	Si Cumple
Sulfatos	mgSO ₄ =/L	250	138,6	Si Cumple
Turbiedad	NTU	2	3,1	No Cumple
Hierro	mgFe/L	0,3	2,3	No Cumple
Calcio	mgCa/L	60	53,06	Si Cumple
Magnesio	mg/L	36	6,99	Si Cumple
Nitratos	mgNO ₃ /L	10	1,5	Si Cumple
Nitritos	mg/L	0,1	< 0,02	Si Cumple
Fosfatos	mgPO ₄ /L	0,5	0,3	Si Cumple
Zinc	mg/L	3	1,4	Si Cumple
Manganeso	mgMn/L	0,1	<0,02	Si Cumple
Aluminio	mg/L	0,2	0,1	Si Cumple
Coliformes Totales	UFC/100cm ³	0	0	Si Cumple
E-Coli	UFC/100cm ³	0	0	Si Cumple
Aerobios Mesófilos	UFC/100cm ³	100	>2000	No Cumple

Fuente: Resultados caracterización por BIOTRENDS laboratorios S.A.S/ modificado

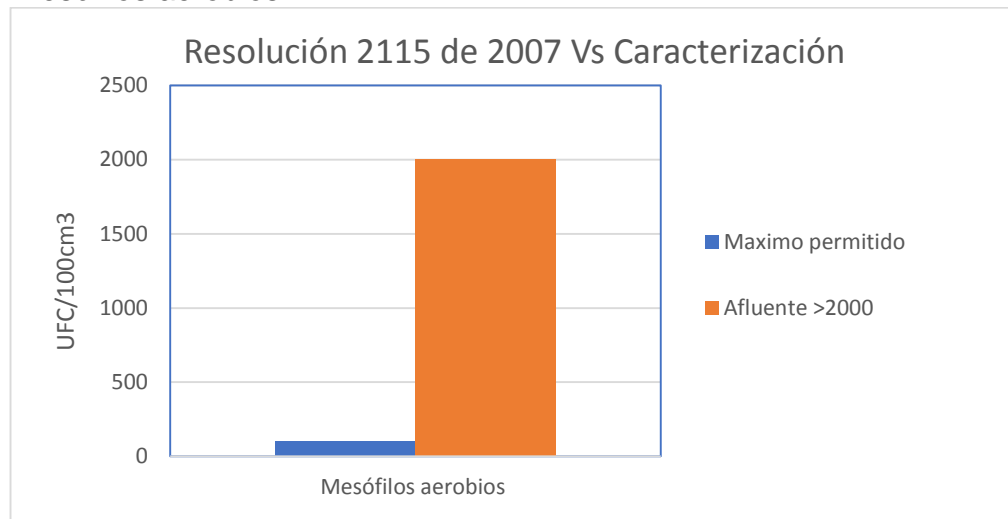
El resultado del análisis emitido por el laboratorio se presenta en el **Cuadro 8** en donde se encuentran la concentración de cada parámetro en el agua subterránea y es comparada con las máximas concentraciones aceptables en la resolución 2115 de 2007 para consumo humano. Se encontró que los parámetros que incumplen la resolución son: Color aparente, turbiedad, hierro y mesófilos aerobios como lo muestran las **Gráfica 2** y **3**, que nos permite tener una idea preliminar del tipo de procedimientos requeridos en el tratamiento del agua para cumplir con la normativa.

Grafica 2. Parámetros fisicoquímicos que incumplen la resolución 2115 de 2007.



Fuente: elaboración propia

Grafica 3. Incumplimiento de la resolución 2115 cd 2007 para mesófilos aerobios.



Fuente: elaboración propia

La concentración de hierro ferroso no altera el color ni la turbidez al estar en un medio anaerobio, por lo tanto, al momento de ser bombeada y entrar en contacto con el aire en la superficie, este hierro ferroso reacciona con el oxígeno y se oxida para formar hierro férrico, esta oxidación otorga un sabor metálico al agua y la torna de un color marrón rojizo como en la **Figura 7** alterando las condiciones de color, olor y turbiedad. Además, la variación del color puede estar asociada con la

presencia de los iones de hierro y de manganeso disueltos. La presencia de Hierro en las aguas subterráneas es indicadora de la combinación de condiciones reductoras y oxidantes en el acuífero, que causan la alteración de minerales ferromagnesianos y la oxidación de sulfuros de hierro (pirita)⁶⁰.

El hierro total es el parámetro que mayor concentración presenta en el primer informe, por esto se decide hacer dos análisis más a este con el fin de observar algún cambio en la concentración, dado que un cambio en la concentración del hierro se vería reflejado en el aumento de otros parámetros como el color aparente, olor, sabor y turbiedad del agua. Estos análisis fueron realizados por el laboratorio BIOTRENDS S.A.S el día 01 de marzo de 2019 y 15 de marzo de 2019 y sus resultados se registran en el **Cuadro 9**. Los informes emitidos por el laboratorio se presentan en el **ANEXO B** y **ANEXO C**.

Cuadro 10. Resultado análisis de hierro adicionales

Análisis	Unidades	Valor Máximo Aceptable (Resolución 2115 de 2007)	Resultado	Cumplimiento
Hierro	mgFe/L	0,3	6,28	No Cumple
Hierro	mgFe/L	0,3	5,44	No Cumple

Fuente: elaboración propia

Comparando los resultados del hierro total del **Cuadro 8** y **9**, se presenta un aumento en la concentración del hierro en 3,98 mgFe/L con respecto al primer análisis. Este aumento en la concentración de hierro podría estar relacionado con el cambio en las condiciones reductoras y oxidantes del acuífero, dicho cambio se evidencia cualitativamente en la **Figura 7** donde el agua presenta mal aspecto.

⁶⁰ MÉNDEZ BERNAL, Mayury Yuleimi. Modelo hidrogeológico conceptual de la mina de sal de Nemocón, contrato de concesión HIQO – 01. U.P.T.C. Escuela de Ingeniería Geológica., 2016. [En Línea], [Citado el 10 de octubre de 2018], Disponible en Internet: <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1685/1/TGT-376.pdf>

Figura 7. Cambio en el aspecto del agua



Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el manganeso tiende a comportarse de manera similar al hierro, este mineral le confiere mal sabor al agua. Es importante un tratamiento preliminar que disminuya en altas proporciones la concentración del manganeso porque en caso contrario el proceso se vería afectado a causa de depósitos e incrustaciones en los sistemas de distribución, así mismo incrementa el uso de desinfectante en el tratamiento para eliminar estas características indeseadas en el agua potable.

De acuerdo con la resolución 2115 de 2007 es necesario hacer el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) asignando un puntaje de riesgo a cada parámetro incumplido, este puntaje de riesgo se encuentra en el Cuadro N°6, cuarto capítulo “Instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano” de la resolución 2115 de 2007, en este capítulo también se encuentra la ecuación para el cálculo de dicho índice para cada muestra.

Ecuación 1. Cálculo del índice IRCA según resolución 2115 de 2007

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntaje de riesgo a cada parametro incumplido}}{\sum \text{Total puntaje de riesgo}} \times 100$$

Tabla 5. Cálculo índice de calidad del agua IRCA

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
Hierro Total	1,5
%IRCA	22,5

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007

El índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) obtenido es de 22,5% lo cual quiere decir que el nivel de riesgo de este afluente es medio y no es apto para consumo humano, por lo tanto, es necesario llevar a cabo un tratamiento donde el agua del efluente cuente con un %IRCA de 0%.

De acuerdo con la **Tabla 6**. Donde se clasifica el agua según su dureza, el agua del pozo es dura ya que se encuentra en el intervalo de 150 a 300 mg de CaCO_3/L con un valor de 161,31 mg CaCO_3/L .

Tabla 6. Clasificación del agua según la dureza

Dureza como CaCO_3 (mg/L)	Interpretación
0 – 75	Blanda
75 – 150	Moderadamente Dura
150 – 300	Dura
> 300	Muy Dura

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 2009. ISBN 9789588060835

Esa condición del agua dura se debe a la presencia de iones como magnesio, calcio, cloruros y sulfatos donde las concentraciones fueron de 6.99, 53.06, 23.66 y 138.6 mg/L respectivamente. Estas condiciones varían con respecto al tiempo de residencia del agua en las rocas y es directamente proporcional a este, dado que, a mayor tiempo de residencia del agua en las rocas, esta se cargará de más iones y de esta forma aumentará su dureza.

2.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

La medición del caudal del afluente en la finca Las Brisas se realizó tomando

muestras periódicas a intervalos de periodos fijos que fueron dependientes del volumen de control (8L), estas se hicieron en diferentes días y horas en el mes de octubre de 2018 de acuerdo con la NTC-ISO 5667-2 que constituye una guía sobre técnicas de muestreo.

Tabla 7. Medición del caudal

Medición	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	8	7,15	1,12
2	8	8,08	0,99
3	8	7,13	1,12
4	8	7,73	1,04
5	8	7,36	1,09
6	8	7,66	1,04
7	8	7,72	1,04
8	8	7,76	1,03
9	8	7,81	1,02
10	8	8,58	0,93
11	8	7,58	1,06
12	8	7,73	1,03
13	8	7,76	1,03
14	8	7,68	1,04
15	20	15,1	1,32
Promedio			1,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Medición de temperatura, pH y Conductividad en campo

Medición	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µs/cm)
1	17,49	6,59	111,12
2	17,22	6,74	112,93
3	17,28	6,54	110,27
4	17,61	6,75	111,14
5	17,69	6,65	113,95
6	17,91	6,51	111,41
7	17,04	6,63	114,08
8	18,15	6,54	113,09
9	18,16	6,7	114,27
10	18,36	6,74	112,48
11	17,01	6,58	110,77
12	17,39	6,67	114,09

Tabla 9. (Continuación)

Medición	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µs/cm)
13	17,36	6,69	113,43
14	17,69	6,75	110,37
15	17,62	6,67	113,26
Promedio	17,6	6,65	112,44

Fuente: elaboración propia

Se tomaron 15 muestras a lo largo del mes de octubre entre las 5:00 am y 6:00pm, donde se evidenció que el consumo de agua potable aumenta debido a la demanda en el proceso de producción de champiñones (preparación del medio de cultivo, compostaje, riego de camas sembradas, etc) y sostenibilidad de la finca (Labores domésticas, preparación de alimentos, labores relacionadas con agricultura de la finca que demanden agua potable) obteniendo un caudal promedio el cual será empleado como caudal de diseño de 1.1L/s y la temperatura, pH y conductividad promedio fueron de 17.60, 6.65 y 112.44 respectivamente.

3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

En este capítulo se describe la selección del sistema de tratamiento de agua adecuado para la finca Las Brisas, partiendo del análisis fisicoquímico y microbiológico que se muestran en el anexo A, B y C que se realiza de una muestra del afluente, donde se evidencia que el agua no cuenta con las condiciones necesarias especificadas en la normatividad para agua potable. Considerando esto, es necesario ajustar parámetros claves como hierro, cuya mayor concentración fue de 6,28 mgFe/L, la turbidez con una concentración de 3,10 NTU; sin embargo, a medida que el hierro ferroso se oxidaba formando hierro férrico este valor aumentaba hasta alcanzar 67,3 NTU y el color aparente con un valor de 35 unidades de PtCo, con respecto a la resolución 2115 de 2007. Otro parámetro para tener en cuenta es la dureza que a pesar de estar cumpliendo (161,31 mg/L) con la normativa (máximo 300 mg/L) y no tener afectaciones comprobadas en la salud, es necesario controlarla y ablandar el agua por lo que es dura, esto para evitar incrustaciones y problemas tanto en los equipos como en el sistema de tubería y descarga. En los análisis no hay presencia de E. coli y tampoco de Coliformes totales, pero sí de mesófilos aerobios los cuales presentan una concentración de >2000 UFC superando el máximo permitido según la resolución 2115 de 2007 que es de 100 UFC para agua potable, por lo tanto, es necesario eliminar estos microorganismos.

3.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La selección de la alternativa de tratamiento se hace mediante una matriz de selección donde se comparan las ventajas y desventajas de tres tipos de alternativas de tal forma seleccionar aquella que se ajuste a las necesidades y requerimientos de la finca.

Cuadro 11. Ventajas y desventajas de las alternativas de tratamiento

Alternativas de tratamiento de potabilización	Ventajas	Desventajas
Filtración directa ⁶¹	Bajo costo de operación y mantenimiento	Requiere monitoreo continuo sobre los parámetros principales.
	Reducción sustancial del consumo de coagulante	Debido al bajo tiempo de retención se debe actuar rápido ante cualquier cambio en la calidad del agua cruda

⁶¹ VARGAS, Lidia. Capítulo 11 Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. 215 p.

Cuadro 10. (Continuación)

Alternativas de tratamiento de potabilización	Ventajas	Desventajas
Filtración directa	Menor volumen de lodo producido en la planta	Posibilidad de paralización temporal en la planta, por errores en la dosificación de coagulante
	Facilidad en el tratamiento de agua cruda de baja turbiedad	
Compacta	Proyectadas para satisfacer las necesidades de agua potable en zonas que no cuentan con abastecimiento por parte de empresas sanitarias, garantizando de esta forma agua potable apta para consumo humano	Complejo mantenimiento que tiene que ser realizado por personal especializado.
	Son plantas compactas, ocupan un mínimo de espacio y son diseñadas para consumir un mínimo de energía	Altos Costos de inversión.
	El tratamiento físico puede ser: mediante un filtro de arena/antracita o Filtro de Sedimento más Filtro de Carbón Activado	Dificultad en el tratamiento de agua cruda con alto contenido de color y turbiedad
Convencional	El proceso de filtración es rápido, simple y fiable	Requiere mayor cantidad de unidades para el tratamiento.
	se enfoca en la remoción de solidos suspendidos y algunos coloides presentes en el agua cruda y una desinfección que garantice eliminación de material patógeno	Requiere monitoreo continuo sobre los parámetros principales.
	este tipo de sistemas es capaz de sortear altas variaciones y baja calidad en la fuente de suministrado que alimenta el sistema.	El área requerida es mayor que los demás tipos de sistemas.
	Mantenimiento de lecho filtrante es de bajo tiempo dependiendo del sistema de retro lavado	Altos Costos de inversión.

Fuente: elaboración propia

3.1.1 Criterios de Selección de la alternativa. En el **Cuadro 11**, se describen los criterios para la construcción de una matriz según la importancia en la selección del

tratamiento conveniente.

Se consideraron los criterios apropiados para la selección de tecnología basándonos en el manual I de la ingeniería Lidia de Vargas “Tratamiento de agua para consumo humano”, del 2004, capítulo 3 en donde se presenta una lista de carácter subjetivo, que no se debe considerar ni completa ni exhaustiva, con el objeto de que sirva como base de análisis⁶². Estos criterios se emplean también en los subtítulos 3.2.1 y 3.3.1, donde hacen pequeñas modificaciones de acuerdo a la etapa que va ser evaluada.

Cuadro 12. Descripción criterios de selección

Criterio	Descripción
Área Requerida por el sistema.	La solución seleccionada debe ser de simple construcción, además del espacio que ocupa cada sistema para su correcto funcionamiento.
Flexibilidad	La propuesta tecnológica debe producir agua de calidad óptima en forma continua, con un mínimo de operación y de fácil mantenimiento.
Tiempo de operación	Es la capacidad que tiene la unidad de tratamiento por unidad de tiempo, está ligado a los costos de operación en cuanto a consumo energético principalmente.
Costo	La tecnología seleccionada debe garantizar agua potable al menor costo posible.
Accesibilidad (eficiencia).	El grado de accesibilidad al servicio de agua potable está directamente relacionado con la eficiencia de la selección tecnológica.
Vida Útil	Es el tiempo o duración que se estima que la planta siga cumpliendo correctamente su función.
Disponibilidad en el mercado	Facilidad de adquisición del sistema de tratamiento en el mercado, materiales e insumos.

Fuente: VARGAS, Lidia. Capítulo 3 Procesos unitarios y plantas de tratamiento. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. [Citado 11 de mayo 2019]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf> 125-126 p

A continuación, en los **Cuadros 12 y 13** se presentan los porcentajes de importancia asignados a los criterios, nivel de importancia, valores empleados para la construcción de la matriz de selección de la alternativa.

⁶² VARGAS, Lidia. Capítulo 3 Procesos unitarios y plantas de tratamiento. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. [citado 11 de mayo 2019]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf> 125 p.

Cuadro 13. Porcentaje de Importancia para cada criterio

Criterio	Porcentaje de Importancia
Área requerida por el sistema	20 %
Flexibilidad	15 %
Tiempo de operación	10 %
Costo	15 %
Accesibilidad (eficiencia).	30 %
Vida Útil	5 %
Disponibilidad en el mercado	5 %

Fuente: elaboración propia

El **Cuadro 12** evidencia que el criterio de selección más importante para la elección de la alternativa es la eficiencia del proceso, debido a que cuenta con un porcentaje del 30%, seguido por el área requerida por el sistema con un 20% de relevancia. Se escogen estos dos como los más importantes por lo que el sistema debe alcanzar valores inferiores a los valores máximos permitidos por la norma, esto se logra en la medida en que la eficiencia del sistema sea alta. La facilidad de operación es de mayor importancia por requerir más tiempo en la capacitación de los operarios. Los criterios como costos, flexibilidad y tiempo de operación tienen un grado de relevancia intermedio, mientras que los criterios de vida útil y disponibilidad en el mercado se consideraron de baja importancia comparado con los demás criterios.

El **Cuadro 13**. Es un Cuadro donde se asignan valores de 5 a 1, siendo el 5 el valor con mayor importancia y el 1 el valor de menor importancia, la asignación de valores fue subjetiva de acuerdo con las necesidades puntuales de la finca Las Brisas.

Cuadro 14. Calificación correspondiente al nivel de importancia

Nivel de Importancia	Calificación
Muy Alto	5
Alto	4
Aceptable	3
Bajo	2
Muy Bajo	1

Fuente: elaboración propia

Mediante la ecuación 1 se calcula el valor que se le va a asignar a cada criterio para finalmente mediante la ecuación 2 obtener el sistema que mejor se adecua entre los evaluados.

Ecuación 2. Cálculo de la calificación de parámetros.

$$C_i = P_i * N_i$$

Ecuación 3. Sumatoria calificación del sistema de potabilización.

$$CS = \sum C_i$$

Donde

C_i = Calificación del criterio.

P_i = Porcentaje de importancia descrito en el cuadro 13.

N_i = Nivel de importancia descrito en el cuadro 14.

CS = Calificación del sistema.

Cuadro 15. Matriz de selección sistema de tratamiento

Criterio	Importancia %	Convencional	Filtración directa	Compacta
Área requerida por el sistema	20	0,4	0,6	0,8
Flexibilidad	15	0,75	0,45	0,3
Tiempo de operación	10	0,3	0,4	0,4
Costo	15	0,45	0,45	0,3
Accesibilidad (eficiencia)	30	1,2	1,2	1,5
Vida Útil	5	0,25	0,15	0,15
Disponibilidad en el mercado	5	0,25	0,2	0,1
Sumatoria	100	3,6	3,45	3,55

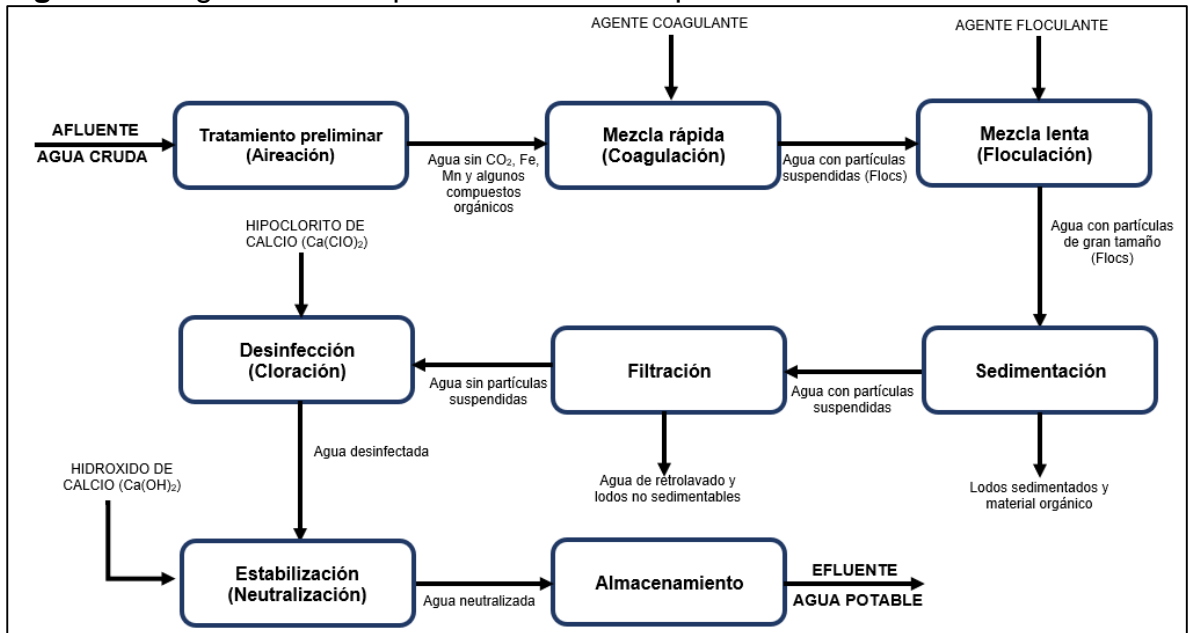
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la matriz de selección expuesta en el **Cuadro 14** el sistema que mejor se ajusta, es el sistema de potabilización convencional, gracias a que cuenta con una eficiencia bastante alta para la remoción de hierro y manganeso, al igual que la disminución de turbiedad y color aparente. De manera que, las operaciones con las que cuenta este sistema de potabilización son de coagulación-floculación, sedimentación, filtración a través de un medio dual y finalmente una etapa de desinfección.

