

**Desarrollo de una propuesta de mejoramiento para el
tratamiento de agua potable del municipio Abrego Norte
de Santander**



Jesús Johan Páez Páez

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Pamplona Norte de Santander, Colombia
2 Julio de 2020

Desarrollo de una propuesta de mejoramiento para el tratamiento de agua potable del municipio Abrego Norte de Santander



Jesús Johan Páez Páez

Trabajo de grado presentado para optar
como requisito parcial para optar como al
título de:

Ingeniero Químico

Director: MSc. Juan Pablo Mariscal Moreno.

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Pamplona Norte de Santander, Colombia
2 Julio de 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, mis tíos y demás familiares que han sido un gran apoyo tanto de manera emocional como económica para la realización de este periodo de estudios y de formación. También quiero dedicar este proyecto a mi tío Andrés y a mi padre Luis que a pesar de que ya no se encuentren hoy aquí, fueron un gran apoyo en los inicios de mis estudios, han sido gran parte de mi motivación para seguir adelante y sin ellos no habría tenido la fortaleza necesaria para afrontar todas las dificultades presentadas a lo largo de este camino fundamentales para seguir adelante.

Resumen

En este trabajo se realizó el diagnóstico y las propuestas de mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Abrego, Norte de Santander basado en la Resolución 082 del 2009 y la Resolución 2115 para el tratamiento de agua potable en Colombia. Se realizó mediante la evaluación de las plantas y sus operaciones unitarias, la determinación por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua potable y con estos datos se dio lugar al diseño de alternativas basadas en los requerimientos de las plantas de potabilización del municipio. La metodología que se planteó para este estudio fue tanto cuantitativa como cualitativa enfocándose más en un diseño cualitativo para este caso en particular. De los resultados obtenidos se identificó como problemas la falencia de equipos necesarios para el control de calidad del agua potable en las plantas de potabilización y la red de distribución, y problemas hidráulicos principalmente en las unidades de mezcla rápida y sedimentación.

Palabras clave: Calidad del agua potable, Mezcla rápida, Plantas de tratamiento de agua potable, Sedimentación.

Abstract

In this work, the diagnosis and improvement proposals were made for the drinking water treatment plants (PTAP) of the municipality of Abrego, Norte de Santander based on Resolution 082 of 2009 and Resolution 2115 for the treatment of drinking water in Colombia. It was carried out through the evaluation of the plants and their unit operations, the determination by means of physicochemical and microbiological analyzes of the quality of the drinking water and with these data the design of alternatives based on the requirements of the municipality's drinking water plants was carried out. The methodology that was proposed for this study was both quantitative and qualitative, focusing more on a qualitative design for this particular case. From the results obtained, the lack of equipment necessary for the quality control of drinking water in the drinking water treatment plants and the distribution network, and hydraulic problems, mainly in the fast mixing and sedimentation units, were identified as problems.

Keywords: Drinking water quality, Rapid mixing, Drinking water treatment plants, Sedimentation.

Listado de Figuras

Figura 1. Esquema general proceso de potabilización convencional (Rojas, 2015).	39
Figura 3. Tipos de floculadores (Arboleda, 2000; Romero Rojas, 1999).	41
Figura 4. Procedimiento para la determinación del concepto sanitario con los formularios de la Resolución 000082 del 2009 (Autor).	45
Figura 5. Ubicación geográfica planta de tratamiento Santa Lucía (Autor).....	55
Figura 6. Regla para la medición del nivel del agua que ingresa a la planta Santa Lucia (Autor).	56
Figura 7. Representación general de las dimensiones del resalto hidráulico (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).	56
Figura 8. Dosificador coagulante cloruro de polialuminio planta Santa Lucía (Autor).	57
Figura 9. Unidades de floculación con sus especificaciones generales (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).....	58
Figura 10. Unidad de sedimentación con sus dimensiones específicas (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).....	59
Figura 11. Unidad de pre-sedimentación planta Santa Lucía (Autor).	59
Figura 12. Unidades de filtración con sus dimensiones (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).	60
Figura 13. Unidades de filtración planta Santa Lucía (Autor).....	61
Figura 14. Cilindro de cloro y dosificador de cloro planta Santa Lucía (Autor).	62
Figura 15. Agitador prueba de jarras planta Santa Lucía (Autor).....	63
Figura 16. Incubadora modelo IN-010 (Autor).....	64
Figura 17. Sellador de muestras Quanti-Tray modelo 2x (Autor).....	64
Figura 18. Entrada y ubicación planta Casa de Teja (GoogleEarth, 2021).	65