Cómo alternativa para la propuesta del sistema de potabilización se considera necesario según las características del agua subterránea el uso de un tratamiento preliminar (Aireación) que tiene como objetivo acondicionar el agua para las

operaciones posteriores tal como lo muestra la **Figura 8**.

Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de potabilización convencional



Fuente: elaboración propia

3.2 PRETRATAMIENTO

Como alternativa de diseño para el sistema de potabilización se considera necesario, según las características del agua subterránea, el uso de una unidad preliminar que tiene como objetivo acondicionar el agua para las operaciones posteriores de los tratamientos primarios y secundarios. Se tiene en consideración etapas preliminares como: Desbaste o remoción de material flotante (rejillas, mallas y trampas flotantes), pre-sedimentación y remoción de material grueso en suspensión (desarenadores, pre-sedimentadores, pre-filtros y micro-tamices), el objetivo de estas etapas es el de remover materiales voluminosos, objetos indeseados, arcillas y arenas que pueden perjudicar el funcionamiento del sistema. De acuerdo con esto, este tipo de etapas preliminares son descartadas debido a que el agua proviene de una bomba sumergible que cuenta con una malla que evita el paso de este tipo de elementos.

La etapa de oxidación química como la pre-cloración, presenta riesgo por la formación de sustancias cancerígenas⁶³. El permanganato de potasio (KMnO₄) que si bien es eficaz para la eliminación de Fe y Mn, su principal desventaja es el alto costo de operación, además de generar color en el agua, el uso de este químico se descarta puesto que el agua a tratar ya cuenta con el parámetro de color aparente,

⁶³ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 104 p. ISBN 9789588957180

el cual excede el valor máximo permitido en la norma, se debe agregar que se descarta el uso de peróxido de hidrogeno y ozono como agentes oxidantes por su alto costo y su delicada manipulación.

Para la propuesta se selecciona la aireación como pretratamiento más conveniente, dado que esta etapa cumple con la función de remoción de hierro y manganeso (en caso de que haya presencia de este en el agua) que para las muestras analizadas tiene una concentración de hierro, que varió entre 2,3 mg de Fe/L y 6,28 mg de Fe/L sobrepasando el máximo permitido en la norma para agua potable. Adicional a esto, este pretratamiento tiene como ventaja su bajo costos de operación y facilidad de operación **Cuadro 5**.

3.2.1 Selección del tipo de aireador. Los criterios de selección para la construcción de una matriz según la importancia en la selección del tipo de aireador se muestran en el **Cuadro 15**.

Cuadro 16. Criterios de selección unidad de aireación

Criterio	Descripción
Área Requerida por el sistema	La solución seleccionada debe ser de simple construcción, el espacio que ocupa cada unidad de aireación para su correcto funcionamiento.
Costo	La unidad seleccionada debe garantizar la remoción de contaminantes al menor costo posible.
Remoción de contaminantes	La unidad debe disminuir la concentración de hierro, olor, sabor y CO ₂ provenientes de sustancias volátiles en el agua.
Facilidad de operación	La unidad de aireación debe ser de simple operación, mantenimiento y reparación.
Mantenimiento	La unidad debe ser de fácil mantenimiento en cortos periodos de tiempo, garantizando la correcta operación de la unidad.

Fuente: VARGAS, Lidia. Capítulo 3 Procesos unitarios y plantas de tratamiento. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. [Citado 11 de mayo 2019]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf> 125-126 p

En el **Cuadro 16** se muestran los criterios de selección con el porcentaje de importancia asignado a cada uno, el cual es subjetivo y en este caso particular se ajusta con la necesidad de la finca Las Brisas, teniendo como criterio más importante la remoción de contaminantes principalmente el hierro, debido a que este es el parámetro que presenta variabilidad en el tiempo y puede afectar otros parámetros como color aparente y turbidez; seguido de otros como, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de carbono. El criterio de facilidad de operación con un 20%, pues se requiere en el diseño un sistema simple y eficiente, por otro lado, si se plantea una unidad de aireación compleja seria de poca utilidad.

Cuadro 17 Porcentaje de importancia asignado a cada criterio

Criterio	Porcentaje de Importancia
Remoción de contaminantes	35 %
Costos	20 %
Facilidad de operación	20 %
Mantenimiento	10 %
Área requerida	15 %

Fuente: elaboración propia

En la construcción de la matriz de selección para ciertos criterios, se asignaron valores inversos con respecto a la búsqueda de la unidad de aireación que mejor se adecue, en el caso del criterio de facilidad de operación se asignaba el valor de 1 a la unidad más compleja y 5 a la unidad con el menor grado de complejidad, esto con el fin de obtener mayor peso en la sumatoria de la unidad de aireación. De igual manera para el criterio de área requerida.

En la selección de la unidad de aireación se sigue la metodología expuesta en el subtítulo 3.1.1. donde a través de las **Ecuaciones 2 y 3** se asigna un valor a cada criterio del **Cuadro 16**.

Cuadro 18. Matriz de selección unidad de aireación

Criterio	Importancia %	Torre de aireación	Vertedero y cascada	Remoción manual de hierro y manganeso
Remoción de contaminantes	35	1,75	1,05	0,7
Costos	20	0,8	0,6	0,8
Facilidad de operación	20	1	1	0,2
Mantenimiento	10	0,1	0,3	0,3
Área requerida	15	0,6	0,6	0,6
SUMATORIA	100	4,25	3,55	2,6

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la matriz expuesta en el **Cuadro 17** la unidad de aireación que mejor se ajusta a las necesidades del diseño es la torre de aireación; ya que la base no necesita un área mayor a 2 m² y la altura no supera los 3 m. Cumple con las principales funciones de remoción de hierro, manganeso, compuestos orgánicos volátiles y también aumenta el oxígeno disponible en el agua. Dentro de la selección no se incluyó otro tipo de aireadores por costo, mantenimiento, facilidad de operación como lo son: aireadores de inyección o difusión, de spray, mecánicos, difusores-hélices, de paleta, de turbina. Adicionalmente no cuenta con gran

disponibilidad en el mercado, por lo tanto, los costos de mantenimiento y reparación serán demasiado altos con respecto a los demás.

El tratamiento preliminar se lleva a cabo en una torre de aireación a escala de 5 bandejas con un lecho de contacto de carbón coque, para esto se tomó una muestra del afluente de 20L cumpliendo la NTC-ISO 5667-2 que constituye una guía sobre técnicas de muestreo. A partir de la muestra recolectada en la finca se procede a realizar la prueba vertiéndola en la torre de aireación y al mismo tiempo fue recolectada para evaluar los procesos de coagulación y floculación en el laboratorio de la Universidad de América.

3.2.2 Torre de aireación a escala. Para conocer el caudal que podía tratar la torre construida a escala se siguieron las ecuaciones expuestas en el libro de William Lozano del 2015 “Potabilización del Agua Principios de diseño, control de proceso y laboratorio” donde en el capítulo 4 describe los pasos a seguir para la construcción de unidades para tratamientos preliminares.

La torre de aireación a escala cuenta con 5 bandejas cuyas dimensiones son 21 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto. El material de las bandejas es plástico, el número de orificios por bandeja es de 42 y cada orificio cuenta con un diámetro de 5 mm, mientras que la distancia entre bandejas es de 20 cm. Una vez conocidos estos valores se realizó el cálculo del caudal y tiempo de exposición o contacto.

. **Ecuación 4.** Número total de orificios.

$$N_{T. \text{ orificios}} = \frac{Q}{Q_o}$$
$$N_{T. \text{ orificios}} = n * N_{B. \text{ orificios}}$$

Donde

$N_{T. \text{ orificios}}$ = Número total de orificios

Q = Caudal total de la torre de aireación (m³/s)

Q_o = Caudal de descarga del orificio (m³/s)

n = Número de bandejas de la torre de aireación

$N_{B. \text{ orificios}}$ = Número de orificios por bandeja.

Ecuación 5. Cálculo del caudal de descarga del orificio.

$$Q_o = C_d * A_o * \sqrt{2 * g * h}$$

Donde

Q_o = Caudal de descarga del orificio (m³/s)

C_d = Coeficiente de descarga (0,85)

A_o = Área de orificio (m²)

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

h = Altura de la lámina de agua en el interior de la bandeja (m).

Ecuación 6. Cálculo tiempo de exposición en torre de aireación.

$$t = \sqrt{\frac{2 * H}{g}} * n$$

Donde

t = tiempo de contacto (s)

g = Gravedad (m/s²)

n = Número de bandejas de la torre de aireación

H = Distancia entre bandejas (m)

De manera que al despejar de la **Ecuación 5** el caudal de descarga del orificio e igualarlo a la **Ecuación 4** se obtiene.

$$\frac{Q}{N_{T. \text{ orificios}}} = C_d * A_o * \sqrt{2 * g * h}$$

Donde se busca conocer el valor del caudal total.

$$Q = C_d * \pi * \left(\frac{D_o}{2}\right)^2 * \sqrt{2 * g * h} * N_{T. \text{ orificios}}$$

$$Q = 0,85 * \pi * \left(\frac{0,005m}{2}\right)^2 * \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * 0,04m} * 42 * 5$$

$$Q = 0,0031 \frac{m^3}{s} = 3,1 L/s$$

Por lo tanto, la torre tiene la capacidad de tratar de 3,1 L/s si la altura de agua en el interior de las bandejas es de 4 cm. Una vez conocido el caudal se multiplica por el tiempo de exposición para conocer el volumen que va a ser tratado en el laboratorio.

$$t = \sqrt{\frac{2 * (0,2 \text{ m})}{9,8 \text{ m/s}^2}} * 5$$

$$t = 1,01 \text{ s}$$

$$V = 3,1 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 1,01 \text{ s} = 3,13 \text{ L}$$

Para el cálculo del tiempo de exposición del agua cruda en la torre de aireación se emplea la **Ecuación 6** determinado que el tiempo de exposición del agua en la torre es de 1,01 s, por lo tanto, el volumen que va a ser tratado en el laboratorio es de 3,13 L de agua cruda.

Figura 9. Prueba experimental de aireación por torre de bandejas



Fuente: elaboración propia

3.3 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La mezcla rápida en los sistemas de potabilización de agua cumple con la función de dispersar el agente coagulante al agua, de tal forma crear una mezcla homogénea donde el coagulante cuente con una concentración uniforme a lo largo de toda la unidad de mezcla rápida. Para que este fenómeno ocurra con mejor eficiencia se busca que el agua entre en un régimen turbulento, donde el choque de

partículas en el agua sea aleatorio, dicha turbulencia puede ser generada de forma mecánica o hidráulica, algunos de los equipos o unidades para esta etapa del tratamiento son: Canaletas de Parshal, rejillas difusoras, vertederos rectangulares, tanques homogeneizadores, resaltes hidráulicos, entre otros. En este caso los equipos o unidades que se van a evaluar son el resalto hidráulico, canaleta parshal, vertedero rectangular y tanque homogeneizador mediante una matriz de selección.

3.3.1 Selección de la unidad de mezcla. En el **Cuadro 18** se realiza la descripción de los criterios empleados para construir la matriz de selección correspondiente a la unidad del sistema responsable de las etapas de coagulación y floculación

Cuadro 19. Criterios de selección unidad de mezcla para la etapa de coagulación y floculación

Criterio	Descripción
Área Requerida por el sistema	La solución seleccionada debe ser de simple construcción y el espacio que ocupa para su correcto funcionamiento.
Costos de operación	La unidad seleccionada debe garantizar la remoción de contaminantes al menor costo posible.
Eficiencia en dispersión de sustancias	La unidad debe ser eficiente en el consumo de reactivos en la remoción de sólidos suspendidos y microorganismos que requieran altas dosificaciones cloro para su eliminación.
Facilidad de operación	La unidad de mezcla debe ser de simple operación, mantenimiento y reparación.
Mantenimiento	La unidad debe ser de fácil mantenimiento en cortos periodos de tiempo, garantizando la correcta operación.

Fuente: VARGAS, Lidia. Capítulo 3 Procesos unitarios y plantas de tratamiento. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. [Citado 11 de mayo 2019]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf> 125-126 p

En el **Cuadro 19** es asignado el porcentaje de relevancia de los criterios que fueron tenidos en cuenta para la selección de la alternativa, siendo los más importantes y de mayor ponderación la eficiencia en dispersión de sustancias, y el costo de operación. Este costo de operación hace referencia al servicio energético requerido por turbinas y bombas. Por otro lado, el criterio con menor peso ponderado es el de mantenimiento.

Cuadro 20. Porcentaje de importancia asignado

Criterio	Importancia %
Eficiencia en dispersión de sustancias	30
Costos de operación	30

Cuadro 19. (Continuación)

Criterio	Importancia %
Facilidad de operación	15
Mantenimiento	10
Área requerida	15

Fuente: elaboración propia

En la selección de la unidad de aireación se sigue la metodología expuesta en el subtítulo 3.1.1. donde a través de las **Ecuaciones 2 y 3** se asigna un valor a cada criterio del **Cuadro 19**.

En la construcción de la matriz de selección para ciertos criterios se asignaron valores inversos con respecto a la búsqueda del sistema que mejor se adecue. En el caso del criterio de grado de complejidad se asignaba el valor de 1 al sistema más complejo y 5 al sistema con grado de complejidad más bajo, esto con el fin de obtener mayor peso en la sumatoria al sistema con mayor facilidad de comprensión y operación. De igual manera para los criterios de tiempo de operación y costo.

Cuadro 21. Matriz de selección unidad de Coagulación-Floculación

Criterio	Importancia (%)	Resalto Hidráulico	Canaleta Parshal	Vertedero rectangular	Tanque Homogeneizador (Turbina)
Eficiencia en dispersión de sustancias	30	1,2	1,5	1,2	1,5
Costos de operación	30	0,9	0,9	0,9	0,6
Facilidad de operación	15	0,6	0,6	0,6	0,45
Mantenimiento	10	0,2	0,1	0,3	0,3
Área requerida	15	0,15	0,3	0,15	0,6
Sumatoria	100	3,05	3,4	3,15	3,45

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el **Cuadro 20** matriz de selección la unidad de mezcla que mejor se adecua es el tanque de homogeneizado, si bien todas las unidades cuentan con condiciones de operación bastante similares, el tanque homogeneizador es el mejor, puesto que no requiere de gran área, adicionalmente no requiere ser construido en el sitio donde estará el sistema de potabilización, lo cual le brinda movilidad, cosa que no ocurre con las otras alternativas que al ser obras civiles no tienen ninguna movilidad⁶⁴.

⁶⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 60 p. ISBN 9701504003, 9789701504000

3.3.2 Prueba de jarras. Este tipo de ensayo es utilizado ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, Turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda⁶⁵.

En la prueba de jarras desarrollado mediante la norma NTC 3903, se evaluaron los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y desinfección, con el fin de especificar las condiciones del sistema de tratamiento de esta agua y así remover los compuestos presentes en el agua como hierro, sólidos suspendidos, mesófilos aerobios, remanentes de la aireación asociados a los altos valores de turbidez y color que incumplen con la norma.

Este ensayo se hace con el propósito de seleccionar el tipo de coagulante y floculante que mejor desempeño alcance frente al agua cruda y establecer cuál es la dosificación adecuada.

Cuadro 22. Matriz de selección unidad de Coagulación-Floculación

	Nombre	Formula	Presentación
Neutralizante	Hidróxido de Calcio	Ca(OH) ₂	Polvo
Coagulante	Hidroxiclورو de aluminio	Al ₂ Cl(OH) ₅	Solución
	Cloruro Férrico	FeCl ₃ * 6H ₂ O	Cristales amarillos caramelitosos
	Sulfato de aluminio	Al ₂ (SO ₄) ₃	Granulada
Floculante	Polímero Aniónico	L-1538	Líquido viscoso
	Polímero Catiónico	L-1569A	Líquido viscoso
Desinfectante	Hipoclorito de calcio	Ca(ClO) ₂	Granulada

Fuente: elaboración propia

Las pruebas de jarras 1,2 y 3 se realizaron en el laboratorio de la Universidad de América a lo largo del mes de octubre de 2018 y las pruebas de jarras 4,5 y 6 se realizaron durante el mes de marzo 2019. primero se hizo la selección de las sustancias químicas más comunes para cada operación, donde los principales criterios de selección fueron el costo en el mercado y su eficiencia.

Para la determinación de los agentes químicos y su dosificación se llevan a cabo las etapas experimentalmente mediante prueba de jarras, donde se evaluaron procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

⁶⁵ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 2009. 252 p. ISBN 9789588060835

3.3.3 Selección de coagulantes. Los coagulantes son seleccionados a partir de una búsqueda bibliográfica, donde se escogen aquellos coagulantes que son empleados generalmente para el tratamiento de aguas y aquellos que tiene mayor afinidad para tratar agua subterránea.

3.3.3.1 Cloruro Férrico FeCl_3 . El cloruro férrico es seleccionado como posible coagulante debido que produce buenos resultados en aguas subterráneas con alto contenido de hierro, al reaccionar con la alcalinidad del agua para formar flocs de hidróxido férrico con un pH óptimo entre 3,5 – 6,5 y $> 8,0$ ⁶⁶.

3.3.3.2 Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. El sulfato de aluminio es el coagulante estándar empleado en tratamiento de aguas⁶⁷, por este motivo fue seleccionado, la ventaja de este coagulante es que se encuentra de diversas presentaciones y su costo es bajo, con un pH óptimo entre 4,0 y 7,0.

3.3.3.3 Hidroxicloruro de Aluminio “PAC” $\text{Al}_2\text{Cl}(\text{OH})_5$. Es seleccionado como alternativa de tratamiento, gracias a que cuenta con un amplio rango de pH en el que puede trabajar, además de contar con una alta velocidad de reacción⁶⁸. Es empleado en una gran cantidad de procesos industriales con un pH óptimo entre 3,5 y 9,0.

3.3.4 Preparación de Coagulantes. La disolución de los coagulantes en agua para alcanzar la concentración que se busca antes de la disolución.

3.3.4.1 Cloruro Férrico FeCl_3 (1%). En un balón aforado de 100 ml se diluyen 1g de cloruro férrico en 100 ml de agua, para alcanzar una concentración al 1%, se agita durante varios minutos hasta homogenizar la disolución.

3.3.4.2 Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1%). En un balón aforado de 100 ml se diluyen 1g de sulfato de aluminio en 100 ml de agua, para alcanzar una concentración al 1%, se agita durante varios minutos hasta homogenizar la disolución.

3.3.4.3 Hidroxicloruro de Aluminio “PAC” $\text{Al}_2\text{Cl}(\text{OH})_5$ (1%). En un balón aforado de 100 ml se diluyen 4,34 ml de hidroxicloruro de aluminio al 23% en 100 ml de agua, para alcanzar una concentración al 1%, se agita durante varios minutos hasta homogenizar la disolución.

3.3.5 Preparación de floculante. La preparación de los floculantes se realiza

⁶⁶ Ibid. p. 243.

⁶⁷ Ibid. p. 239.

⁶⁸ VERDE VERDAD. ISA ingeniería y servicios ambientales. [Sitio WEB], Quito. Laentidad [Citado 19 de marzo 2019] Disponible en: <https://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/policloruro-de-aluminio-vs-sulfato-de-aluminio>

mediante la dilución de 0,08 g de polímero catiónico (L-1569A) /aniónico (L-1538) en 100 ml de agua, agitar durante varios minutos para obtener una mezcla homogénea con una concentración de 0,08%.

3.3.6 Preparación de desinfectante Ca(ClO)₂. En un balón aforado de 100 ml se diluyen 1g de hipoclorito de calcio en 100 ml de agua, para alcanzar una concentración al 1%, para obtener una mezcla homogénea se agito durante varios minutos.

3.3.7 Preparación de neutralizante Ca(OH)₂. En un balón aforado de 100 ml se diluyen 0,185 g de hidróxido de calcio en 100 ml de agua, para alcanzar una concentración al 0,18 %, para obtener una mezcla homogénea se agito durante varios minutos.

3.3.8 Pre- experimentación. Se realiza una pre-experimentación, en el mes de octubre de 2018 para evaluar los coagulantes sulfato de aluminio, cloruro férrico e hidroxiclورو de aluminio (PAC), esta se realiza directamente al agua cruda.

En varios ensayos de coagulación, con sulfato de aluminio (alumbre) como coagulante en diferentes calidades de agua, se encontraron unos rangos usuales de dosis para una turbiedad (NTU) determinada, que podrían tomarse como un rango de valores extremos de partida.⁶⁹ Estas pueden variar dependiendo de las propiedades del agua.

La dosificación de sulfato de aluminio se determina a partir de las **Ecuaciones 7 y 8**⁷⁰, según el autor William Lozano, 2015 “Potabilización del Agua Principios de diseño, control de procesos y laboratorio” en el capítulo 14, en las cuales se determinan la dosis mínima y máxima de sulfato de aluminio según la turbiedad del agua cruda.

Ecuación 7. Dosis mínima de sulfato de aluminio

$$Dosis\ mínima\ Al_2(SO_4)_3 = 4,83 * Ln(NTU) + 5,2$$

Ecuación 8. Dosis máxima de sulfato de aluminio

$$Dosis\ máxima\ Al_2(SO_4)_3 = 4,83 * Ln(NTU) + 40,2$$

⁶⁹ Ibid, p. 520.

⁷⁰ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 520 p. ISBN 9789588957180

$$\text{Dosis mínima } Al_2(SO_4)_3 = 4,83 * Ln(64,5 \text{ NTU}) + 5,2$$

$$\text{Dosis mínima } Al_2(SO_4)_3 = 25,32 \text{ mg/L}$$

$$\text{Dosis máxima } Al_2(SO_4)_3 = 4,83 * Ln(64,5 \text{ NTU}) + 40,2$$

$$\text{Dosis máxima } Al_2(SO_4)_3 = 60,32 \text{ mg/L}$$

Se toman los valores iniciales de turbiedad de 64,5 NTU, pH de 7,51 y conductividad de 46,73 $\mu\text{s/cm}$, se ve un aumento considerable en la turbiedad con respecto al proporcionado por el laboratorio, ver **Anexo A**; este obedece a la oxidación del hierro ferroso en el agua al entrar en contacto con el aire formando hierro férrico.

Se procede a calcular la dosis mínima y máxima de sulfato de aluminio diluido al 1% con el valor inicial de turbiedad, empleando la **Ecuación 7 y 8**, con el fin de ser evaluado en cuatro dosificaciones de 25 ppm, 36 ppm, 48 ppm y 60 ppm. Por otro lado, se evalúa el uso de hidroxiclورو de aluminio (PAC) a una concentración de 1% en dosificaciones de 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm, estas dosis son evaluadas, debido a que presentan buenos resultados en agua cruda, disminuyendo la turbiedad final a menos de 2 NTU⁷¹, mientras que la dosificación del floculante polímero catiónico (Lipesa 1569A) al 0,08% se mantiene constante a 8 ppm para todas las jarras, con el fin de obtener floc con un mayor diámetro de partícula, de esta manera aumentar la velocidad de sedimentación, al ser una dosis demasiado elevada para el tratamiento de agua potable más adelante se evalúa su dosificación por ser un floculante de alto peso molecular.

Los resultados de esta prueba no son presentados, dado que al medir las propiedades finales de las jarras' no muestran un cambio significativo frente a las propiedades iniciales, por lo tanto, bajo estas dosificaciones los agentes coagulantes, sulfato de aluminio y PAC no cuentan con la fuerza necesaria para desestabilizar los coloides y por esta razón no hay formación de flocs que a su vez puede estar influenciado por la naturaleza y concentración del afluente.

Continuando el análisis, se evalúa el desempeño del cloruro férrico al 1% mediante una prueba de jarras con altas dosificaciones para establecer cuál es el límite máximo de dosificación, punto en el que no hay formación de coágulos. Las dosis descritas en la **Tabla 10** se toman con base en el documento "Tratamiento de agua coagulación y floculación" por la ingeniera Yolanda Andía del 2000 donde expone que con una dosificación de 100 ppm de cloruro férrico la turbiedad final del agua

⁷¹ CERÓN PÉREZ, Vicky Alexandra. Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas en la empresa EMPOOBANDO EPS. Trabajo de grado para optar al título de Químico. San Juan de Pasto.: Universidad de Nariño. 2016, p 63.

es de 2,38 NTU⁷² y la dosis máxima evaluada es de 120 ppm⁷³, se toma una dosificación máxima de 140 ppm en la que no hay una formación significativa de coágulos.

Se evalúa el polímero aniónico y catiónico como agentes floculantes, con una dosificación que varía entre 8 ppm y 4,8 ppm para identificar cual, de ellos presentaba mejor formación de floc mejorando el proceso de clarificación del agua, buscando la menor turbiedad final posible. En la **Tabla 10** se muestra cual fue la dosificación cloruro férrico al 1% y floculante en cada jarra tratada.

Tabla 10. Dosificación de FeCl₃ y floculante en prueba de jarras

	pH <i>inicial</i> 7,53	Turbiedad <i>inicial</i> 61,4 (NTU)	
Jarra	Cloruro Férrico 1% (ppm)	L-1569A 0,08 % (ppm)	L-1538 0,08 % (ppm)
1	140,00	0,00	4,80
2	100,00	8,00	0,00
3	140,00	4,80	0,00
4	100,00	0,00	8,00

Fuente: elaboración propia

Al finalizar la prueba de jarras, se miden los parámetros de turbiedad, pH y conductividad para cada jarra y se registran en la **Tabla 11**, al realizar el cálculo del porcentaje de remoción de turbiedad, se emplea la **Ecuación 9**, obteniendo que el mayor porcentaje de remoción se alcanza en la jarra 2 en la cual se empleó cloruro férrico 100 ppm y polímero catiónico L-1569A 8 ppm, con un porcentaje de remoción de 97,54%.

Ecuación 9. Cálculo del porcentaje de remoción.

$$\% \text{ de remocion} = \frac{\text{Turbiedad}_{\text{inicial}} - \text{Turbiedad}_{\text{final}}}{\text{Turbiedad}_{\text{inicial}}} \times 100$$

$$\% \text{ de remocion jarra 2} = \frac{61,4 - 1,51}{61,4} \times 100 = 97,54$$

⁷² ANDIA CARDENAS, Yolanda. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico, Tratamiento de agua coagulación y floculación. [en línea]. SEDAPAL, Lima.: 2000. [Consultado 25 de marzo 2019] Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154 32 p.

⁷³ Ibid., p 32.

Tabla 11. Resultados segunda prueba de jarras

Parámetro	Inicial	Jarra			
		1	2	3	4
pH	7,53	5,29	6,51	4,09	6,57
Turbiedad (NTU)	61,40	44,60	1,51	36,80	5,16
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	35,00	33,20	30,70	35,80	63,34
% de Remoción		27,36	97,54	40,06	91,60

Fuente: elaboración propia

Al aumentar la dosificación de cloruro férrico en el agua cruda tiene un efecto negativo en el tratamiento, así que la formación de coágulos no ocurre y el porcentaje de remoción de la turbidez disminuye tal y como se evidencia en la **Tabla 11**. Para una concentración de 140 ppm de cloruro férrico y 4,8 ppm de polímero aniónico L-1538 el porcentaje de remoción es de 27% y para polímero catiónico L-1569A con las mismas dosificaciones no hay formación de coágulos, pero el porcentaje de remoción aumenta hasta alcanzar el 40%. Por otra parte, con una dosificación menor de cloruro férrico de 100 ppm y 8 ppm de polímero catiónico 1569A como floculante, el porcentaje de remoción supera el 97%, por lo tanto, la dosificación que se ha preseleccionado es de 100 ppm de cloruro férrico, puesto que este presenta formación de coágulos como se puede ver en la **Figura 10**. El floculante seleccionado para el tratamiento es el polímero catiónico, ya que este alcanza un porcentaje de remoción de turbiedad de 97,54% y el polímero aniónico un porcentaje inferior de 92,33 %.

Figura 10. Resultado obtenido en la jarra 2



Fuente: elaboración propia

3.3.9 Experimentación prueba de jarras. De acuerdo con los resultados obtenidos en la pre-experimentación, el coagulante seleccionado es el cloruro

férrico al 1% y el floculante polímero catiónico lipesa L-1569A al 0,08%, dado que las dosificaciones en la pre-experimentación son demasiado altas, el objetivo de la experimentación es disminuir la dosificación para establecer cuál es la dosis adecuada tanto de coagulante como de floculante para el tratamiento.

3.3.9.1 Prueba de Jarras No 1. La finalidad de esta prueba de jarras es disminuir la dosificación del coagulante seleccionada en la pre-experimentación, que es de 100 ppm, partiendo del pretratamiento (aireación) **Figura 9**, donde hay disminución de la concentración de hierro en el agua. La dosis de partida en esta prueba de jarras es de 12,5 ppm puesto que para el autor Yolanda Andía en su documento "Tratamiento de agua coagulación y floculación" del 2000 la dosis optima de cloruro férrico es de 14 ppm⁷⁴. Por lo tanto, se toma una dosificación menor a esa de 12,5 ppm hasta alcanzar una dosificación de 75 ppm como lo muestra la **Tabla 12**.

En este caso la dosis de polímero catiónico L-1569A que para la pre-experimentación es de 8 ppm se disminuye, ya que al ser un polímero de alto peso molecular y alta viscosidad con menores dosis, sigue cumpliendo con la función de formación de flóculos, por este motivo la dosificación para esta prueba de jarras es de 1 ppm, la cual se mantiene constante en todas las jarras, para apreciar con mayor facilidad cual es el comportamiento del agua al aumentar la dosis de coagulante.

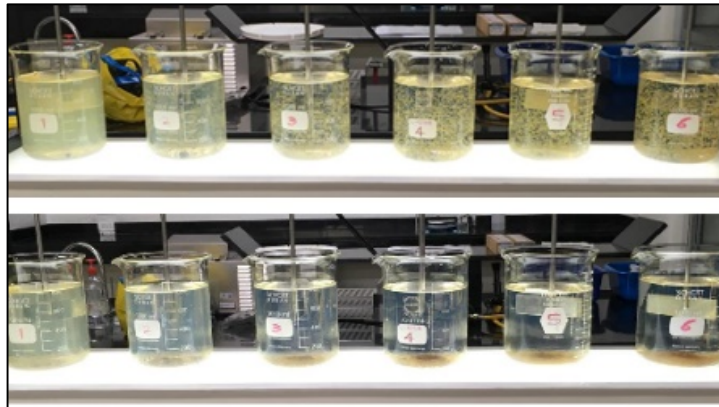
Tabla 12. Variación de la dosis de cloruro férrico al 1% a floculante polímero catiónico L-1569A constante

4 prueba de Jarras viernes 01 de marzo 2019		
Jarra	Cloruro Férrico 1% (ppm)	L-1569A 0,08% (ppm)
1	12,50	1,00
2	25,00	1,00
3	37,50	1,00
4	50,00	1,00
5	62,50	1,00
6	75,00	1,00

Fuente: elaboración propia

⁷⁴ Ibid., p 42.

Figura 11. Disminución en la dosificación de cloruro férrico al 1%



Fuente: elaboración propia

En la **Figura 11** se muestra la formación de coágulos, dependiendo de la dosificación del cloruro férrico en el que varía el diámetro de partícula, así como la cantidad de sólidos sedimentados después de 5 minutos.

Tabla 13. Resultados cuarta prueba de jarras.

Resultados obtenidos en la disminución de cloruro férrico al 1%							
Parámetro	Inicial	Jarra					
		1	2	3	4	5	6
pH	7,28	6,85	6,81	6,74	6,66	6,36	6,06
Turbiedad	50,62	24,00	10,73	4,18	2,32	1,89	1,51
Conductividad	112	114,0	119,0	123,0	127,0	133,0	137,0
% de Remoción de turbiedad		0	0	0	0	0	0
		52,59	78,80	91,74	95,42	96,27	97,02

Fuente: elaboración propia

En la **Tabla 13** se identifica que el aumento en la dosis de coagulante es inversamente proporcional a la condición de pH, además de ser directamente proporcional al aumento en la conductividad y al porcentaje de remoción de turbiedad, igualmente que para concentraciones de cloruro férrico superiores a 37,5 ppm, el porcentaje de remoción de turbiedad supera el 90%, mientras que el pH se encuentra fuera del valor mínimo permitido en la resolución 2115 de 2007 después de 62,5 ppm de cloruro férrico.

De acuerdo con el criterio de la turbiedad, se seleccionan las jarras 5 y 6 las cuales contaban con una dosificación de 62,5 ppm y 75 ppm de cloruro férrico respectivamente y 1 ppm de L-1569A para continuar en el tratamiento, estas jarras alcanzaron una turbiedad final inferior a 2 NTU y los porcentajes de remoción

superaron el 95%; a pesar de contar con un valor de pH por fuera de la norma, motivo por el cual se debe incluir la etapa de neutralización.

3.3.9.2 Prueba de jarras No. 2. La finalidad de esta prueba de jarras, es evaluar la disminución de la dosificación del polímero catiónico de 0,2 ppm hasta 0,8 ppm con base en las dosificaciones de cloruro férrico de 62,5 ppm y 75 ppm, de acuerdo con los resultados de la primera prueba de jarras y con los resultados obtenidos seleccionar la dosificación de coagulante-floculante de la propuesta. La dosificación evaluada se muestra en la **Tabla 14**, cabe aclarar que previo a la prueba de jarras el agua pasa por la torre de aireación.

Tabla 14. Evaluación de la dosis de L1569A al 0,08%

Prueba de Jarras viernes 01 de marzo		
Jarra	Cloruro Férrico 1% (ppm)	P. Catiónico 0,08% (ppm)
1	62,50	0,20
2	62,50	0,50
3	62,50	0,80
4	75,00	0,20
5	75,00	0,50
6	75,00	0,80

Fuente: elaboración propia

El resultado obtenido de turbiedad, pH y conductividad para esta prueba de jarras fue registrado en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Resultados variación de cloruro férrico al 1% entre 62,5 y 75 ppm y L1569A al 0,08% desde 2 ppm hasta 8 ppm

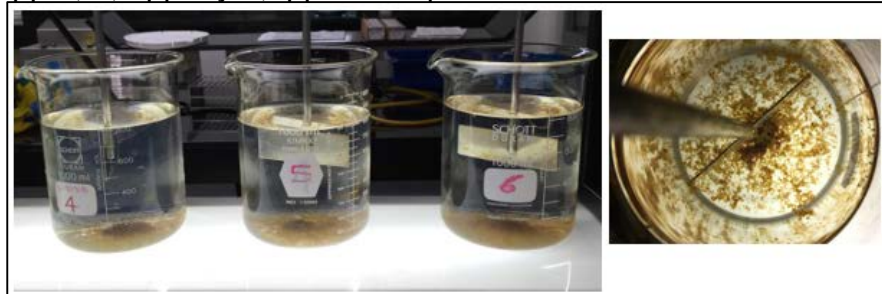
2da Prueba de jarras							
Parámetro	Inicial	Jarra					
		1	2	3	4	5	6
pH	7,31	6,43	6,41	6,40	6,21	6,19	6,16
Turbiedad	31,27	2,64	2,48	2,15	1,98	1,53	1,47
Conductividad	112,00	116,00	134,00	131,00	136,00	135,00	137,00
% de Remoción de turbiedad		91,56	92,07	93,12	93,67	95,11	95,30

Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla 15** el parámetro de turbiedad inicial es menor al de las pruebas anteriores, gracias a que el agua cruda primero es tratada en la torre de aireación. El porcentaje de remoción de todas las jarras es superior al 90%, donde las jarras que mayor porcentaje de remoción presentan son las jarras 4, 5 y 6 como lo muestra

la **Figura 12** en las que la dosificación de cloruro férrico fue de 75 ppm. Se decide seleccionar la jarra 6, ya que en esta jarra muestra una turbiedad final es de 1,47 NTU y el porcentaje de remoción es de 95,3%, de tal manera que, si se presenta algún aumento en la concentración inicial de hierro, el sistema tiene la capacidad de mantener la turbiedad por debajo del valor máximo para agua potable permitido en la resolución 2115 de 2007.

Figura 12. Floculo sedimentado con 75 ppm de FeCl_3 y 0,2 ppm, 0,5 ppm y 0,8ppm de Lipesa 1569A



Fuente: elaboración propia

El valor de turbiedad registrado en la **Tabla 15** fue previo a la etapa de filtración lo cual indica que este valor puede disminuir en las etapas posteriores, adicionalmente la velocidad de sedimentación es buena al tener flocs uniformes y de acuerdo con el índice de Willcomb (**ANEXO M**) que clasifica los flóculos por su tamaño, se asigna 8 siendo “bueno” lo que significa que es un floculo que se sedimenta fácil (5 min aprox.), pero no completamente debido a que unas pocas partículas permanecen suspendidas.

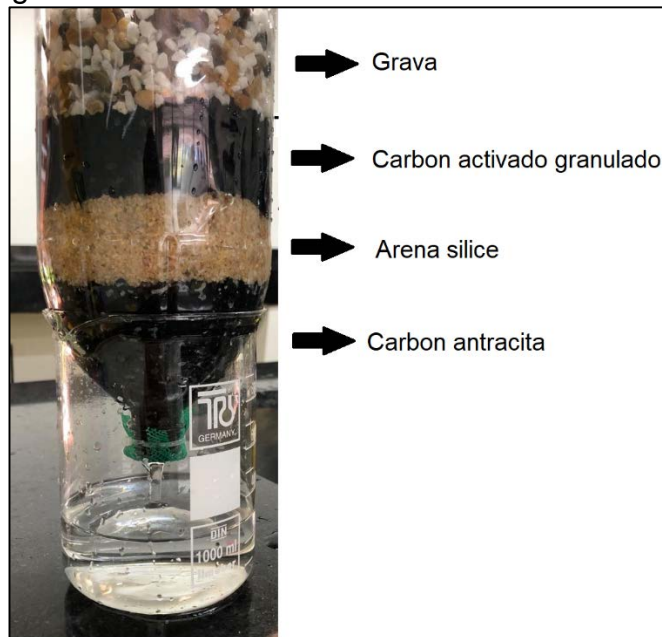
3.4 FILTRACIÓN

Para la propuesta de potabilización que se desea plantear, es necesaria la etapa de filtración para la remoción de solidos suspendidos y partículas de tamaño coloidal resultantes del proceso de coagulación, floculación, sedimentación y la reducción de parámetros como color, sabor, olor y turbidez, asimismo evitar algún tipo de interferencia en procesos de desinfección, removiendo microorganismos patógenos resistentes a la desinfección por cloro, como los huevos de parásitos que son de gran tamaño, que requieren altas dosis de cloro y largos tiempos de contacto para su remoción.

El desarrollo experimental de esta etapa se lleva acabo con la construcción de un filtro a escala usado para alcanzar el grado de purificación deseado, a partir de las condiciones resultantes de las etapas de aireación, coagulación, floculación y sedimentación. Los medios filtrantes tienen la capacidad de retener solidos suspendidos, flocs y microorganismos, así mismo son de fácil limpieza, de alta vida útil y buena permeabilidad. Este filtro cuenta con un gradiente en el tamaño del poro conforme aumenta la columna de material filtrante partiendo de un grado fino hasta

un grado grueso puesto que cuenta con diferentes lechos filtrantes los cuales son carbón antracita (1 - 2mm), arena sílice (0,35 - 0,5 mm) , carbón activado granulado (2 - 4 mm) y grava (4- 6 mm) como lo muestra la **Figura 13** y cuenta con una taza de filtración de 0,86 L/min y cada lecho filtrante tiene una altura de 4 a 5 cm.

Figura 13. Filtro experimental con gradiente granulométrico



Fuente: elaboración propia

De manera tal, que previo a la filtración el agua cruda primero paso por la etapa de aireación, posteriormente se llevó a cabo la etapa de mezcla rápida con cloruro férrico dosificado a 75 ppm, mezcla lenta con polímero catiónico dosificado a 0,8 ppm y finalmente pasa por el filtro obteniendo resultados de turbiedad, pH, conductividad y temperatura de 0.56 NTU, 6.36 unidades de pH, 114 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 16.3 $^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

$$\% \text{ de remoción} = \frac{31,27 - 0,56}{31,27} \times 100 = 98,21$$

Donde se obtiene un porcentaje de remoción del 98.21%, debido al alto porcentaje de remoción y cumplimiento de la norma, se decide realizar el proceso experimental de la etapa de desinfección.

3.5 DESINFECCIÓN

La función principal de esta etapa es completar la remoción de microorganismos patógenos que no quedaron retenidos en el filtro y servir de protección contra la

contaminación que el agua pueda encontrar en el sistema de distribución⁷⁵. Para esta etapa de desinfección del tratamiento, se decide emplear como desinfectante hipoclorito de calcio por ser un agente oxidante fuerte, además de eliminar microorganismos que superen etapas anteriores, tiene un costo relativamente bajo, presenta buena solubilidad en el agua a temperatura ambiente. Se selecciona cloro de forma granulada ya que el hipoclorito de calcio gaseoso es un gas venenoso, por lo anterior la manipulación de un cilindro de este gas requiere condiciones mínimas de seguridad, bastante altas, además de los altos costos en bombas dosificadoras para este gas.