Figura 19. Canaleta Parshall y sus dimensiones (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).	66
Figura 20. Dosificador de cloruro de polialuminio planta Casa de Teja (Autor).	67
Figura 21. Esquema de diseño floculador hidráulico de flujo horizontal con tabiques (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).	68
Figura 22. Esquema unidades de sedimentación de flujo horizontal y sus dimensiones (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).	69
Figura 23. Esquema de diseño filtros de alta tasa de lecho mixto arena-antracita planta Casa de Teja (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).	70
Figura 24. Unidad de filtración de alta tasa planta Casa de Teja (Autor).	70
Figura 25. Equipo prueba de jarras (Autor).	71
Figura 26. Sistema de bombeo planta Casa de Teja (Autor).	72
Figura 27. Vertedero rectangular con contracciones (Comisión nacional del Agua, 2007).	132
Figura 28. Mezclador mecánico de una sola cámara (Rivas & Bravo, 2016).	133
Figura 29. Formulario único de acta de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano aplicado a la planta Santa Lucía.	145
Figura 30. Formulario único de acta de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano aplicado a la planta Casa de Teja. ..	151
Figura 31. Certificado de concepto sanitario del servicio público de acueducto expedido por el IDS.	154
Figura 32. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en agosto del 2020.	156
Figura 33. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en noviembre del 2020.	158
Figura 34. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en diciembre del 2020.	160
Figura 35. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en enero del 2021.	162

Figura 36. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en marzo del 2021.164

Lista de Tablas

Tabla 1. Marco legal (Autor).....	27
Tabla 2. Tipos de plantas de Potabilización (AKC, 2021; Benito Velásquez & Valbuena Pascuas, 2015; Campos & Vargas, 2019; Fandiño Piamonte & Camargo Arcila, 2013; Gobernación de Norte de Santander, 2014b, 2014c; Ospina Gómez & Orjuela Barrero, 2019; Rivas & Bravo, 2016).....	29
Tabla 3. Límites máximos de los parámetros físicos del agua (Ministerio de la protección social, 2007).	31
Tabla 4. Límites permisibles de las características químicas del agua (Ministerio de la protección social, 2007)	33
Tabla 5. Límites permisibles de las características microbiológicas del agua según el tipo de técnica de análisis empleado (Ministerio de la protección social, 2007).	38
Figura 2. Tipos de unidades de mezcla rápida (Romero Rojas, 1999).	40
Tabla 6. Metodología de obtención y de trabajo de los datos históricos (Autor). ...	43
Tabla 7. Nivel de riesgo por puntaje de los valores IRCApp, IRABApp y BPSpp (Ministerio de la protección social, 2007).....	46
Tabla 8. Rangos de valores para determinar el concepto Sanitario por Persona Prestadora (Ministerio de la protección social, 2009).	46
Tabla 9. Diagnóstico dosificación de coagulante. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).....	48
Tabla 10. Diagnóstico unidad de mezcla rápida. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).....	48
Tabla 11. Diagnóstico de operación de las unidades de floculación de las plantas. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).	49
Tabla 12. Diagnóstico de las unidades de sedimentación. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).....	50
Tabla 13. Diagnóstico unidades de filtración Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).....	51