Se preparan 4 soluciones dosificadas con cloruro férrico 75 ppm y polímero catiónico 0,8 ppm, para posteriormente ser filtrados como lo muestra la **Figura 13**, una vez filtrada el agua la dosificación del hipoclorito de calcio para cada una de las jarras se especifica en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Dosificación de hipoclorito de calcio para cada jarra

Jarra	Hipoclorito de calcio 1% (ppm)
1	1,25
2	2,5
3	6,25
4	8,75

Fuente: Elaboración propia

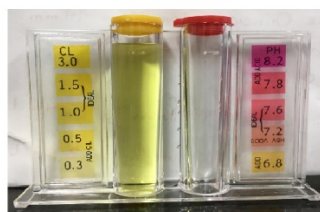
Para los resultados de esta etapa se emplea un Kit de Cloro residual, como se muestra en la **Figura 14**, donde el aumento de cloro residual se evidencia en un aumento en el color del agua después de agregar el reactivo, este kit cuenta con una escala colorimétrica en donde se determina la concentración de cloro libre para cada una de las dosificaciones de hipoclorito de calcio.

Figura 14. Determinación cloro residual

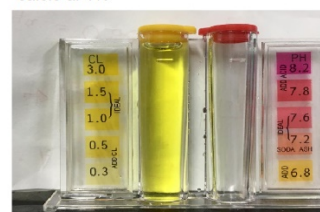
Jarra 1. 1,25 ppm de hipoclorito de calcio al 1%



Jarra 3. 6,25 ppm de hipoclorito de calcio al 1%



Jarra 4. 8,75 ppm de hipoclorito de calcio al 1%



Fuente: Elaboración propia

⁷⁵ VARGAS, Lidia. Capítulo 3 Procesos unitarios y plantas de tratamiento. En: Tratamiento de agua para consumo humano, Manual I. Organización Panamericana de la Salud. Lima.: 2004. [citado 11 de mayo 2019]. Disponible en Internet: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf> 111 p.

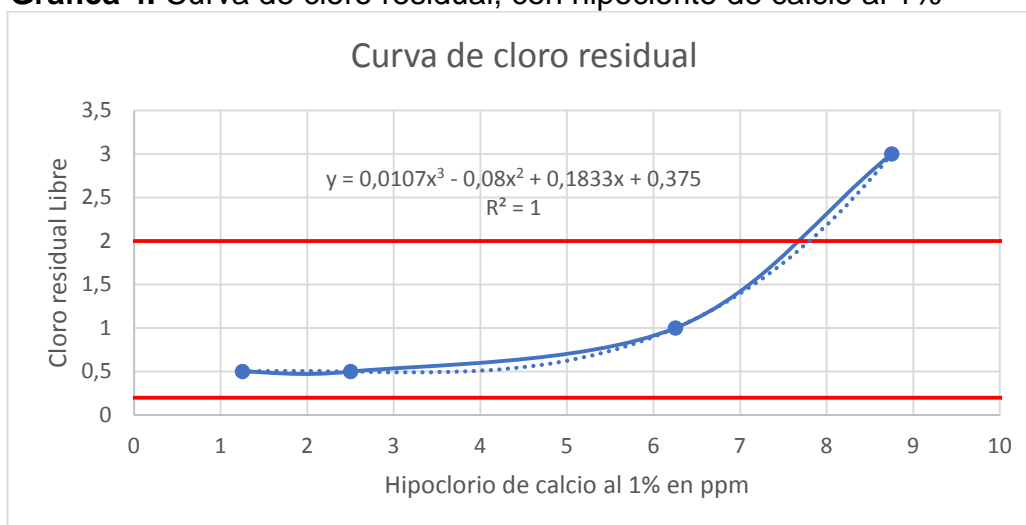
Tabla 17. Concentración de cloro residual

Hipoclorito de calcio 1% (ppm)	Concentración de cloro residual (ppm)
1,25	0,5
2,5	0,5
6,25	1,0
8,75	3,0

Fuente: Elaboración propia

A partir de la **Tabla 17**, es posible construir la **Gráfica 4**, donde se muestra la curva demanda de cloro y mediante una línea de tendencia hallar la ecuación que representa la curva de cloro para calcular el valor máximo de la dosificación de hipoclorito de calcio.

Gráfica 4. Curva de cloro residual, con hipoclorito de calcio al 1%



Fuente: elaboración propia

De la **Gráfica 4** se obtiene que la ecuación polinómica que describe la línea de tendencia.

$$y = 0,0107x^3 - 0,08x^2 + 0,1833x + 0,375$$

Es posible concluir que la máxima dosificación de hipoclorito de calcio es de 7,78 ppm, de acuerdo con esto la dosificación de desinfectante seleccionada es de 3,75 ppm, siendo este un valor medio con respecto al máximo obteniendo una concentración de cloro residual de 0.50 ppm.

3.6 NEUTRALIZACIÓN

Finalmente, se requiere una etapa de neutralización, ya que el cloruro férrico disminuye el pH del agua a 6,34 unidades, para la estabilización del pH se emplea hidróxido de calcio al 0,185%, variando su dosificación desde 2 ppm hasta 10 ppm tal como lo muestra la **Tabla 18**. Es importante señalar que por la baja solubilidad del hidróxido de calcio la solución tiene que estar en agitación constante para evitar la precipitación.

Tabla 18. Dosificación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 0,18%.

pH inicial 6,34		
Jarra	Hidróxido de calcio 0,18% (ppm)	pH final
1	2,00	6,39
2	4,00	6,51
3	6,00	6,78
4	8,00	7,09
5	10,00	8,60

Fuente: elaboración propia

Con base en los resultados expuestos en la **Tabla 18**, la dosificación seleccionada de neutralizante es 8 ppm, puesto que el pH final es 7,09. La jarra 5 que presenta un pH final de 8,6 se descarta debido a que la solución se satura y empiezan a presentarse cambios bruscos en el pH.

3.7 TRATAMIENTO SELECCIONADO

En el **Cuadro 22** se muestra un resumen de las etapas evaluadas, los reactivos y dosificaciones seleccionados para cada una.

Cuadro 23. Propuesta de potabilización de agua

Operación	Reactivo	Solución	Tiempo (min)	Dosificación (ppm)
Mezcla Rápida (140 RPM)	Cloruro férrico	1%	2	75
Mezcla Lenta (30 RPM)	Lipesa L-1569A	0,08%	15	0,8
Sedimentación	-		5	-
Desinfección	Hipoclorito de calcio	1%	-	3,75
Neutralización	Hidróxido de calcio	0,19%	-	8

Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionada y evaluadas las dosificaciones en cada etapa, se decide realizar el tratamiento completo para tomar una muestra de agua tratada y llevarla al laboratorio, donde se realiza un análisis fisicoquímico y microbiológico de los parámetros de interés que superaban los máximos permitidos y comprobar si al final del tratamiento el agua cumple con las condiciones mínimas para consumo humano.

Este análisis fue realizado por el laboratorio BIOTRENDS S.A.S en el mes de marzo 2019 y los resultados emitidos están consignado en el **Cuadro 23**.

Cuadro 24. Resultados de los parámetros de interés en el agua tratada

Análisis	Unidades	Valor Máximo Aceptable (Resolución 2115 de 2007)	Resultado	Cumplimiento
Hierro	mgFe/L	0,3	0,3	Si Cumple
Color Aparente	PtCo	15	10	Si Cumple
Turbiedad	NTU	2	0,64	Si Cumple
Coliformes Totales	UFC/100cm ³	0	0	Si Cumple
E-Coli	UFC/100cm ³	0	0	Si Cumple
Aerobios Mesófilos	UFC/100cm ³	100	0	Si Cumple

Fuente: Resultados caracterización por BIOTRENDS laboratorios S.A.S/ modificado

El informe realizado por el laboratorio compara los resultados de cada parámetro con la resolución 2115 de 2007 (**ANEXO D**), donde muestra que tanto los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos SI CUMPLEN con las condiciones para agua potable para consumo humano.

En el **Cuadro 24** se muestra una comparación entre las concentraciones de las propiedades que incumplía el agua cruda antes del tratamiento frente a las concentraciones de estas mismas propiedades al finalizar el tratamiento.

Cuadro 25. Cuadro comparativo concentraciones antes y después del tratamiento

Análisis	Unidades	Inicial	Final	% de remoción
Hierro	mgFe/L	2,30	0,30	86,96
Color Aparente	PtCo	35,00	10,00	71,43
Turbiedad	NTU	3,10	0,64	79,35
Aerobios Mesófilos	UFC/100cm ³	>2000	0	100

Fuente: elaboración propia

Cuadro 26. Calculo índice de riesgo IRCA para agua tratada

Característica	Puntaje de riesgo inicial	Puntaje de riesgo final
Color Aparente	6	0
Turbiedad	15	0
Hierro Total	1,5	0
%IRCA	22,5	0

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007

Se realizó el cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) da como resultado 0% (SIN RIESGO) ver **ANEXO N** y como lo muestra el **Cuadro 25**; lo cual quiere decir que el agua tratada es apta para consumo humano. Finalmente, el sistema de tratamiento propuesto cumple con el objetivo de remover el hierro total, disminuir los parámetros de turbiedad, color aparente y mesófilos aerobios. De acuerdo con esto se procede a realizar las especificaciones del sistema.

4. ESPECIFICACION DE ETAPAS DE TRATAMIENTO

En este capítulo se realiza el diseño del sistema de potabilización, en el que se propone un sistema tipo Batch o por lotes de 2 m³ y se especifican las dimensiones y materiales de los equipos en cada etapa, como lo son la torre de aireación, el tanque homogeneizador y el filtro; así mismo con base en los resultados obtenidos en las pruebas de jarras se calcula la cantidad mensual y diaria necesaria para las diferentes sustancias químicas responsables del tratamiento en cada etapa de la potabilización coagulación, floculación, desinfección y neutralización.

4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DOSIFICACIÓN

El consumo actual de agua de la finca es de 2 m³ por día y por esto el volumen para las especificaciones será este. A continuación, se calcula la cantidad de reactivo necesario para cada lote.

4.1.1 Coagulación. La dosificación que mejor resultados tuvo fue 75 ppm de cloruro férrico al 1%. Este coagulante tiene buenos resultados en agua subterránea que tengan altas concentraciones de hierro y manganeso⁷⁶.

$$\text{Coagulante} \frac{kg}{mes} = 75 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{30 días}{mes} * \frac{1kg}{1000000 mg} = 4,5 \frac{kg}{mes}$$

$$\text{Coagulante} \frac{kg}{día} = 75 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{1kg}{1000000 mg} = 0,15 \frac{kg}{día}$$

4.1.2 Floculación. La dosificación que mejor resultados tuvo fue 0,8 ppm de polímero catiónico al 0,08% el cual cuenta con buenos resultados para aguas naturales. Partiendo del caudal que es de 2000 L/día se hace el cálculo para determinar la cantidad de coagulante en kg/mes

$$\text{floculante} \frac{kg}{mes} = 0,8 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{30 días}{mes} * \frac{1kg}{1000000 mg} = 0,048 \frac{kg}{mes}$$

$$\text{floculante} \frac{Kg}{día} = 0,8 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{1Kg}{1000000 mg} = 0,0016 \frac{Kg}{día}$$

4.1.3 Desinfección. La dosificación que mejor resultados tuvo fue 3,75 ppm de hipoclorito de calcio al 1%. Partiendo del caudal que es de 2000 L/día se hace el cálculo para determinar la cantidad de coagulante en kg/mes

⁷⁶ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 2009. 252 p. ISBN 9789588060835

$$\begin{aligned} \text{desinfectante} \frac{kg}{mes} &= 3,75 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{30 \text{ días}}{mes} * \frac{1kg}{1000000 mg} \\ &= 0,225 \frac{Kg}{mes} \end{aligned}$$

$$\text{desinfectante} \frac{kg}{día} = 3,75 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{1kg}{1000000 mg} = 0,0075 \frac{kg}{día}$$

4.1.4 Neutralizante. La dosificación que se seleccionó fue de 8 ppm de hidróxido de calcio al 0,185%. Partiendo del caudal que es de 2000 L/día se hace el cálculo para determinar la cantidad de coagulante en kg/mes

$$\text{Neutralizante} \frac{kg}{mes} = 8 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{30 \text{ días}}{mes} * \frac{1kg}{1000000 mg} = 0,48 \frac{kg}{mes}$$

$$\text{Neutralizante} \frac{kg}{día} = 8 \frac{mg}{L} * 2000 \frac{L}{día} * \frac{1kg}{1000000 mg} = \frac{0,016 kg}{día}$$

4.2 TORRE DE AIREACIÓN

Para dimensionar las características principales de la torre de aireación por bandejas donde el material utilizado en estas bandejas es fibra de vidrio debido a que evita la formación de biopelícula y su costo es mucho menor al del acero inoxidable además de ser más ligero; la torre de aireación maneja un caudal de 1,1 L/s proporcionado por la bomba sumergible el cual tiene una concentración inicial de CO₂ de 70,45 mg/L y Hierro 6,28 mg/L utilizando como material absorbente carbón coque siendo este el más utilizado para el área total de la bandeja.

Ecuación 10. Área total de las bandejas

$$A_t = \frac{Q}{CH}$$

Donde

A_t = Área total de las bandejas de aireación (m²)

Q = Caudal de diseño (m³/d)

CH = Carga hidráulica (m³/ m²*d)

Para el diseño de las bandejas de aireación de coque se deben tener en cuenta que la carga hidráulica debe ser menor a 100 m³/m²*d⁷⁷.

⁷⁷ Ministerio de desarrollo económico. Reglamento Técnico del sector de agua potable y

$$Q = 1,1 \frac{L}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24 h}{1 día} * \frac{1m^3}{1000L}$$

$$Q = 95,04 m^3/día$$

$$A_t = \frac{95,04 m^3/día}{100 m^3/m^2 * día}$$

$$A_t = 0,9504 m^2$$

De acuerdo con esto el área total de las bandejas de aireación es de 0,95 m², conociendo este valor es posible hacer el cálculo del área de cada una de las bandejas suponiendo que la torre contara con 4 bandejas y un canal de fondo de recolección, esta suposición se hace con base en lo estipulado en la RAS 2000 donde se estima que las torras cuentan con rango de 3 a 5 bandejas.

Ecuación 11. Área de cada bandeja

$$A_b = \frac{A_t}{n}$$

Donde

A_b = Área de cada bandeja (m²).

n = Número de bandejas.

$$A_b = \frac{0,9504 m^2}{4}$$

$$A_b = 0,2376 m^2$$

El área de cada una de las bandejas es de 0,24 m² mediante la **Ecuación 11**. Se realiza el cálculo de la longitud de cada uno de los lados de la bandeja.

Ecuación 12. Longitud de cada lado de la bandeja

$$L_b = \sqrt{A_b}$$

Donde

L_b = Longitud de cada lado (m).

saneamiento básico RAS 2000. Bogotá. 2000. p. C.32.

$$Lb = \sqrt{0,24 \text{ m}^2}$$

$$Lb = 0,49 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

El tiempo de contacto se calcula mediante la ecuación de caída libre partiendo de que la velocidad inicial o en la salida de cada bandeja es igual a 0, a la ecuación de caída libre se agrega el número de bandejas para determinar el tiempo total de contacto, estas Ecuaciones fueron empleadas en el capítulo 3 **Ecuación 6**. Asumiendo que las bandejas están a una distancia de 50 cm una de la otra se realiza el cálculo descrito a continuación.

$$t = \sqrt{\frac{2 * (0,5 \text{ m})}{9,8 \text{ m/s}^2}} * 4$$

$$t = 1,28 \text{ s}$$

El tiempo de contacto es de 1,28 s, de acuerdo con la **Tabla 1** Se logra aumentar la absorción de oxígeno, remoción de dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles.

Para el diseño del número de orificios por bandeja se utiliza la **Ecuación 4** como se tiene que el diámetro de cada uno de estos debe estar entre 5 y 12 mm y con una separación de 2,25 cm a cada lado.

(diámetro del orificio*orificios) + (espacio entre orificios*espacios) = Largo de la bandeja

Para este cálculo se tomó como diámetro de orificio 6 mm y la altura de la lámina de agua en el interior de la bandeja de 12 cm. Tal como se muestra en los siguientes cálculos.

$$Q_0 = 0,85 * \pi * \left(\frac{0,006 \text{ m}}{2}\right)^2 * \sqrt{2 * 9,82 \text{ m/s}^2 * 0,12 \text{ m}} * 1000 \text{ L/m}^3$$

$$Q_0 = 0,0368 \text{ L/s}$$

$$N_{\text{orificios}} = \frac{1,1 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{0,0368 \frac{\text{L}}{\text{s}}} = 29,81 \approx 30$$

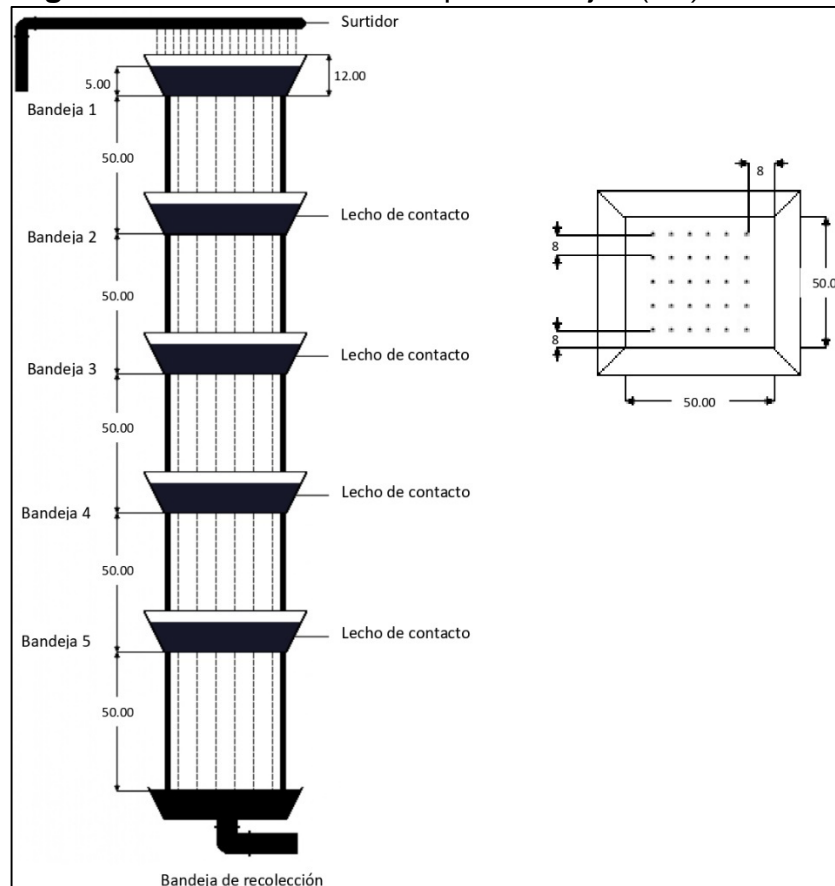
Cada bandeja debe contar con 30 orificios en acomodación 5x6, con base en esta información se realiza el cálculo de la longitud que debe haber entre cada orificio.

$$\text{Espacio entre orificios} = \frac{L_b - (D_{ori} * N_{ori} \times \text{fila})}{N_{ori} \times \text{columna}}$$

$$\text{Espacio entre orificios} = \frac{0,5 \text{ m} - (0,006 \text{ m} * 5)}{6}$$

$$\text{Espacio entre orificios} = 0,078 \text{ m} \approx 8 \text{ cm}$$

Figura 15. Torre de aireación por bandejas (cm)



Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Resumen parámetros torre de aireación

Material de la Torre	Fibra de Vidrio
Lecho de Contacto	Carbón Coque
Altura Total de la torre	2,5 m
Distancia entre bandejas	50 cm
Número de bandejas	4
Área por Bandeja	0,25 m ²
Número de orificios por bandeja	30
Espaciamiento entre orificios	8 cm
Tiempo de contacto	1,38 s

Fuente: elaboración propia

4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE MEZCLA

Para el sistema de potabilización se propone un tanque homogeneizador de fibra de vidrio debido a su vida útil y su buena resistencia ante sustancias químicas además de contar con una turbina de dos paletas rectangulares el cual busca la dispersión homogénea en el agua cruda. Para un volumen a tratar de 2 m³ de agua, T_p de 17,6 °C, densidad de 998.56 kg/m³, Viscosidad dinámica de 1,08 *10⁻³, en cámaras de mezclas sencillas se asume un gradiente de 700 s⁻¹ según la AWWA (**ANEXO O**).

El dimensionamiento del tanque debe contar con un factor de seguridad del 15 %, de tal forma que cuente con un rango que permita corregir la operación en caso de aumento inesperado del volumen de diseño.

$$V = 2 \text{ m}^3 + (2 \text{ m}^3 * 0,15)$$

$$V = 2,3 \text{ m}^3$$

Para calcular el diámetro del tanque de mezcla se emplea la **Ecuación 13** volumen de un cilindro, tomando en cuenta que la altura y el diámetro del tanque son iguales.

Ecuación 13. Volumen de un cilindro

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * H$$

Donde H = D, entonces

$$V = \frac{\pi * D^3}{4}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 2,3 \text{ m}^3}{\pi}} = 1,43 \text{ m}$$

Según el criterio de dimensionamiento para mezcladores mecánicos dado por el autor se usa la relación de diámetro del impulsor expuesta en la **Ecuación 14**⁷⁸.

Ecuación 14. Diámetro del impulsor

$$\boxed{\frac{D}{d} = 3}$$

$$\frac{D}{3} = d$$

$$d = \frac{1,43 \text{ m}}{3} = 0,48 \text{ m}$$

El cálculo de la potencia requerida se realizó a partir de la **Ecuación 15**.

Ecuación 15. Cálculo de Gradiente

$$\boxed{G = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}}}$$

Donde

G = Gradiente (s-1)

P = Potencia del mezclador (W)

μ = Viscosidad dinámica (Pa*s)

V = Volumen del tanque de mezcla (m³)

Despejando P

$$P = G^2 * V * \mu$$

⁷⁸ LOZANO RIVAS, William Antonio. LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua. Bogotá D.C.: Universidad Piloto De Colombia, 2015., 183 p. ISBN 9789588957180

$$P = (700 \text{ s}^{-1})^2 * 2 \text{ m}^3 * (1,08 * 10^{-3} \text{ Pa} * \text{s})$$

$$P = 1058,4 \text{ W} \approx 1,06 \text{ kW}$$

Este resultado se hace para calcular la potencia del motor, sin embargo, los motores no trabajan al 100 % de eficiencia y se deben considerar condiciones de desgaste del motor lo que se compensa mediante la eficiencia de operación del motor.

Ecuación 16. Potencia requerida

$$P_R = \frac{P}{\text{Eficiencia}}$$

Donde

P_R = Potencia requerida

La eficiencia del motor se asume del 75%

$$P_R = \frac{1,06 \text{ kW}}{0,75}$$

$$P_R = 1,41 \text{ kW} = 1,05 \text{ HP}$$

En el mercado el motor más cercano por encima de esta potencia es de 1 HP.

La velocidad de rotación de las aspas del mezclador se determina mediante la **Ecuación 17** para alcanzar una mezcla homogénea. $K = 1,70$ (**ANEXO O**)

Ecuación 17. Cálculo de la velocidad de rotación (Mezclador)

$$P = K * \rho * N^3 * d^5$$

Donde

P = Potencia teórica requerida (W)

K = Constante dependiente del tipo de impulsor

ρ = Densidad del agua (kg/m³)

N = Revoluciones por segundo (RPS)

d = Diámetro del impulsor en (m)

Despejando N de la **Ecuación 17**, se determinarán las RPS de funcionamiento.

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * d^5 * \rho}}$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{1060 \text{ W}}{1,7 * (0,48\text{m})^5 * 998,56 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$N = 2,90 \text{ RPS} = 174,28 \text{ RPM} \approx 174 \text{ RPM}$$

Para calcular las dimensiones de las aspas se siguieron las recomendaciones de Richter, las relaciones de Richter están comprendidas en las Ecuaciones 18, 19, 20 y 21.

Ecuación 18. Relación de Richter para ancho de las paletas

$$\frac{d}{w} = 5$$

Ecuación 19. Relación de Richter para altura de la turbina

$$\frac{h}{d} = 1$$

Ecuación 20. Relación de Richter para longitud de las paletas

$$\frac{d}{B} = 4$$

Ecuación 21. Relación de Richter para ancho de los estatores

$$\frac{D}{e} = 10$$

Donde

d = Diámetro del impulsor en (m)

w = Ancho de las aspas de la turbina (m)

h = Altura de la turbina sobre el fondo del tanque (m)

B = longitud de las paletas de la turbina (m)

e = Ancho de los estatores

$$w = \frac{d}{5} = \frac{0,48 \text{ m}}{5} = 0,095 \text{ m}$$

$$h = d = 0,480 \text{ m}$$

$$B = \frac{d}{4} = \frac{0,48\text{m}}{4} = 0,119 \text{ m}$$

$$e = \frac{D}{10} = \frac{1,43 \text{ m}}{10} = 0,143 \text{ m}$$

Las paletas cuentan con una longitud de 11.9 cm y un ancho de 9,5 cm, en este caso el ancho de los estatores debe ser de 14,3 cm.

Para finalizar el diseño del tanque homogeneizador es necesario añadir un fondo cónico o tolva con un ángulo de 45° con respecto al eje vertical de manera que los lodos generados por la sedimentación de sólidos suspendidos sean fácilmente recolectados.

De acuerdo con la prueba de jarras el volumen inicial era de 800 ml donde el volumen desplazado por los sólidos suspendidos fue 18 ml si el tiempo de sedimentación fue de 5 min, de tal manera que los sólidos suspendidos representan un 2,25% del volumen total.

La determinación de las dimensiones del fondo cónico se calcula a partir del diámetro del tanque. Para hallar la altura del fondo cónico del tanque se despeja la **Ecuación 22**.

Ecuación 22. Dimensionamiento tolva

$$\text{tangente } \beta = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

Donde:

D = Diámetro del tanque (m)

β = Ángulo de inclinación (45° o 0,79 radianes)

$$\text{cateto opuesto} = h_{\text{cono}} = \text{tangente } \beta * \frac{D}{2}$$

$$h_{\text{cono}} = \text{tangente } 0,79 * \frac{1,43 \text{ m}}{2}$$

$$h_{\text{cono}} = 0,72 \text{ m}$$

Una vez conocida la altura del fondo cónico, se calcula el volumen a partir de la **Ecuación 23**.

Ecuación 23. Volumen del cono

$$\text{Vol}_{\text{cono}} = \frac{\pi * r^2 * h_c}{2}$$

$$Vol_{cono} = \frac{\pi * \left(\frac{1,43 \text{ m}}{2}\right)^2 * 0,72 \text{ m}}{3}$$

$$Vol_{cono} = 0,39 \text{ m}^3$$

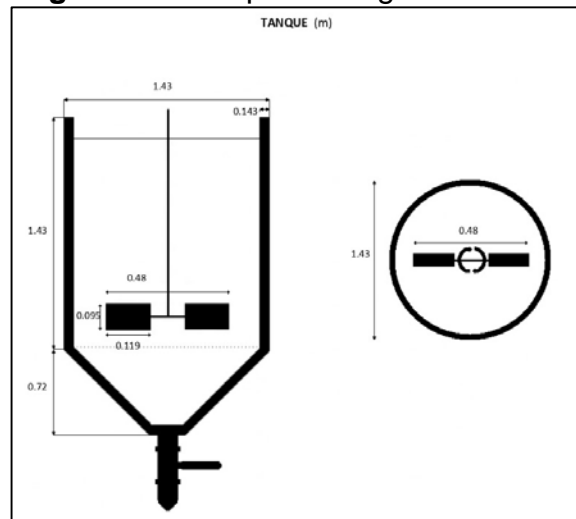
Al conocer el volumen de la sección cónica del tanque homogeneizador, se determina el volumen total de mismo a partir de la **Ecuación 24**

Ecuación 24. Volumen total.

$$Vol_{Total} = Vol_{cono} + Vol_{tanque}$$

$$Vol_{Total} = 0,39 \text{ m}^3 + 2,30 \text{ m}^3 = 2,69 \text{ m}^3 \approx 2,7 \text{ m}^3$$

Figura 16. Tanque homogeneizador



Fuente: elaboración Propia

4.4 CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO

El tipo de filtración que se va a llevar a cabo en el diseño será filtración de flujo ascendente puesto que este cuenta con un mejor desempeño que el flujo descendente debido a que este aprovecha de forma integral el medio filtrante, otra ventaja que ofrece este flujo es la facilidad de lavado. Este cuenta con una fuerza impulsora de presión con una bomba que aumente la tasa de filtración así obtener una filtración rápida.

Para el diseño de la etapa de filtración se propone una bomba (1/2 HP) con capacidad de 20 L/min para llevar el agua del tanque de mezcla al filtro, el caudal proporcionado es bajo, por lo tanto, el consumo energético no será demasiado alto y se aprovecha de mejor forma el área ocupada por el sistema.

Como el sistema de potabilización que se propone es tipo batch, el filtro tratara 2 m³ por lote, cada filtro cuenta con un medio dual que va a contar con 50 cm de carbón antracita, 40 cm de arena sílice y 30 cm de carbón activado

Cuadro 27. Filtro de lecho profundo

Tanque	Polyglass 10" Diámetro x 54" de altura
Volumen del medio filtrante	1,5 ft ³
Volumen del tanque	2,19 ft ³
Área del tanque	0,54 ft ²
Flujo excelente	20,44 LPM (5,40 GPM)
Flujo Normal	25,50 LPM (6,75 GPM)
Flujo pico	30,70 LPM (8,10 GPM)
Flujo retro lavado	11,24 LPM
Lecho filtrante	antracita, carbón activado, arena sílice

Fuente: CARBOTECNIA. Filtro de lecho profundo. Disponible en internet: <https://www.carbotecnia.info/producto/filtros-multimedia-para-agua-10-x-54>

4.4.1 Porosidad (ε). La porosidad se define como “un sólido o arreglo de ellos con suficiente espacio abierto dentro o alrededor de las partículas para permitir el paso de un fluido”. El cálculo de la porosidad se realiza mediante la **Ecuación 25**.

Ecuación 25. Cálculo de la porosidad del medio

$$\epsilon = \frac{V_{total} - V_{solidos}}{V_{total}}$$

$$\epsilon = \frac{2,19 \text{ ft}^3 - 1,5 \text{ ft}^3}{2,19 \text{ ft}^3} = 0,315$$

4.4.2 Velocidad intersticial (v_i). Es la velocidad del agua en recorrer la distancia de un poro a otro. Se calcula mediante la **Ecuación 26**.

Ecuación 26. Cálculo de la velocidad intersticial

$$v_i = \frac{Q}{\epsilon * A_t}$$

$$v_i = \frac{2,78 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,315 * 0,050 \text{ m}^2} = 0,018 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.4.3 Diámetro hidráulico. Diámetro que equivale al área transversal en un medio poroso no uniforme. Para el cálculo se emplea la ecuación 25 donde están involucrados parámetros como porosidad y diámetro de partícula.

Ecuación 27. Cálculo del diámetro hidráulico

$$D_h = \frac{2 * \epsilon * d}{(1 - \epsilon) * 3}$$

Donde

d = Diámetro de partícula

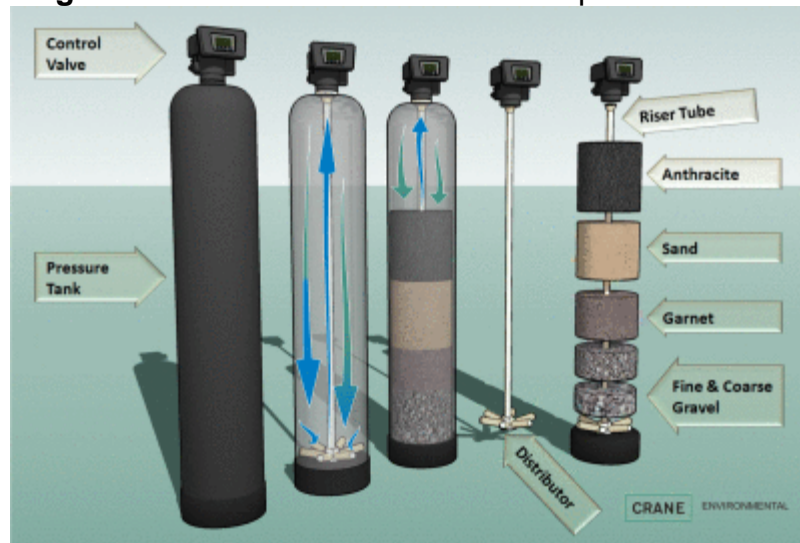
El diámetro de partícula es tomado del valor típico para tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad de cada material del medio filtrante expuesto en la **Tabla 4**.

$$D_{h,antracita} = \frac{2 * 0,315 * 0,0012 \text{ m}}{(1 - 0,315) * 3} = 3,68 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$D_{h,arena \text{ sílice}} = \frac{2 * 0,315 * 5 \times 10^{-4} \text{ m}}{(1 - 0,315) * 3} = 1,53 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$D_{h,carbón \text{ activado}} = \frac{2 * 0,315 * 5 \times 10^{-4} \text{ m}}{(1 - 0,315) * 3} = 1,53 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Figura 17. Funcionamiento filtro lecho profundo

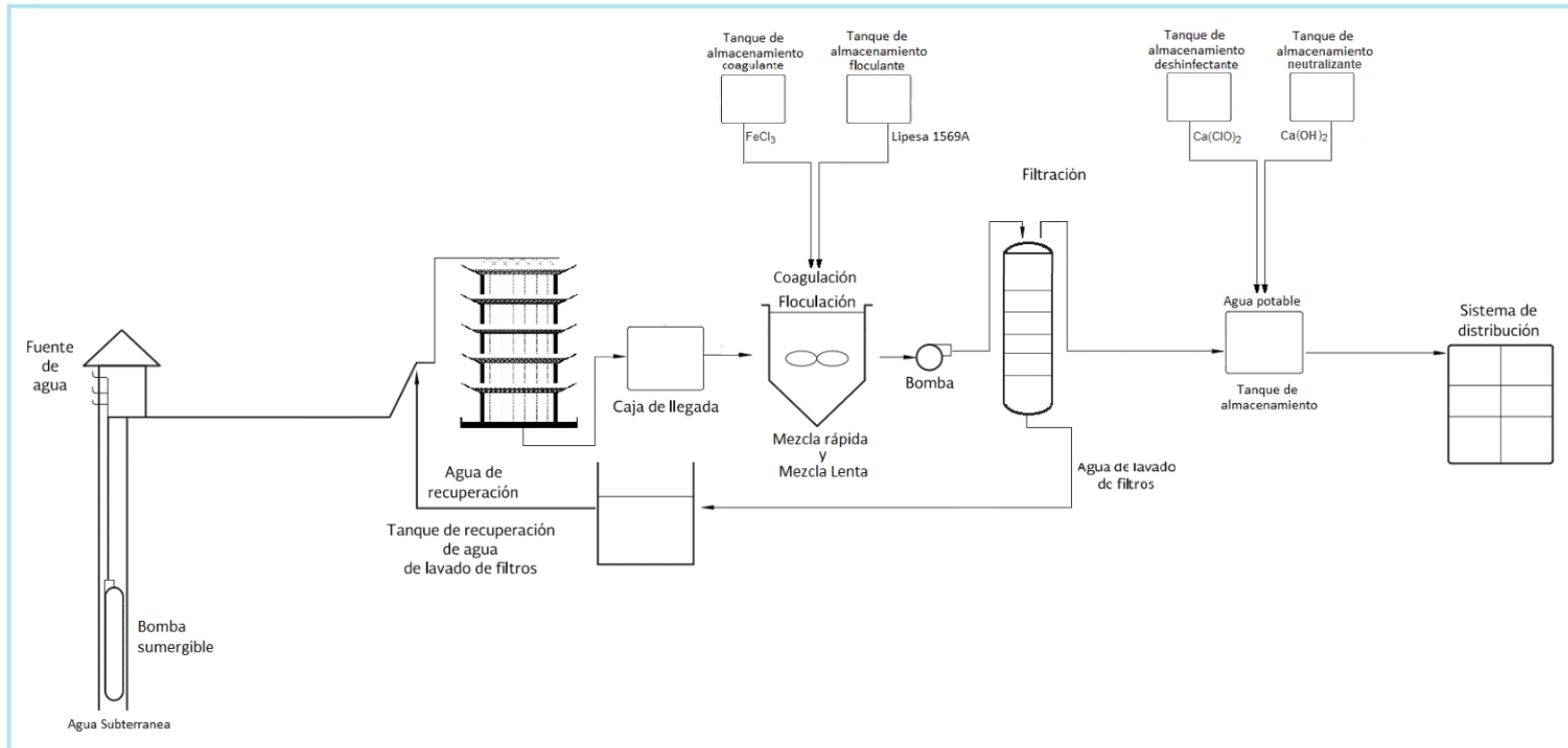


Fuente: Agua & ambiente, La revista de saneamiento ambiental en México. [en línea] [citado 19 de marzo 2019] Disponible en: <https://aguayambiente.com/2015/07/13/filtracion-eficiente-agua/>

En la **Figura 17**, se muestra el funcionamiento del filtro de lecho profundo, como la distribución de los lechos, el sentido del flujo y la válvula de retrolavado empleada para el mantenimiento del filtro.

4.5 Diagrama del sistema de tratamiento de agua potable. A partir del proceso experimental llevado a cabo en el laboratorio se logan establecer las especificaciones adecuadas para cada una de las sustancias empleadas en el proceso, además del diseño de las operaciones unitarias y se muestra el diagrama del tratamiento propuesto en la **Figura 18**.

Figura 18. Diagrama del sistema de tratamiento de agua potable



Fuente: Elaboración propia, con base en Comisión nacional del agua, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento Evaluación rápida de plantas potabilizadoras, P 54

5. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA

En este capítulo se realiza el análisis financiero de la propuesta de sistema de tratamiento de agua potable los cuales deben ser asumidos por la finca Las Brisas entre estos se tendrán en cuenta los costos de implementación, costos de operación y serán comparados con los costos que actualmente asume la finca para el abastecimiento de agua potable.

5.1 COSTOS DE EQUIPOS

Hace referencia a la inversión requerida para la adquisición de equipos, elementos y accesorios, para el sistema de tratamiento de potabilización en la **Tabla 19**, el costo que se muestra en la tabla se toma a partir de las cotizaciones expuestas en los **Anexos G, I y J** de empresas que ofrecen la construcción, distribución y comercialización de los equipos, las cotizaciones de los equipos son sobre dimensiones de diseño.

Tabla 20. Costo de unidades, elementos, accesorios del sistema de potabilización

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo
Torre de aireación	1	\$ 833.000	\$ 833.000
Tanque de preparación (Reactivos)	4	\$ 65.450	\$ 261.800
Tanque Homogeneizador (Mezcla rápida, Floculación, sedimentación)	1	\$ 2.380.000	\$ 2.380.000
Bomba de filtración	1	\$ 434.350	\$ 434.350
Accesorios, válvulas, Tuberías de interconexión, Soldadura	1	\$ 357.000	\$ 357.000
Filtro de lecho Profundo (10" x 54")	1	\$ 1.190.000	\$ 1.190.000
Arena sílice (Bulto x 25 kg)	1	\$ 14.000	\$ 14.000
Carbón activado (Bulto x 25kg)	1	\$ 165.000	\$ 165.000
Carbón antracita (Bulto x 25kg)	1	\$ 22.000	\$ 22.000
Carbón Coque (Bulto x 33 kg)	1	\$ 33.000	\$ 33.000
Tanque de almacenamiento	2	\$ 486.900	\$ 973.800
Total			\$ 6.663.950

Fuente: elaboración propia

El costo de inversión en equipos sería de 6.663.950 COP, esto sin tener en cuenta el costo de la mano de obra, ni adecuaciones requeridas en la finca en caso de ser necesarias.

5.1.1 Costos operacionales. Los costos operacionales hacen referencia a un costo fijo mensual y anual del cual se debe hacer cargo la finca, estos incluyen el costo energético por bombas, costos de reactivos, costos de mano de obra y costo de mantenimiento del sistema.

5.1.1.1 Costos mensuales y anuales de reactivos. El cálculo del costo de los reactivos se realiza a partir de las cotizaciones expuestas en el **Anexo F y H**, solicitadas a los principales comercializadores y distribuidores en Bogotá de reactivos para tratamiento de aguas.

- **Cloruro Férrico.** De acuerdo con la propuesta planteada la concentración de cloruro férrico en la dosificación debe ser de 75 ppm lo cual demanda un consumo mensual de 4,5 kg y el costo de este es de 5.712 COP por cada kilogramo.

$$\text{Cloruro ferrico}_{\text{Mensual}} = 4,5 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} * 5.712 \frac{\text{COP}}{\text{kg}} = 25.704 \frac{\text{COP}}{\text{mes}}$$

$$\text{Cloruro ferrico}_{\text{anual}} = \frac{25.704 \text{ COP}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 308.448 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

Para satisfacer el consumo de cloruro férrico la finca debe asumir un gasto mensual de 25.704 COP y un gasto anual por 308.448 COP.

- **Polímero catiónico (Lipesa 1569).** De acuerdo con la propuesta planteada la concentración de polímero catiónico (Lipesa 1569) en la dosificación debe ser de 0,8 ppm lo cual demanda un consumo mensual de 48 g y el costo de este es de 29.107 COP cada kilogramo.

$$\text{Lipesa 1569}_{\text{Mensual}} = 0,048 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} * 29.107 \frac{\text{COP}}{\text{kg}} = 1.397 \frac{\text{COP}}{\text{mes}}$$

$$\text{Lipesa 1569}_{\text{anual}} = \frac{1.397 \text{ COP}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 16.766 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

Para satisfacer el consumo de lipesa 1569 la finca debe asumir un gasto mensual de 1.397 COP y un gasto anual por 16.766 COP.