Tabla 14. Diagnóstico del proceso de desinfección. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).....	52
Tabla 15. Implementos de laboratorio de Santa Lucía (Autor).....	62
Tabla 16. Valores para el cálculo del IRABApp por formulario 082 del 2009 (Ministerio de la protección social, 2009).....	73
Tabla 17. Diagnóstico por formulario BPS de la planta Santa Lucía (Autor).....	74
Tabla 18. Diagnóstico por formulario BPS de la planta Casa de Teja (Autor).	75
Tabla 19. Concepto sanitario plantas Santa Lucia y Casa de Teja (Autor).....	78
Tabla 20. Parámetros para el diagnóstico hidráulico del vertedero Planta Santa Lucía (Autor).	79
Tabla 21. Parámetros de diseño hidráulico del vertedero Planta Santa Lucía (Autor).	79
Tabla 22. Parámetros para el diagnóstico hidráulico de la canaleta Parshall Planta Casa de Teja (Autor).....	80
Tabla 23. Parámetros de diseño hidráulico de la canaleta Parshall Planta Casa de Teja (Autor).....	80
Tabla 24. Tabla comparativa valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017 con los valores de diseño de las unidades de coagulación (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).	81
Tabla 25. Diagnóstico operativo de la dosificación de coagulante Planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).	82
Tabla 26. Diagnóstico operativo de la unidad de mezcla rápida de la Planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).	83
Tabla 27. Diagnóstico operativo de la dosificación de coagulante Planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).	84
Tabla 28. Diagnóstico operativo de la unidad de mezcla rápida de la Planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).	85
Tabla 29. Diagnóstico operativo de la unidad de floculación de la Planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).	86

Tabla 30. Diagnóstico operativo de la unidad de floculación de la Planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	87
Tabla 31. Parámetros de diseño hidráulico del presedimentador de la planta Santa Lucía (Autor).....	88
Tabla 32. Parámetros de diseño hidráulico de cada unidad de sedimentación de la planta Santa Lucía (Autor).....	89
Tabla 33. Parámetros de diseño hidráulico de cada unidad de sedimentación de la planta Casa de Teja (Autor).....	90
Tabla 34. Tabla comparativa valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017 con los valores de diseño de las unidades de sedimentación planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).....	90
Tabla 35. Tabla comparativa valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017 con los valores de diseño de las unidades de sedimentación planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).....	91
Tabla 36. Diagnóstico operativo de las unidades de sedimentación de la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	92
Tabla 37. Diagnóstico operativo de las unidades de sedimentación de la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	92
Tabla 38. Diagnóstico hidráulico de cada unidad de filtración de la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).....	94
Tabla 39. Diagnóstico hidráulico de cada unidad de filtración de la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).....	95
Tabla 40. Diagnóstico operativo de las unidades de filtración de la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	95
Tabla 41. Diagnóstico operativo de las unidades de filtración de la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	97
Tabla 42. Diagnóstico operativo de la desinfección en la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	99
Tabla 43. Diagnóstico operativo de la desinfección en la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).....	100

Tabla 44. Resultados análisis fisicoquímicos de muestras del agua tratada en la red de distribución.....	101
Tabla 45. Resultados análisis microbiológicos de muestras de agua tratada en la red de distribución.....	103
Tabla 46. Resumen diagnóstico de operaciones unitarias de la planta Santa Lucía (Autor).....	104
Tabla 47. Resumen diagnóstico de operaciones unitarias de la planta Casa de Teja (Autor).....	106
Tabla 48. Métodos de referencia para las propuestas del laboratorio de control (Autor).....	108
Tabla 49. Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo bajo (Autor).....	109
Tabla 50. Costo de inversión de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo bajo (Autor):.....	111
Tabla 51. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis fisicoquímicos diarios (Autor).	112
Tabla 52. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis fisicoquímicos quincenales propuesta de costo bajo (Autor).....	113
Tabla 53. Costos de inversión en cristalería propuesta de costo bajo y costo medio (Autor).....	114
Tabla 54. Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo medio (Autor).....	115
Tabla 55. Costo de inversión de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo medio (Autor):.....	116
Tabla 56. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis fisicoquímicos quincenales propuesta de costo medio (Autor).....	116
Tabla 57. Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo alto (Autor).....	118
Tabla 58. Costo de inversión de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo alto (Autor).....	118