- **Hipoclorito de calcio.** De acuerdo con la propuesta planteada la concentración de hipoclorito de calcio en la dosificación debe ser de 3,75 ppm lo cual demanda un consumo mensual de 225 g y el costo de este es de 8.568 COP cada kilogramo.

$$\text{Hipoclorito de calcio}_{\text{Mensual}} = \frac{0,225 \text{ Kg}}{\text{mes}} * 8.568 \frac{\text{COP}}{\text{Kg}} = \frac{1.928 \text{ COP}}{\text{mes}}$$

$$\text{Hipoclorito de calcio}_{\text{anual}} = \frac{1.928 \text{ COP}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 23.134 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

Para satisfacer el consumo de hipoclorito de calcio la finca debe asumir un gasto mensual de 1.928 COP y un gasto anual por 23.134 COP.

- **Hidróxido de calcio.** De acuerdo con la propuesta planteada la concentración de hidróxido de calcio en la dosificación debe ser de 8 ppm lo cual demanda un consumo mensual de 480 g y el costo de este es de 1.904 COP

$$\text{Hidróxido de calcio}_{\text{Mensual}} = \frac{0,48 \text{ Kg}}{\text{mes}} * 1.904 \frac{\text{COP}}{\text{Kg}} = 914 \frac{\text{COP}}{\text{mes}}$$

$$\text{Hidróxido de calcio}_{\text{anual}} = \frac{914 \text{ COP}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 10.968 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

Para satisfacer el consumo de hidróxido de calcio la finca debe asumir un gasto mensual de 914 COP y un gasto anual por 10.968 COP.

5.1.1.2 Agua de servicio. El agua requerida para preparar las disoluciones se considera agua de servio y necesario tener en cuenta el costo de esta dentro de los reactivos e insumos del sistema de potabilización, la cantidad de agua requerida para las disoluciones es de 22 L, el costo de metro cubico de agua es de 1.215 COP.

$$\text{Agua de servicio}_{\text{mensual}} = \frac{0,660 \text{ m}^3}{\text{mes}} * 1.215 \frac{\text{COP}}{\text{m}^3} = 802 \frac{\text{COP}}{\text{mes}}$$

$$\text{Hidróxido de calcio}_{\text{anual}} = \frac{802 \text{ COP}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 9.623 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

Para un total de 30.781 COP lo cual anualmente sería un gasto por 368.941 COP, este sería el gasto correspondiente a la compra anual de reactivos.

Tabla 21. Costos mensuales y anuales de reactivos

Reactivo	Mensual	Anual
Coagulante (Cloruro Férrico)	\$ 25.740	\$ 308.448
Floculante (Polímetro catiónico Lipesa 1569)	\$ 1.397	\$ 16.766
Desinfectante (Hipoclorito de calcio)	\$ 1.928	\$ 23.134

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. (Continuación)

Reactivo	Mensual	Anual
Neutralizante (Hidróxido de calcio)	\$ 914	\$ 10.968
Agua de Servicio	\$ 802	\$ 9.626
Total	\$ 30.781	\$ 368.942

Fuente: elaboración propia

5.1.1.3 Costo de mano de obra y mantenimiento. La labor de funcionamiento del sistema de tratamiento de agua estará a cargo por un operario que cumple diferentes funciones dentro de la finca. Este operario tiene un salario básico de 1'000.000 COP con una jornada laboral diaria de lunes a sábado. Para este operario el valor de la hora es de 4.167 COP

Tabla 22. Horas anuales requeridas en operación del sistema

Descripción	Número de horas mensuales	Número de horas anuales
Operación	48	576
Mantenimiento	8	96
Total	56	672

Fuente: elaboración propia

En los costos de mantenimiento se tienen en cuenta los imprevistos como eventos de paros no programadas, problemas con el sistema de tratamiento que requiera cambio de válvulas, reparación de tuberías con fugas, entre otro tipo de inconvenientes. Adicionalmente el costo relacionado con el mantenimiento de bombas, tanques, repuestos o cambios de accesorios y cambios de los lechos filtrantes. Estos costos se estiman anualmente.

En la **Tabla 21** se muestra el número de horas en la cuales la planta estará en funcionamiento anualmente de 576 h y el tiempo estipulado para su mantenimiento es de 96 h al año, esto con el fin de conocer el costo total de mano de obra anual.

$$\text{Costo mensual}_{\text{Mano de obra}} = 56 h * \frac{4.167 \text{ COP}}{h} = 233.352 \frac{\text{COP}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo anual}_{\text{Mano de obra}} = 672 h * \frac{4.167 \text{ COP}}{h} = 2'800.224 \frac{\text{COP}}{\text{año}}$$

5.1.1.4 Costo energético. El costo energético es ocasionado por las bombas requeridas a lo largo del proceso de potabilización, donde la primera es la bomba sumergible o de suministro de 1 HP y una para el alimento del filtro de ½ HP. La

información del costo de kW fue proporcionada por la empresa de energía local donde el costo es de \$ 524kW/h y se calcula el consumo energético del sistema **Tabla 22 y 23**

Tabla 23. Consumo energético mensual

Bomba	Cantidad	Consumo (kW/mes)	Costo (COP/kW)
Sumergible	1	9,698	\$ 5.085
De Filtración	1	3,25	\$ 1.704
Total		12,948	\$ 6.789

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Consumo energético anual

Bomba	Cantidad	Consumo (kW/año)	Costo (COP/kW)
Sumergible	1	116,376	\$ 61.016
De Filtración	1	39	\$ 20.448
Total		155,376	\$ 81.464

Fuente: elaboración propia

Estos costos energéticos se calculan teniendo en cuenta que las bombas no trabajan de manera simultánea y continua.

5.1.2 Costos anualizados. Una vez conocidos los costos relacionados con la operación y con adquisición de equipos son resumidos en la **Tabla 24** la cual también cuenta con el costo mensual de operación.

Tabla 25. Costos de operación

Costo	Mensual		Anual	
Reactivos	\$	30.781	\$	368.942
Mano de Obra	\$	233.352	\$	2.800.224
Energético	\$	6.789	\$	81.464
Total	\$	270.922	\$	3.250.630

Fuente: elaboración propia

El sistema de potabilización tendrá un costo anual total de operación de 3.250.630 COP.

Tabla 26. Costo total de la propuesta del sistema de potabilización

Costos	Costo Anual
Implementación	\$ 6.663.950
Reactivos	\$ 368.942
Mano de Obra	\$ 2.800.224
Energético	\$ 81.464
Total	\$ 9.914.580

Fuente: elaboración propia

El costo total del sistema de potabilización de agua es de 9.914580 COP los cuales incluyen los costos de implementación y costos de operación en los que se contemplan costos de reactivos, mantenimiento, mano de obra, demanda energética, este cálculo se realizó para el primer año, cabe aclarar que el gasto correspondiente a la implementación solo será asumido una vez.

5.2 VIABILIDAD DE LA PROPUESTA

Para el cálculo de la viabilidad de esta propuesta se debe comparar los costos actuales de la finca como consumo de agua, pérdidas y retrasos en la producción por falencias en la red de abastecimiento, gastos en transporte del agua potable y los generados con la puesta en marcha del sistema de tratamiento. En la **Tabla 26** se describen un estimado de las pérdidas anuales causadas por desabastecimiento de agua potable, estos datos fueron suministrados por la finca las brisas y corresponden a las pérdidas del año 2018.

Tabla 27. Pérdidas anuales por desabastecimiento de agua potable

Perdidas	Costo anual
Insumos y materia prima	\$ 25.000.000
En la producción	\$ 44.000.000
Transporte de agua potable	\$ 3.158.160
Total	\$ 72.158.160

Fuente: Administración de la finca Las Brisas

De acuerdo con la **Tabla 26** las pérdidas por desabastecimiento de agua potable superan los 72.000.000 COP anuales por lo tanto la rentabilidad de la empresa disminuye generando un fuerte impacto en la sostenibilidad de la finca. A partir de los costos de operación del sistema de potabilización y los costos de las pérdidas se calcula la retribución económica que tendría la finca por la implementación de la propuesta a través del costo anual uniforme equivalente (CAUE).

Tabla 28. Flujo de caja para el análisis CAUE

	Inversión	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Propuesta	6.663.950	3.250.630	3.250.630	3.250.630	3.250.630	3.250.630
Sin propuesta		72.158.160	72.158.160	72.158.160	72.158.160	72.158.160

Fuente: elaboración propia

Mediante la **Ecuación 28** se calcula la tasa interna de oportunidad (% TIO).

Ecuación 28. Cálculo de la tasa interna de oportunidad.

$$TIO = [(1 + DTF) * (1 + \% \text{ de inflación}) * (1 + \% \text{ de riesgo})] - 1$$

Donde

DTF = Tasa de los depósitos a término fijo.

% de Inflación = Tasa anual del aumento en el costo de los productos de la canasta familiar.

% de riesgo = Tasa establecida al proyecto.

Los valores del DTF y el porcentaje de inflación fueron consultados de la página del Banco de la República de Colombia para el día 17 de mayo de 2019, mientras que el porcentaje de riesgo asignado es de 5%

$$TIO = [(1 + 4,52\%) * (1 + 3,25\%) * (1 + 5\%)] - 1 = 0,1331$$

$$TIO = 0,1331 * 100 = 13,31\%$$

Una vez se calcula la tasa interna de oportunidad se procede a realizar el cálculo del indicador financiero VPN mediante la **Ecuación 29**.

Ecuación 29. Cálculo del VPN

$$VPN = -I \pm \sum_{i=1}^n \frac{FN_n}{(1 + ip)^n}$$

$$VPN_{propuesta} = -6.663.950 + \frac{3.250.630}{(1 + 0,1331)^1} + \frac{3.250.630}{(1 + 0,1331)^2} + \frac{3.250.630}{(1 + 0,1331)^3} + \frac{3.250.630}{(1 + 0,1331)^4} + \frac{3.250.630}{(1 + 0,1331)^5}$$

$$VPN_{propuesta} = 4.683.316 \text{ COP}$$

$$VPN_{sin\ propuesta} = \frac{72.158.160}{(1 + 0,1331)^1} + \frac{72.158.160}{(1 + 0,1331)^2} + \frac{72.158.160}{(1 + 0,1331)^3} + \frac{72.158.160}{(1 + 0,1331)^4} + \frac{72.158.160}{(1 + 0,1331)^5}$$

$$VPN_{sin\ propuesta} = 251.888.967\ COP$$

El VPN con propuesta es de 4.683.316 y el VPN sin propuesta es de 251.888.967. Con estos resultados se procede a calcular el costo anual equivalente (CAUE) de cada uno por medio de la **Ecuación 30**.

Ecuación 30. Cálculo del CAUE.

$$CAUE = \frac{VPN}{\frac{(1 + ip)^n - 1}{ip * (1 + ip)^n}}$$

$$CAUE_{propuesta} = \frac{4.683.316\ COP}{\frac{(1 + 0,1331)^5 - 1}{0,1331 * (1 + 0,1331)^5}}$$

$$CAUE_{propuesta} = 1.341.621\ COP$$

$$CAUE_{sin\ propuesta} = \frac{251.888.967\ COP}{\frac{(1 + 0,1331)^5 - 1}{0,1331 * (1 + 0,1331)^5}}$$

$$CAUE_{sin\ propuesta} = 72.158.160\ COP$$

$$Diferencia\ de\ CAUE = 72.158.160 - 1.341.621 = 70.816.539\ COP$$

Finalmente, al realizar el cálculo de la diferencia entre el CAUE sin propuesta y el CAUE con propuesta se obtiene el monto de dinero ahorrado por la finca 70.816.539 COP en caso de implementar la propuesta de tratamiento de potabilización. El valor de inversión de los equipos es de 6.663.950 COP y el costo de operación para este sistema es de 3.250.630 COP/año y 270.922 COP/mes.

6. CONCLUSIONES

- El agua subterránea proveniente de pozo profundo de 90 m no es apta para el consumo humano de acuerdo con el informe presentado por el laboratorio BIOTRENDS S.A.S., debido al incumplimiento de los parámetros de turbiedad con un valor de 3.10 NTU, color aparente con un valor de 35 PtCo, concentración de hierro disuelto de 2.3, 5.44 y 6.28 mg/L y mesófilos aerobios con un valor superior a 2000 UFC/100cm³ con respecto a la resolución 2115 de 2007.
- Las etapas y dosificaciones establecidas para el sistema de potabilización son las etapas de aireación, coagulación mediante cloruro férrico al 1% en una dosificación de 75 ppm, floculación mediante polímero catiónico Lipesa 1569A al 0,8% en una dosificación de 8 ppm, filtración, desinfección por hipoclorito de calcio al 1% a 3.75 ppm y finalmente neutralización con hidróxido de calcio al 1% en una dosificación de 2,5 ppm.
- Las especificaciones técnicas y el diseño de los equipos se realizaron con base a los resultados obtenidos experimentalmente de esta forma se propone un sistema tipo batch con capacidad para tratar 2m³ de agua diaria y así superar mensualmente los 60m³ requeridos para labores de producción y sostenibilidad de la finca.
- Finalmente se realizó un análisis financiero donde se destacaron las ventajas de implementar la propuesta del sistema de potabilización de agua, realizando un análisis de viabilidad financiera el diferencial del costo anual uniforme equivalente se concluye que la implementación de la propuesta representaría un ahorro de 70.816.539 COP. El valor de inversión de los equipos es de 6.663.950 COP y el costo de operación para este sistema es de 3.250.630 COP/año y 270.922 COP/mes.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que además de la implementación de las unidades de tratamiento ya mencionados, la finca adquiera un equipo básico de laboratorio para llevar un control periódico y riguroso sobre las características principales como pH, cloro residual, turbiedad, color aparente, hierro, manganeso, dureza y alcalinidad.
- Se debe estudiar para el manejo y disposición final de residuos que se generan en el tratamiento del agua.
- Con el fin de un buen funcionamiento del sistema, el operario encargado debe contar con la capacitación requerida para el manejo de este, conocimiento sobre el proceso y capacitaciones de manipulación de los reactivos.
- Se recomienda adecuar un sitio seguro y aislado en la finca donde se almacenen y manipulen correctamente los reactivos, además de contar con un sistema de seguridad y los elementos de protección personal.
- Evaluar la zeolita en la filtración debido a que presenta mejores características que los lechos comúnmente utilizados pero su costo es mayor.
- Evaluar el sulfato de aluminio en dosificaciones diferentes al rango experimentado en este documento como agentes coagulantes.
- Evaluar si el sistema de filtración directa cuenta con la capacidad o presenta un mayor porcentaje de remoción de hierro.
- Evaluar la etapa de filtración con un solo lecho filtrante.
- Evaluar la etapa de neutralización con otros agentes que tengan mayor solubilidad en el agua.

BIBLIOGRAFIA

BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. Capítulo 1. [en línea], 2004. [citado 06 octubre 2018].

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS Prof. Dr. Rafael Marín Galván Jefe de Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA)

CAICEDO, Heidi y SUÁREZ Erica. Propuesta de mejora para el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto veredal Coovesur L.T.D.A esp del municipio de Fusagasugá - Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. 2018.

CALDERON, Paulo. Diseño de un sistema de tratamiento para la potabilización de agua en la comunidad de Toñeampare del Cantón Arajuno, provincia de Pastaza. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Riobamba – Ecuador.: Escuela superior politécnica de Chimborazo. 2014.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Mezcladores. En: Manual II. Diseño de plantas de tecnología apropiada. Lima, 2004. P. 1 - 48

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. RAS 2000. (17, noviembre, 2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Aspectos Generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2000. no. 1-103 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 1

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 330 de 2017. (17, junio, 2017) por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2017. no.50267 p. 1-182

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1575 (09 mayo 2007). Bogotá: El Ministerio 2007.

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 475 de 1998 (10 marzo 1998). Bogotá: El Ministerio 2007.

COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 1594 de 1984. (26, junio, 1984) por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1984. no.36700 p. 2-52

GIRALDO, Gloria, Manual de análisis de aguas [en línea], 1995 [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>

GONZALEZ, Laura y OLAYA, Lady. Propuesta de mejoramiento el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto Acuabol en el municipio de Bolívar – Santander. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. 2011.

González, Lourdes. Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. 2013.

Gobierno Digital. Alcaldía Municipal de Nemocón Cundinamarca. 2018 [En Línea], [Citado 12 de marzo 2019] Disponible en: <http://www.nemocon-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 1486- 6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2016. 83 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. NTC ISO 5667-2. BOGOTÁ D.C.: El instituto, 1995. 1-15 p.

_____. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para la preservación y manejo de muestras. NTC ISO 5667-3. BOGOTÁ D.C El instituto, 1995. 1-52 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Determinación de Escherichia coli y Coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult. [en línea], 30 de agosto de 2007 [citado 01 de mayo de 2018].

LOZANO RIVAS, William Antonio. Potabilización del agua principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá D.C: Universidad Piloto de Colombia, 2015. ISBN 9789588957180.

MALDONADO, Victor, Tratamientos de agua para consumo humano. Filtración. Capítulo 9. [en línea], 2004. [citado 06 noviembre 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

MÉNDEZ BERNAL, Mayury Yuleimi. Modelo hidrogeológico conceptual de la mina de sal de Nemocón, contrato de concesión HIQO – 01. U.P.T.C. Escuela de Ingeniería Geológica., 2016. [En Línea], [Citado el 12 de marzo de 2019], Disponible en Internet: www.nemocon-cundinamarca.gov.co

METCALF y EDDY, INC. Ingeniera sanitaria. Tratamiento, evaluación y reutilización de aguas residuales. Editorial labor, S.A. 2 ed. Barcelona1994.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título C. Sistemas de potabilización. http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483 >. [Citado 02 de noviembre de 2018].

MILLAN, Carlos y POLANIA, Leidy. Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Somos K S.A. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. 2018.

MONTIEL, Antoine. Organización Panamericana de la salud. La desinfección del agua. p 8 [en línea], [Citado 6 octubre 2018] Disponible en internet: <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>

OSPINA, Oscar y MOYANO, Yuri. Evaluación del aprovechamiento para consumo humano del agua de lluvia en una microcuenca urbana de Ibagué - Tolima, Colombia. Trabajado de grado Ingeniero Civil. Ibagué.: Universidad Cooperativa de Colombia. 2015.

RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable. [En línea]. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.: 2009. [Consultado 07 de mayo de 2019]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

RIOS, Sandra, AGUDELO Ruth, GUTIERREZ Lina. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 2017. [en línea], [citado 06 noviembre 2018] Disponible en Internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 2009. ISBN 9789588060835

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Potabilización del agua. 3 ed. México D.F.: Escuela Colombiana De Ingeniería, 1999. 43 p. ISBN 9701504003, 9789701504000.

SANABRIA, Dora. Conductividad eléctrica por el método electrométrico en agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. [en línea], 2006. [citado 06 noviembre 2018] Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>



SOCIEDAD GENERAL DE AGUAS DE BARCELONA. Ficha sobre calidad del agua [en línea], 2003 [citado 01 de noviembre 2018]. Disponible en internet: <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>



URREA, Mario. Coagulación-Floculación. Abastecimiento de aguas [en línea], 2 de julio de 2011 [citado 03 noviembre 2018]. Disponible en internet: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf

VARGAS, Lidia, Tratamientos de agua para consumo humano. Floculación. [En Línea], 2004. [citado 06 noviembre 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

ANEXO A

RESULTADOS PRIMERA CARACTERIZACION LABORATORIO BIOTRENDS


F-EC-001 REVISION 03 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS	 			
INFORME DE ANALISIS No. F-18-47049-0					
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012378169 MAIL: DanielF Ospina@Hotmail.com CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GOMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO					
INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: NEMOCON RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2018-10-30 HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2018-10-30 HORA: 12:00:00 FECHA DE ANALISIS: 2018-10-30 FECHA DE INFORME: 2018-11-09 METODO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO SIMPLE					
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO					
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION	FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
18-47049	AGUA SUBTERRANEA	N.E			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD			
2 FRASCOS AMBAR X 1000 ml- 2 FRASCOS PLASTICOS X 500 ml-1 BWTB X 300 ml	1	N.E			
		FECHA VENC			
		N.E			
		LOTE			
		N.E			
		T. MUESTREO			
		N.E			
		T. RECEPCION			
		2.1°C			
OBSERVACIONES					
TABLA DE RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION Min. Prot. Social	CUMPLIMIENTO
Acidez Titulable Total	SM 2310 B	4,76	mgCaCO3/L	-	NO APLICA
Alcalinidad Total	Standard Methods 2320 B, Titration Method, Ed. 23: 2017. Acreditado.	51,40	mg CaCO3/L	Maximo 200	SI
Cloruro	SM4500-Cl B	23,66	mgCl-L	Maximo 250	SI
Dioxido de carbono Total	SM 4500-CO2 D	70,45	mgCO2Total/L	-	NO APLICA
Color Aparente	SM 2120 B	35	Unidades PtCo	Maximo 15	NO
Conductividad a 25°C	Standard Methods 2510 B, Laboratory Method, Ed. 23: 2017. Acreditado.	790,4	uS/cm	Maximo 1000	SI
Dureza Total	Standard Methods 2340 C, Titrimetric Method, Ed. 23: 2017. Acreditado.	161,31	mg CaCO3/L	Maximo 300	SI
pH a 20°C	Standard Methods 4500-H+ B, Electrometric Method, Ed. 23:2017. Acreditado.	6,51	Unidades de pH	6,50 - 9,00	SI
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.					
REVISO: DIRECTOR TECNICO			APROBO: GERENTE		

F-EC-001 REVISION 03 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017		INFORME DE ANALISIS				 	
Sulfatos	SM 4500 - SO4= E, Turbidimetric method. Ed 22-2012	138,6	mgSO4=L	Máximo 250	SI		
Turbiedad	Standard Methods 2130 B, Nephelometric Method. Ed 23: 2017. Acreditado.	3,10	NTU	Máximo 2	NO		
Hierro	SM3500-Fe B	2,3	mgFe/L	Máximo 0,3	NO		
Amonio	Arrastre vaporDestilación-AOAC 973.49 modificado	1,1	mgNH3/L	*	NO APLICA		
Bicarbonatos	SM 4500-CO2 D (2a)	51,38	mgCaCO3/L	*	NO APLICA		
Carbonatos	SM 4500 CO2 D (2b)	0,02	mgCaCO3/L	*	NO APLICA		
Calcio	Standard Methods 2340 C, EDTA Titrimetric Method, Ed. 22: 2012.	53,06	mgCa/L	Máximo 60	SI		
Magnesio	SM 3500-Mg B	6,99	mg/L	Máximo 36	SI		
Hidroxidos	SM 4500 CO2 D (2c)	0,00	mgCaCO3/L	*	NO APLICA		
Nitratos	SM 4500-NO3 B. Ed. 22:2012	1,5	mgNO3/L	Máximo 10	SI		
Nitritos	SM 4500-NO2 B. Ed. 22:2012	-0,02	mg/L	Máximo 0,1	SI		
Sólidos Totales	Standard Methods Total solid dried at 103-105°C 2540 B, Ed 23: 2017. Acreditado	350	mg/L	*	NO APLICA		
Fosfatos	Espectrofotometría	0,3	mgPO4/L	Máximo 0,5	SI		
Dureza Cálcica	Standard Methods 3500-Ca B, EDTA Titrimetric Method, Ed. 23:2017. Acreditado	132,50	mg CaCO3/L	*	NO APLICA		
Dureza Magnésica	P-LF-025 Metodo de analisis para dureza total y dureza magnésica en aguas, revisión 06, 2016/01/22. Acreditado	28,80	mgCaCO3/L	*	NO APLICA		
Dioxido de Carbono libre	SM 4500-CO2 D	25,22	mgCO2Libre/L	*	NO APLICA		
Zinc (Zn)	Espectrofotometría de Absorción Atómica	1,4	mg/L	Máximo 3	SI		
Manganeso	Espectrofotometría- SM 3111 B	-0,02	mgMn/L	Máximo 0,1	SI		
Aluminio (Al)	Espectrofotometría de absorción atómica	0,1	mg/L	Máximo 0,2	SI		
Fluoruros	Electrometría SM 4500-F- C	-0,1	mgF/L	Máximo 1	SI		
Analizado por: C 27							
INTERPRETACION DE RESULTADO							
"EL ITEM DE ENSAYO NO CUMPLE CON LA ESPECIFICACION: Resolución 2115 de 2007, Calidad del Agua para consumo humano"							
Observaciones							
-Los resultados son validos unicamente para el item analizado.							
-Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

Informe de analisis No. F-1847049-0 Pagina 2 de 3
Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

F-EC-001 REVISION 03 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017		INFORME DE ANALISIS				 	
<p>-* Parametro no requerido en especificacion -** Parametro no solicitado por el cliente Autorizan:</p>							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
 OLGA LUCIA ÁVILA GUZMÁN JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA							
 FERNANDO MURCIA Director Técnico FIN DEL INFORME							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

Informe de analisis No. F-1847049-0 Pagina 3 de 3
Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

F-EC-001 REVISION 03		INFORME DE ANALISIS					
FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017							
INFORME DE ANALISIS No. M-18-47049-0							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/C: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012976189 MAIL: daniel@capitac@gmail.com CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GOMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: NEMOCON RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2018-10-30 HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2018-10-30 HORA: 12:00.00 FECHA DE ANALISIS: 2018-11-01 FECHA DE INFORME: 2018-11-01 METODO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO SIMPLE			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.		IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR		
18-47049		AGUA SUBTERRANEA			N.E		
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION
2 FRASCOS AMBAR X 1000 ml- 2 FRASCOS PLASTICOS X 500 ml-1 BWTB X 300 ml		1	N.E	N.E	N.E	N.E	2.1°C
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION Min. Protección Social	CUMPLIMIENTO		
Recuento de Coliformes Totales	ISO 9308-1:2014	0	UFC/100cm ³	0	SI		
Recuento de E. coli	ISO 9308-1:2014	0	UFC/100cm ³	0	SI		
Recuento de Aerobios Mesofilos (recomendación)	Standard methods edición 23: 2017, 9215D	>2000	UFC/100cm ³	100	NO APLICA		
Analizado por: C 31							
INTERPRETACION DE RESULTADO							
"EL ITEM DE ENSAYO SI CUMPLE CON LA ESPECIFICACION: Resol.2115/07 Cap.3 -Agua Potable-"							
Observaciones							
-Los resultados son validos unicamente para el item analizado.							
-Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integralmente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

Informe de analisis No. M-1847049-0 Pagina 1 de 2
Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

F-EC-001 REVISION 03		INFORME DE ANALISIS					
FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017							
-* Parametro no requerido en especificacion -** Parametro no solicitado por el cliente Autorizan: BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S							
 PAOLA SOLER LEÓN Jefe de Laboratorio de Microbiología				 FERNANDO MURCIA Director Técnico			
FIN DEL INFORME							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

Informe de analisis No. M-1847049-0 Pagina 2 de 2
Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

ANEXO B RESULTADOS SEGUNDA CARACTERIZACION DE HIERRO TOTAL

F-EC-006 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS																					
INFORME DE ANALISIS No. A-19-13455-0																						
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012876189 MAIL: DanielF.OspinaG@hotmail.com CIUDAD: BOGOTÁ D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GÓMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: LABORATORIO RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-01 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-01 HORA: 13:50:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-01 FECHA DE INFORME: 2019-03-12 METODO DE TOMA DE MUESTRA: G-CM-010 </td> </tr> </table>			INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012876189 MAIL: DanielF.OspinaG@hotmail.com CIUDAD: BOGOTÁ D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GÓMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO	INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: LABORATORIO RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-01 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-01 HORA: 13:50:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-01 FECHA DE INFORME: 2019-03-12 METODO DE TOMA DE MUESTRA: G-CM-010																		
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012876189 MAIL: DanielF.OspinaG@hotmail.com CIUDAD: BOGOTÁ D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GÓMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO	INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: LABORATORIO RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-01 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-01 HORA: 13:50:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-01 FECHA DE INFORME: 2019-03-12 METODO DE TOMA DE MUESTRA: G-CM-010																					
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 20%;">ITEM DE ENSAYO NO.</th> <th style="width: 40%;">IDENTIFICACION</th> <th style="width: 40%;">FABRICANTE Y/O PROVEEDOR</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">19-13455</td> <td style="text-align: center;">AGUA SUBTERRANEO</td> <td style="text-align: center;">N.E.</td> </tr> </table>	ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION	FABRICANTE Y/O PROVEEDOR	19-13455	AGUA SUBTERRANEO	N.E.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION</th> <th style="width: 10%;">CANT.ENTREG.(UN)</th> <th style="width: 10%;">FECHA DE PROD</th> <th style="width: 10%;">FECHA VENC</th> <th style="width: 10%;">LOTE</th> <th style="width: 10%;">T. MUESTREO</th> <th style="width: 10%;">T. RECEPCION</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">FRASCO PLASTICO X 1200mL</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">N.E</td> <td style="text-align: center;">N.E</td> <td style="text-align: center;">N.E.</td> <td style="text-align: center;">N.E.</td> <td style="text-align: center;">20.5°C</td> </tr> </table>		PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT.ENTREG.(UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION	FRASCO PLASTICO X 1200mL	1	N.E	N.E	N.E.	N.E.	20.5°C
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION	FABRICANTE Y/O PROVEEDOR																				
19-13455	AGUA SUBTERRANEO	N.E.																				
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT.ENTREG.(UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION																
FRASCO PLASTICO X 1200mL	1	N.E	N.E	N.E.	N.E.	20.5°C																
OBSERVACIONES																						
TABLA DE RESULTADOS																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">PARAMETRO</th> <th style="width: 20%;">METODO UTILIZADO</th> <th style="width: 10%;">RESULTADOS</th> <th style="width: 10%;">UNIDADES</th> <th style="width: 10%;">ESPECIFICACION Min. Prot Social</th> <th style="width: 10%;">CUMPLIMIENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hierro (Fe)</td> <td style="text-align: center;">Espectrofotometria de Absorcion atómica</td> <td style="text-align: center;">6,28</td> <td style="text-align: center;">mg/L</td> <td style="text-align: center;">Max 0,3</td> <td style="text-align: center;">NO</td> </tr> </tbody> </table>	PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION Min. Prot Social	CUMPLIMIENTO	Hierro (Fe)	Espectrofotometria de Absorcion atómica	6,28	mg/L	Max 0,3	NO	Interpretacion de resultado "EL ITEM DE ENSAYO NO CUMPLE CON LA ESPECIFICACION: Resolución 2115 del 2007"									
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION Min. Prot Social	CUMPLIMIENTO																	
Hierro (Fe)	Espectrofotometria de Absorcion atómica	6,28	mg/L	Max 0,3	NO																	
Observaciones -Los resultados son validos unicamente para el item analizado. -Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S -* Parametro no requerido en especificacion -** Parametro no solicitado por el cliente																						
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.																						
REVISO: DIRECTOR TECNICO	APROBO: GERENTE																					

Informe de analisis No. A-1913455-0 Pagina 1 de 2

Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

F-EC-006 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS			
Autorizan: BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; text-align: center;"> OLGA LUCÍA ÁVILA GUZMÁN JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA </td> <td style="width: 50%; border: none; text-align: center;"> FERNANDO MURCIA Director Técnico FIN DEL INFORME </td> </tr> </table>			 OLGA LUCÍA ÁVILA GUZMÁN JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA	 FERNANDO MURCIA Director Técnico FIN DEL INFORME
 OLGA LUCÍA ÁVILA GUZMÁN JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA	 FERNANDO MURCIA Director Técnico FIN DEL INFORME			
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.				
REVISO: DIRECTOR TECNICO	APROBO: GERENTE			

Informe de analisis No. A-1913455-0 Pagina 2 de 2

Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

ANEXO C RESULTADOS TERCERA CARACTERIZACION DE HIERRO TOTAL

F-EC-006 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS					
INFORME DE ANALISIS No. A-19-16170-0						
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT.CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012876189 MAIL: Daniel.F.CapillaG@hotmail.com CIUDAD: BOGOTÁ D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GÓMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO		INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: POZO RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-15 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-15 HORA: 08:50:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-15 FECHA DE INFORME: 2019-03-27 METODO DE TOMA DE MUESTRA: G-CM-010				
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO						
ITEM DE ENSAYO NO. 19-16170	IDENTIFICACION AGUA SUBTERRÁNEO	FABRICANTE Y/O PROVEEDOR N.E.				
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION FRASCO AMBAR X 500mL	CANT.ENTREG.(UN) 1	FECHA DE PROD N.E.	FECHA VENC N.E.	LOTE N.E.	T. MUESTREO N.E.	T. RECEPCION 21°C
OBSERVACIONES						
TABLA DE RESULTADOS						
PARAMETRO Hierro (Fe) Analizado por: C103	METODO UTILIZADO Espectrofotometría de Absorción atómica	RESULTADOS 5,44	UNIDADES mg/L	ESPECIFICACION Min. Prot Social Max 0,3	CUMPLIMIENTO NO	
INTERPRETACION DE RESULTADO "EL ITEM DE ENSAYO NO CUMPLE CON LA ESPECIFICACION: Resolución 2115 del 2007"						
Observaciones -Los resultados son validos unicamente para el item analizado. -Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S -* Parametro no requerido en especificacion -** Parametro no solicitado por el cliente						
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.						
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE		

Informe de analisis No. A-1916170-0 Pagina 1 de 2

Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com



F-EC-006 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS	
Autorizan: BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  OLGA LUCIA AVILA GUZMAN JEFE DE LABORATORIO DE FISICOQUIMICA </div> <div style="text-align: center;">  FERNANDO MURCIA Director Técnico FIN DEL INFORME </div> </div>		
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.		
REVISO: DIRECTOR TECNICO		APROBO: GERENTE

Informe de analisis No. A-1916170-0 Pagina 2 de 2

Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

ANEXO D


RESULTADOS CARACTERIZACION FINAL LABORATORIO BIOTRENDS

F-EC-007 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS	 
INFORME DE ANALISIS No. F-19-14556-2 (SUPLEMENTO DE INFORME DE ANALISIS No. F-19-14556-1 QUE REEMPLAZA AL INFORME DE ANALISIS No. F-19-14556-1)		
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012976189 MAIL: Daniel.F. Ospina G@hotmail.com CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GOMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO	INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: LABORATORIO RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-08 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-08 HORA: 13:00:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-08 FECHA DE INFORME: 2019-03-20 METODO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO SIMPLE	
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO		
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION	FABRICANTE Y/O PROVEEDOR
19-14556	AGUA POTABLE	N.E.
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD
FRASCO VIDRIO X 300mL - FRASCO AMBAR X 500mL	1	N.E.
FECHA DE VENC	LOTE	T. MUESTREO
N.E.	N.E.	16.5°C
T. RECEPCION		
4.0°C		
OBSERVACIONES DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE: CONDUCTIVIDAD: 114.3 - CLORO RESIDUAL: 0.7ppm - TURBIEDAD: 0.58 NTU		
TABLA DE RESULTADOS		
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS
Color aparente	SM 2120 B	10
Turbiedad	Standard Methods 2130 B, Nephelometric Method. Ed 23: 2017. Acreditado.	0,64
Hierro	SM3500-Fe B	0,3
Unidades	Especificacion Min. Prot. Social	Cumplimiento
Unidades Pico	Máximo 15	SI
NTU	Máximo 2	SI
mgFe/L	Máximo 0,3	SI
Analizado por: C 27		
INTERPRETACION DE RESULTADO "EL ITEM DE ENSAYO CUMPLE CON LOS PARAMETROS EVALUADOS DE LA NORMA: Resolución 2115 de 2007, Calidad del Agua para consumo humano"		
Observaciones -Los resultados son validos unicamente para el item analizado. -Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S		
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.		
REVISO: DIRECTOR TECNICO	APROBO: GERENTE	

Informe de analisis No. F-1914556-2 Pagina 1 de 2
 Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com


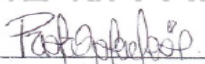
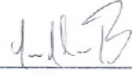
F-EC-007 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS	 
-* Parametro no requerido en especificacion -** Parametro no solicitado por el cliente -Justificacion suplemento 1: SE ELIMINA PARAMETRO -Justificacion suplemento 2: SE AJUSTA REPORTE DE PARAMETROS Biotrends laboratorios no se hace responsable por el uso del informe de analisis F-19-14556-1 Autorizan: BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S		
 OLGA LUCIA ÁVILA GUZMÁN JEFE DE LABORATORIO DE FISIQUÍMICA	 FERNANDO MURCIA Director Técnico FIN DEL INFORME	
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.		
REVISO: DIRECTOR TECNICO	APROBO: GERENTE	

Informe de analisis No. F-1914556-2 Pagina 2 de 2
 Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

F-EC-001 REVISION 03	INFORME DE ANALISIS							
FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017								
INFORME DE ANALISIS No. M-19-14556-0								
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S NIT/CC: 900920156-2 DIRECCION: Carrera 64 A 4 B 91 TELEFONO: 3012376169 MAIL: DamiF.OspinaG@hotmail.com CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: SR. DANIEL GOMEZ CARGO: ADMINISTRATIVO				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: LABORATORIO RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S.A.S FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-08 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-08 HORA: 13:00:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-09 FECHA DE INFORME: 2019-03-11 METODO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO SIMPLE				
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO								
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION				FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
19-14556	AGUA POTABLE				N.E.			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION		CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION	
FRASCO VIDRIO X 300mL - FRASCO AMBAR X 500mL		1	N.E	N.E	N.E.	16,5°C	4,0°C	
OBSERVACIONES								
DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE: PH: 6.33 - CONDUCTIVIDAD: 114.3 - CLORO RESIDUAL: 0.7ppm - TURBIEDAD: 0.58 NTU								
TABLA DE RESULTADOS								
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION Min. Protección Social	CUMPLIMIENTO			
Recuento de Coliformes Totales	ISO 9308-1:2014	0	UFC/100cm ³	0	SI			
Recuento de E. coli	ISO 9308-1:2014	0	UFC/100cm ³	0	SI			
Recuento de Aerobios Mesofilos (recomendación)	Standard methods edición 23: 2017, 9215D	0	UFC/100cm ³	100	NO APLICA			
Analizado por: C 31								
INTERPRETACION DE RESULTADO								
"EL ITEM DE ENSAYO SI CUMPLE CON LA ESPECIFICACION: Resol.2115/07 Cap.3 -Agua Potable"								
Observaciones								
-Los resultados son validos unicamente para el item analizado.								
-Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S								
-* Parametro no requerido en especificacion								
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.								
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE				

Informe de analisis No. M-1914556-0 Pagina 1 de 2

Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

F-EC-001 REVISION 03	INFORME DE ANALISIS							
FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017								
<p>-** Parametro no solicitado por el cliente</p> <p>Autorizan:</p> <p>BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <u>PAOLA SOLER LEÓN</u> Jefe de Laboratorio de Microbiología </div> <div style="text-align: center;">  <u>FERNANDO MURCIA</u> Director Técnico </div> </div> <p style="text-align: center;">FIN DEL INFORME</p>								
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.								
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE				

Informe de analisis No. M-1914556-0 Pagina 2 de 2

Bogota - Av Boyaca No 64F-68. Tels: (571) 4758383 - 7022799 - 2527231 - 2516237. Web. www.biotrendslab.com

ANEXO E FICHA TÉCNICA CLORURO FERRICO

FICHA TÉCNICA

CLORURO FÉRRICO ANHIDRO

DESCRIPCIÓN: Se suministra en forma de cristales iridiscentes de color verde, extremadamente higroscópicos, fácilmente solubles en agua para formar soluciones hasta del 45% de FeCl_3

APLICACIÓN: Mantenimiento de aguas municipales, industriales y residuales; fotograbado de cobre; Agente de grabado en litografías; fotografía y circuito de impresión; agente oxidante; en la industria en general, para el tratamiento de aguas residuales para propósitos de floculación, o con el propósito de formar compuestos insolubles de fácil remoción; en la descontaminación y tratamiento de aguas industriales en la industria automotriz

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDAD	ESPECIFICACIÓN
Apariencia	Cristales
Color	Verde iridiscentes
Pureza ($\%\text{FeCl}_3$)	98% Mínimo
Insolubles (%)	0,50 Máximo
Aspecto (solución 1%)	Solución naranja sin sedimento oscuro

Fecha de Revisión: 13/11/2013

Nota: Esta Ficha Técnica es fiel copia de los resultados típicos obtenidos por nuestro proveedor. Su uso o aplicación es bajo responsabilidad del usuario.