Tabla 59. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de dureza costo alto (Autor).....	119
Tabla 60. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de alcalinidad costo alto (Autor).....	120
Tabla 61. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de hierro total costo alto (Autor).....	120
Tabla 62. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de cloruros costo alto (Autor).....	121
Tabla 63. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de aluminio costo alto (Autor).....	121
Tabla 64. Costos extra de inversión en cristalería para propuesta de costo alto (Autor).....	122
Tabla 65. Costos totales para cada una de las alternativas de laboratorio de control (Autor).....	124
Tabla 66. Presupuesto de equipos e implementos de seguridad de laboratorio para las dos plantas.....	124
Tabla 67. Equipos de medición de caudales y de nivel (Autor).	126
Tabla 68. Dispositivos complementarios para los macromedidores (Autor).	126
Tabla 69. Requisitos para la elaboración del manual operacional de las plantas (Ministerio de Vivienda, 2010).....	129
Tabla 70. Redimensionamiento del sedimentador de flujo horizontal planta Casa de Teja (Autor).....	133
Tabla 71. Comparativa con la Resolución 0330 del 2017 para el redimensionamiento del sedimentador de flujo horizontal planta Casa de Teja (Autor).....	134

Contenido

Dedicatoria.....	5
Resumen	7
Abstract.....	8
Listado de Figuras	9
Lista de Tablas.....	12
1. Objetivos.....	22
1.1. Objetivo general	22
1.2. Objetivos específicos	22
2. Planteamiento del problema y justificación	22
2.1. Planteamiento del problema.....	22
2.2. Justificación.....	24
3. Antecedentes	25
4. Marco teórico	27
4.1. Marco Legal	27
4.2. Agua superficial.....	28
4.3. Agua potable y sistema de potabilización de agua	28
4.4. Calidad del agua potable.....	30
4.5. Características del agua.....	30
4.5.1. Características físicas del agua.	31
4.5.1.1. Color.	31
4.5.1.2. Sabor y Olor.	31
4.5.1.3. Turbiedad.....	32
4.5.1.4. Conductividad.....	32
4.5.1.5. Temperatura.....	32
4.5.2. Características Químicas del agua.	33
4.5.2.1. Potencial de hidrógeno (pH).....	34
4.5.2.2. Cloro residual	35

4.5.2.3. Dureza	35
4.5.2.4. Alcalinidad.....	35
4.5.2.5. Nitratos y Nitritos	36
4.5.2.6. Hierro total.....	36
4.5.2.7. Aluminio	37
4.5.2.8. Carbono orgánico total (COT)	37
4.5.2.9. Características microbiológicas del agua.....	37
4.5.2.10. Coliformes Totales y Escherichia Coli.....	38
4.6. Procesos de potabilización.....	38
4.6.1. Coagulación.....	39
4.6.2. Floculación.....	40
4.6.3. Sedimentación.....	41
4.6.4. Filtración	42
4.6.5. Desinfección.....	42
5. Metodología	43
5.1. Evaluar funcionamiento de las plantas.....	43
5.1.1. Recolección de datos históricos.....	43
5.1.2. Visitas de campo.....	44
5.1.2.1. Diagnóstico por formularios de la Resolución 000082 del 2009.....	44
5.1.2.2. Inspección de diagnóstico proceso de coagulación.....	47
5.1.2.3. Inspección de diagnóstico proceso de floculación.....	49
5.1.2.4. Inspección de diagnóstico proceso de sedimentación.....	50
5.1.2.5. Inspección de diagnóstico proceso de filtración.....	50
5.1.2.6. Inspección de diagnóstico proceso de desinfección.....	51
5.2. Determinar la calidad del agua potable por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.....	53
5.2.1. Recolección de datos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.....	53
5.2.1.1. Datos de valores IRCA reportados para el municipio Abrego Norte de Santander por el INS.....	53
5.2.1.2. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el Instituto Departamental de Salud.....	53
5.3. Proponer alternativas de mejoramiento del tratamiento de agua potable realizado en el municipio de Abrego Norte de Santander.....	53
5.3.1. Propuestas de alternativas de mejoramiento.....	53

5.3.1.1. Desarrollo de alternativas según el tipo de problemas identificados.	54
5.3.1.2. Estudio inversión para cada alternativa planteada.	54
5.3.1.3. Identificación de alternativas más viables para las plantas de tratamiento del municipio de Abrego.	54
6. Resultados y análisis	54
6.1. Diagnóstico plantas de las plantas de tratamiento.	54
6.1.1. Características del proceso planta Santa Lucía	54
6.1.1.1. Unidad de mezcla rápida-Coagulación.	55
6.1.1.2. Dosificador	56
6.1.1.3. Floculación.	57
6.1.1.4. Sedimentación.	58
6.1.1.5. Filtración.	60
6.1.1.6. Cloración	61
6.1.1.7. Laboratorio	62
6.1.2. Características del proceso planta de tratamiento Casa de Teja.	64
6.1.2.1. Mezcla rápida-Coagulación.	65
6.1.2.2. Dosificador.	66
6.1.2.3. Floculación.	67
6.1.2.4. Sedimentación.	68
6.1.2.5. Filtración.	69
6.1.2.6. Cloración.	70
6.1.2.7. Laboratorio.	71
6.1.2.8. Sistema de bombeo.	71
6.1.3. Diagnóstico por formularios 082 del 2009.	72
6.1.3.1. Índice IRCApp promedio del agua tratada de las plantas de potabilización.	72
6.1.3.2. Valor IRABApp en las plantas de potabilización.	72
6.1.3.3. Diagnóstico por formularios de Buenas Prácticas Sanitarias (BPS) para las plantas de potabilización.	73
6.1.3.4. Concepto sanitario de las Plantas Santa Lucia y Casa de Teja.	78
6.1.4. Diagnóstico de las operaciones unitarias de las plantas.	79
6.1.4.1. Diagnóstico del proceso de coagulación.	79
6.1.4.2. Diagnóstico proceso de floculación.	86
6.1.4.3. Diagnóstico proceso de sedimentación.	88

6.1.4.4. Diagnóstico proceso de Filtración.....	94
6.1.4.5. Diagnóstico proceso de desinfección.	98
6.2. Determinación de la calidad del agua potabilizada mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos.	101
6.2.1. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el Instituto Departamental de Salud (IDS).	101
6.3. Alternativas de mejoramiento.	104
6.3.1. Implementación de equipos de laboratorio para el control de calidad.	108
6.3.1.1. Propuesta de bajo costo.	109
6.3.1.2. Propuesta de medio costo.	115
6.3.1.3. Propuesta de alto costo.	117
6.3.1.4. Selección de la alternativa más adecuada de acuerdo a las capacidades de la USPA.	123
6.3.1.5. Otros aspectos a implementar para el laboratorio.	124
6.3.2. Alternativas equipos para los procesos unitarios de potabilización de las plantas.	125
6.3.3. Alternativa de mejoramiento de carácter operacional.....	128
6.3.3.1. Manejo de la información.	128
6.3.3.2. Salud ocupacional, seguridad y personal.	131
6.3.4. Alternativas de mejoramiento de carácter hidráulico.	131
6.3.4.1. Alternativa de mejoramiento hidráulico para mezcla rápida.	132
6.3.4.2. Alternativas de mejoramiento hidráulico de la unidad de sedimentación.	133
7. Conclusiones	135
8. Recomendaciones y perspectivas	137
9. Anexos.....	139
Anexo A: Formularios de la Resolución 082 del 2009 diligenciados.	139
Anexo B: Certificados de concepto sanitario para persona prestadora por el IDS.	152
Anexo C: Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución realizados por el IDS.	154
10. Bibliografía	165

1. Objetivos.

1.1. Objetivo general.

Desarrollar una propuesta de mejoramiento en el tratamiento de agua potable del municipio Abrego Norte de Santander, siguiendo los lineamientos que propone la Resolución 082 del 2009 y la Resolución 2115 del 2007.