**ANEXO F
COTIZACION COAGULANTE, DESINFECTANTE, LECHO FILTRANTE**



COTIZACIÓN N° 429

Nombre	OSPINA GOMEZ DANIEL	Nit	1014254916
Dirección		Fecha	29/03/2019
Ciudad		Asesor	SANCHEZ CRUZ GILMA ESPERANZA
Teléfono	3012876189	Forma de Pago	CONTADO PPCIAL

Observaciones

Código	Nombre del Producto	Un	Cantidad	Precio	Valor Total
IND20110004	CARBON ACTIVADO GRANULADO x Kg	Kg	1	\$ 14,000	\$ 14,000.00
IND20110010	CARBON ACTIVADO GRANULADO x Bi	Bi	1	\$ 269,000	\$ 269,000.00
IND20120001	CARBON ACTIVADO EN POLVO x Kg	Kg	1	\$ 10,000	\$ 10,000.00
IND20120014	CARBON ACTIVADO EN POLVO Bi x 20 Kg	Bi	1	\$ 181,000	\$ 181,000.00
IND20150006	CLORURO FERRICO ANHIDRO x Kg	Kg	1	\$ 4,800	\$ 4,800.00
IND20150060	CLORURO FERRICO ANHIDRO Bi x 25 Kg	Bi	1	\$ 104,200	\$ 104,200.00
IND20360043	HIDROXICLORURO DE ALUMENIO Gf	Gf	1	\$ 46,500	\$ 46,500.00
IND20520002	SULFATO DE ALUMENIO T.A	Kg	1	\$ 2,500	\$ 2,500.00
IND20520028	SULFATO DE ALUMENIO T.A (NAL) Bi x 25 Kg	Bi	1	\$ 56,300	\$ 56,300.00
IND20520030	SULFATO DE ALUMENIO T.A GRANULAR Bi x 25 Kg	Bi	1	\$ 35,500	\$ 35,500.00
IND20590005	HIPOCLORITO DE CALCIO	Kg	1	\$ 7,200	\$ 7,200.00
IND20590025	HIPOCLORITO DE CALCIO x 45 Kg	Un	1	\$ 298,500	\$ 298,500.00
Total Bruto					\$ 1,029,500.00
Total Retención					\$ -
Total Iva					\$ 195,605.00
Total Iva Ret.					\$ -
Total Pagar					\$ 1,225,105.00

EJECUTIVO DE VENTA
SANCHEZ CRUZ GILMA ESPERANZA

HIPERMERCADO CIACOMEQ LIDER EN VENTAS AL DETAL VIGENTE POR 8 DIAS O SEGÚN TRM
BOGOTÁ

PRINCIPAL: Carrera 63 No. 5A-85
SUCURSAL: Av. Américas No. 62-43
PBX: 2 90 00 93 tel: TEL: 2 62 19 66 FAX: 4 47 52 43



COTIZACIÓN N° 947

Nombre	OSPINA GOMEZ DANIEL	Nit	1014254916
Dirección		Fecha	07/05/2019
Ciudad		Asesor	DIMATE PINEDA MABEL MARCELA
Teléfono	3012876189	Forma de Pago	CONTADO PPCIAL

Observaciones

Codigo	Nombre del Producto	Un	Cantidad	Precio	Valor Total	
IND20110002	CAL APAGADA (MALLA 325) x Kg	Kg	1	\$ 1,600	\$ 1,600.00	
IND20110012	CAL APAGADA (MALLA 325) Bl x 25 Kg	Bl	1	\$ 19,000	\$ 19,000.00	
					Total Bruto	\$ 20,600.00
					Total Retención	\$ -
PRECIOS NO INCLUYEN IVA					Total Iva	\$ 3,914.00
					Total Iva Ret.	\$ -
					Total Pagar	\$ 24,514.00

EJECUTIVO DE VENTA
DIMATE PINEDA MABEL MARCELA

HIPERMERCADO CIACOMEQ LIDER EN VENTAS AL DETAL VIGENTE POR 8 DIAS O SEGÚN TRM
BOGOTÁ

PRINCIPAL: Carrera 63 No. 5A-85
SUCURSAL: Av. Américas No. 62-43
PBX: 2 90 00 93 tel: TEL: 2 62 19 66 FAX: 4 47 52 43

ANEXO G COTIZACION LECHO FILTRANTE



Bogotá, febrero 5 de 2019

Señor
Daniel F. Ospina Gómez
danielf.ospina@gmail.com

Asunto: Cotización Material Filtrante

Cordial saludo.
Estos son los precios solicitados:

PRODUCTO	CANTIDAD	\$ UNIDAD + IVA	UNIDAD CON IVA	\$ TOTAL
Carbón Activado 2-4 mm bulto x 25 kg*	1	138.656 + 26.344	165.000	165.000
Antracita 1-2 mm bulto x 25 kg	1	22.000 + 0	22.000	22.000
Grava cualquier tamaño bulto x 25 kg	1	11.765 + 2.235	14.000	14.000
Carbón Coque 5-25 cm bulto x 33 kg	1	33.000 + 0	33.000	33.000
Arena Sílice bulto x 25 kg	1	11765 + 2.235	14.000	14.000

*Carbón activado kilo \$ 12.000

- **Tiempo de entrega:** Inmediata.
- **Transporte:** Gratis Bogotá norte y centro o despachos mínimos dependiendo de la zona y la cantidad de producto.
- **Forma de pago:** Consignación o transferencia: Banco Colpatria , Cuenta Corriente 4411009756 Titular: Juan Carlos Correa Ramírez, Cédula 80197319

Atentamente.

Juan Carlos Correa Ramírez
Gerente

Domicilios: 703 1077 - 300 571 7965. Calle 138 N° 46A-16 Bogotá
laleñeria.com

ANEXO H
COTIZACION Y FICHA TECNICA LIPESA 1569-A

Tocancipá, 28 de marzo de 2019



Señor

DANIEL FERNANDO OSPINA GOMEZ

Bogotá - Cundinamarca

REF: COTIZACIÓN POLÍMERO COTIÓNICO L-1569A

Respetado Ingeniero,

LIPESA COLOMBIA S.A.S, ha enfocado su esfuerzo continuo hacia el desarrollo de los tratamientos y programas químicos preventivos y la satisfacción del cliente mediante la identificación y la solución de las necesidades propias de cada industria.

Por esta razón, presentamos la cotización del producto polímero catiónico de ultra alto peso molecular L-1569A.

Cordialmente,



Ing. Sergio Ricardo Velandia Flórez
Representante Técnico Comercial
División Industrial Water Treatment
Teléfono (Phone) 57-310 286 28 23
PBX: 57-1-878 6600.
velandias@lipesa.com

C.C. Ing. Francia Mtoa – GERENTE DE DISTRITO CENTRO

LISTA DE PRECIOS Y PRESENTACIONES

PRODUCTO	FUNCION	PRESENTACION	CANTIDAD SOLICITADA	PRECIO/KG	PRECIO TOTAL \$
L-1569A	Floculante	25 KG	25	\$ 24.460	\$ 611.500



LIPESA 1569 A

POLIMERO CATIONICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 13,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1569 A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los orgánicos. LIPESA 1569 A tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y procesos varios. LIPESA 1569 A cumple con los requisitos para su uso en agua potable según la normativa NSF/ANSI Standard 60.

Descripción General

LIPESA 1569 A es un polímero sólido de "alto peso molecular", ligeramente catiónico, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH al 0,5%:	2,50 – 4,50
Densidad:	~ 0,800 g/m ³
Solubilidad:	0,5 % en agua
Viscosidad (cP):	~ 560 al 0,5 % ~ 260 al 0,25 % ~ 120 al 0,1 %

Dosis

La dosis de LIPESA 1569 A varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. La dosis típica es:

- Espesamiento y clarificación: 0,1 a 300 g/m³

En todo caso, el representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1569 A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1569 A es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apemazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 20 minutos.
- Dejar en reposo durante 5 – 10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 10 – 25 minutos.

La inyección del producto deberá hacerse en un punto de buena mezcla y en todo caso dependerá de sistema de tratamiento usado. El Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento del sitio adecuado para la inyección del producto, bien sea en estaciones de tratamiento o en aplicaciones especiales.

ANEXO I FICHA TECNICA BOMBA DE FILTRACION



► INDEX

Pump Applications

The CEP Series can be used to pump clean water without any abrasive particles or any other liquid with similar properties to water. The CEP series is recommended for residential water supply applications, irrigation systems, air conditioning units, water recirculation, and small boosting systems.

Aplicaciones de la bomba

Pueden ser utilizadas para bombear agua limpia u otros líquidos de propiedades fisicoquímicas similares a las del agua. Se recomiendan para el suministro de agua en viviendas, edificios y la industria, en sistemas hidroneumáticos, en sistemas de riego para jardines, trasiego de agua, sistemas de aire acondicionado y recirculación de agua.

WATER PUMP	
Cast iron pump body	
Aluminum motor bracket	
Stainless steel closed impeller	
Motor shaft in stainless steel AISI 304	
Maximum liquid temperature of 60°C	
Maximum suction lift of 8 m	
Mechanical seal in ceramic and graphite, with elastomer in NBR	
MOTOR	
Close-coupled TEFC motor with copper windings	
Insulation class F	
IP 44 protection	
Maximum ambient temperature of 40°C	
Single phase, 60 Hz, 3450 rpm with thermal overload protection available in 110 V, 110/220 V, or 220 V	
Three phase, 60 Hz, 3450 rpm, 220 V or 220/440 V	
50 Hz or other voltages available upon special request	

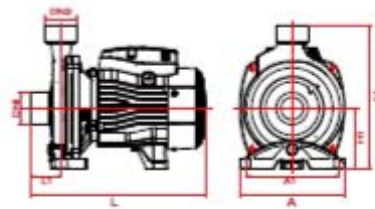
BOMBA	
Cuerpo de bomba en hierro fundido	
Soporte de bomba en aluminio	
Impulsor centrifugo cerrado en acero inoxidable	
Eje en acero inoxidable AISI 304	
Máxima temperatura del líquido: 60°C	
Capacidad de succión a nivel del mar: 8 m	
Sello mecánico en cerámica y grafito, con elastómero en NBR	
MOTOR	
Motor de inducción cerrado con bobinado en cobre	
Aislamiento clase F	
Protección IP 44	
Máxima temperatura de ambiente: 40°C	
Monofásico 110 V - 110/220 V - 220 V según regulación, 60 Hz, 3450 rpm. Incluye protector térmico interno en el devanado	
Trifásico 220 V - 220/440 V, 60 Hz, 3450 rpm	
En 50 Hz y otros voltajes disponibles bajo pedido	

Stainless Steel Impeller / Impulsor en Acero Inoxidable



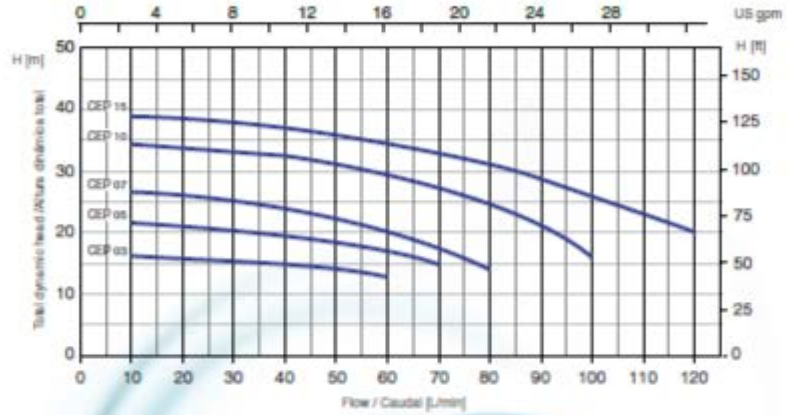
Pump dimensions / Dimensiones de la bomba

MODEL / MODELO	DIMENSIONS / DIMENSIONES							
	DN1	DN2	L [mm]	A [mm]	H [mm]	L1 [mm]	W1 [mm]	H1 [mm]
CEP 68	1"	1"	270	157	216	42	122	90
CEP 66	1"	1"	270	157	216	42	122	90
CEP 67	1"	1"	298	190	240	44	160	90
CEP 65	1"	1"	298	190	240	44	160	100
CEP 65	1"	1"	363	206	263	50	170	112



B

Curve and Performance Data / Curva de Prestaciones Hidráulicas



Performance Data / Datos de Prestaciones Hidráulicas

MODEL MODELO	POWER POTENCIA		FLOW / CAUDAL												
	kW	HP	0.6	0.8	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
TOTAL MANOMETRIC HEIGHT IN METERS / ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL EN METROS															
CEP 03	0.25	0.33	17	16.5	16	15.5	14.5	13.5	12.5						
CEP 05	0.37	0.5	22	21.5	21	20.5	19.5	18	17	15					
CEP 07	0.5	0.7	27	26.5	26	24.5	24.5	22.5	20	17	14				
CEP 10	0.75	1.0	36	34.5	33.5	33	32.5	31	29	27	24	20	16		
CEP 15	1.1	1.5	40	39	38.5	38	37	36	34.5	33	31.5	29	26	23	20

Packaging Information / Información del Empaque

MODEL MODELO	DIMENSIONS DIMENSIONES			WEIGHT PESO
	L [mm]	A [mm]	H [mm]	
CEP 03	257	180	230	7
CEP 05	257	180	230	8
CEP 07	325	210	270	11
CEP 10	325	210	270	13
CEP 15	385	226	270	18



ANEXO J COTIZACION TORRE DE AIREACION TANQUE DE CLARIFICADO



planeta azul soluciones ambientales
División Industrial Repreza®

9 CONDICIONES ESPECÍFICAS.

- Todas las unidades metalmecánicas que hacen parte de la planta de tratamiento de agua se construirán cumpliendo las normas industriales determinadas por FEDEMETAL y serán cubiertas con pinturas de anticorrosivo epóxido y pinturas de acabado igualmente epóxido.
- La mano de obra para el desarrollo del montaje, se efectuará con personal técnico calificado y se entrenará al personal de operarios que la empresa designe para el funcionamiento adecuado de la planta.
- Se entregará un Manual de Operaciones, que consigna los registros técnicos de cada una de las unidades, diseños y recomendaciones para el buen desempeño de la planta

10 CONDICIONES COMERCIALES.

VALOR DE LA PLANTA INSTALADA Y FUNCIONANDO	
Torre de aireación	\$ 700.000
Módulo de sedimentación coagulación y mezcla	\$ 2.000.000
Paneles de sedimentación	\$ 600.000
Torre de aireación	\$ 1.000.000
Accesorios, de PVC válvulas, tuberías de interconexión, soldadura	\$ 400.000
Tablero de control	\$ 1.500.000
2 dosificadores de químicos	\$ 2.800.000
Bomba de tratamiento	\$ 250.000
Bomba de filtración	\$ 250.000
Filtro de arena de 14"	\$ 1.000.000
Filtro de carbón activado	\$ 1.000.000
Mano de obra instalación y transporte	\$ 1.000.000
valor total de la planta instalada y funcionando	\$ 12.500.000
FORMA DE PAGO	
+ 50% de anticipo contra orden de compra	
+ 25% a la entrega física de los equipos en la planta	
+ 25% contra entrega de la planta instalada y funcionando a satisfacción.	
el valor del IVA será agregado al facturar o se realizará un contrato de construcción con cuenta de cobro	

Carera 105 B 130 D 18 Bogotá DC –Tel 3114728379 Email repreagua ingeniería @hotmail.com-
planetazul.sos@gmail.com

ANEXO K COTAZACION EQUIPOS DE CONTROL HANNA INSTRUMENTS



Hanna Instruments S.A.S.
NIT: 900352772-2
Regimen Común - ICA Actividad Económica 204 - 11.04*1000 -
CIIU 4659 Tarifa de Retención Impuesto CREE 0,4%
Autoretenedores de Renta. Resolución 003346 del 24 de abril de 2015

COTIZACION N° 128090

Fecha : 27/03/2019 - Vigencia : 11/04/2019

Señores:	TRANSPORTES Y MUDANZAS LA SERRANIA S A S		
Atención:	Sr. DANIEL OSPINA GOMEZ	Fono: 2603560	Fax:

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, tenemos el agrado de enviar a usted cotización de acuerdo al siguiente detalle:

N°	Código	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio	Total
1	HI 3817	Test Kit combinado para Aguas <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$1.233.990	\$1.233.990
2	HI 3817BP	Kit para calidad del agua <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$1.930.990	\$1.930.990
3	HI 3887	Nuevo Test Kit Cloro Libre y pH <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$200.990	\$200.990
4	HI 3811	Test Kit de Alcalinidad (110 Tests) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$200.990	\$200.990
5	HI 3815	Test kit de Cloruro <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$195.990	\$195.990
6	HI 3812	Test Kit de Dureza, 0-300 ppm (100 tests) <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$125.990	\$125.990
7	HI 3834	Test Kit para Hierro 50 tests. <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$97.990	\$97.990

CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago	Contado	Neto	\$3.985.930
Lugar de Entrega	Según especificaciones informadas en orden de compra	IVA (19%)	\$757.517
Validaz Oferta	15 días, excepto para oferta de promociones especiales, en cuyo caso la validez estará determinada por el periodo de duración de la promoción	Total	\$4.744.447

Ventas Bogotá
HANNA Instruments
email: ventasbogota@hannacolombia.com
cel: (57 1) 518 9995 ext. 118

Camera 98 No 25G-10 Bodega 9 - Bogotá Colombia
email: ventas@hannacolombia.com
Teléfono: (571) 5189995 / 4154551

ANEXO L CALCULO DE DOSIFICACION DE COAGULANTE, FLOCULANTE, DESINFECTANTE Y NEUTRALIZANTE EN ppm

Para realizar el cálculo de la concentración de los reactivos químicos en la prueba de jarras del proyecto se sigue la ecuación 26.

Ecuación 31. Dosificación reactivos químicos.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Donde

C_1 = Dosificación del reactivo químico.

V_1 = Volumen de la jarra.

C_2 = Concentración inicial del reactivo químico.

V_2 = Volumen aplicado a la jarra.

Despejando la dosificación del reactivo químico se obtiene la expresión utilizada para la construcción de los cuadros empleados en el capítulo 3 en la selección y dosificación de coagulante, floculante, desinfectante y neutralizante.

$$C_1 = \frac{C_2V_2}{V_1}$$

Coagulantes:

- **Cloruro Férrico.** El cloruro férrico se prepara una solución al 1% equivalente a 10,000 ppm de $FeCl_3$, donde para una jarra con 800 ml de agua cruda se agregan 6 ml de esta solución obteniendo una dosificación de cloruro férrico de 75 ppm.

$$C_1 = \frac{10.000 \text{ ppm de } FeCl_3 * 6 \text{ ml}}{800 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 75 \text{ ppm de } FeCl_3$$

- **Hidroxiclорuro de aluminio.** El hidroxiclорuro de aluminio se prepara una solución al 1% equivalente a 10,000 ppm de PAC, donde para una jarra con 500 ml de agua cruda se agregan 0,69 ml de esta solución obteniendo una dosificación de hidroxiclорuro de aluminio de 13,8 ppm.

$$C_1 = \frac{10.000 \text{ ppm de } Al_2(SO_4)_3 * 0,69 \text{ ml}}{500 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 13,8 \text{ ppm PAC}$$

- **Sulfato de aluminio.** El hidroxiclorigenato de aluminio se prepara una solución al 1% equivalente a 10,000 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, donde para una jarra con 500 ml de agua cruda se agregan 1,25 ml de esta solución obteniendo una dosificación de sulfato de aluminio de 25 ppm.

$$C_1 = \frac{10.000 \text{ ppm de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 * 1,25 \text{ ml}}{500 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 25 \text{ ppm de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$$

Floculante (L-1569A). El floculante se tiene a una solución al 0,8% equivalente a 8,000 ppm de L-1569A, donde para una jarra con 800 ml de agua cruda se agregan 0.8 ml de esta solución obteniendo una dosificación de coagulante L-1569A de 8 ppm.

$$C_1 = \frac{8.000 \text{ ppm} * 0,8 \text{ ml}}{800 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 0,8 \text{ ppm}$$

Desinfectante (Hipoclorito de Calcio) El hipoclorito de calcio se prepara una solución al 1% equivalente a 10,000 ppm de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, donde para una jarra con 800 ml de agua cruda se agregan 0.3 ml de esta solución obteniendo una dosificación de hipoclorito de calcio de 3.75 ppm.

$$C_1 = \frac{10.000 \text{ ppm de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 * 0.3 \text{ ml}}{800 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 3.75 \text{ ppm de } \text{Ca}(\text{ClO})_2$$

Neutralizante (Hidróxido de Calcio) El hidróxido de calcio se prepara una solución al 1% equivalente a 10,000 ppm de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, donde para una jarra con 800 ml de agua cruda se agregan 0.2 ml de esta solución obteniendo una dosificación de cloruro férrico de 2.5 ppm.

$$C_1 = \frac{10.000 \text{ ppm de } \text{Ca}(\text{OH})_2 * 0.2 \text{ ml}}{800 \text{ ml}}$$

$$C_1 = 2.5 \text{ ppm de } \text{Ca}(\text{ClO})_2$$

**ANEXO M
INDICE DE WILLCOMB**

INDICE DE WILLCOMB	CLASIFICACION	DESCRIPCIÓN
0	Ausente	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible	Floc muy pequeño; casi imperceptible para un observador no entrenado
4	Disperso	Floc bien formado pero distribuido en toda la columna de agua. (Sedimentación excesivamente lenta o nula).
6	Claro	Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno	Floc que se deposita fácil y completamente.
10	Excelente	Floc que se deposita totalmente, dejando el agua cristalina.

ANEXO N
CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO EN SALUD SEGÚN EL IRCA POR MUESTRA, EL IRCA MENSUAL Y ACCIONES QUE DEBEN ADELANTARSE

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

ANEXO O
Valores de K para algunos tipos de impulsores (en régimen turbulento)

Tipo de impulsor (turbina)	K
Hélice de 2 o 3 aletas (ovoídes)	1,00
Turbina de 6 aletas planas (ovoídes)	6,30
Turbina de 6 aletas curvas (ovoídes)	4,80
Turbina ventilador de 6 aletas (ovoídes)	1,65
Turbina de 2 paletas planas (rectangulares)	1,70

Gradiente de diseño según tiempo de contacto

Tiempo de contacto (s)	G (s ⁻¹)
20	1.000
30	900
40	790
> 40	700