1.2. Objetivos específicos.

- Evaluar el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas del municipio.
- Determinar la calidad del agua potable por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos que permitan conocer la calidad del agua a partir de muestreos de agua tratada en la planta.
- Proponer alternativas de mejoramiento del tratamiento de agua potable realizado en el municipio de Abrego Norte de Santander.

2. Planteamiento del problema y justificación.

2.1. Planteamiento del problema.

Cerca de 38 millones de personas no poseen un acceso de agua de buena calidad para el consumo humano, que contribuye a la aparición de enfermedades por fuentes hídricas en países latinoamericanos y del caribe (Guzmán-Barragán et al., 2015). Según la Organización Mundial de la Salud, en Colombia para el año 2015, se estimó que el 97% de la población nacional contaba con un servicio básico de

agua potable en donde el 86% correspondía a la población rural y el 100% a la urbana. En cuanto a un servicio mejorado de agua potable se estimó que el 71% de la población a nivel nacional contaba con este, siendo el 40% de la población rural y el 88% de la población urbana el porcentaje de la población que hacía parte de dicho servicio (World Health Organization, 2017).

De un informe realizado por el Instituto Nacional de Salud (INS) en el año 2018, se evidenció que el 30,3% de los departamentos de la nación presentaron un nivel de riesgo medio y el 3% de los departamentos un nivel de riesgo alto en la calidad del agua que estaba siendo consumida. Los departamentos de nivel de riesgo medio corresponden al Amazonas, Bolívar, Chocó, Guainía, Magdalena, Meta, Nariño, Putumayo, Tolima y Vichada, y en el departamento de Vaupés corresponde al departamento con un nivel de riesgo alto (Instituto Nacional de Salud, 2018).

En Mahates, Malagana, Mandinga, San Basilio de Palenque y San Joaquín pueblos pertenecientes al departamento del Bolívar, se evidenció la mala calidad del agua de las fuentes hídricas y del agua entregada a la población para el consumo. En todos los casos el valor del Índice de Riesgo de Calidad del Agua para consumo humano (IRCA) presentó un valor de 100 indicando agua de una calidad inviable sanitariamente. El problema de la calidad de agua inviable en estos municipios tuvo que ver con valores de metales pesados, de dureza del agua y de coliformes totales y *E. Coli* por encima de los permitidos, que se presentaron debido a la contaminación de las fuentes hídricas, la corrosión de tuberías y la falta de operaciones de tratamiento del agua potable (Martínez-García et al., 2019). En el caso del municipio de Abrego Norte de Santander el IRCA urbano obtenido por el IDS en el año 2018 fue de 31,58 con un nivel de riesgo medio indicando la mala calidad del agua consumida en el casco urbano para este año (Instituto Nacional de Salud, 2018).

Otro factor importante en la calidad del servicio de agua potable es la continuidad del servicio por parte de las empresas del sector público de agua potable. Un problema que experimentan municipios de escasos recursos como el municipio Monacal del departamento de Boyacá, es la falta de presupuesto y la desviación de recursos económicos a otros proyectos no relacionados al servicio de agua potable por parte de los entes gubernamentales del municipio, que evitan el desarrollo de proyectos relacionados al mejoramiento del abastecimiento del agua potable (Buitrago Méndez, 2015).

En el municipio de San Calixto, Norte de Santander se evidencian problemas relacionados a la falta de continuidad del agua potable, conexiones clandestinas en

el sistema de abastecimiento que también afecta dicha continuidad, calidad del agua potabilizada de riesgo alto debido a la falta de control en el tratamiento por parte de la empresa de servicios públicos y la falta de proyectos relacionados al mejoramiento del sistema de acueducto del municipio (Guerrero Arengas & Muñoz Avendano, 2017).

Las plantas de tratamientos de agua potable (PTAP) pertenecientes a la Unidad de Servicios Públicos de Abrego Norte de Santander (USPA), presenta problemas operativos como la falta de control en la calidad del agua del agua cruda, antes, durante y después del proceso de potabilización, y la falta de control en el funcionamiento operaciones unitarias de potabilización de las plantas. Otro de los problemas que presenta el servicio de agua potable en el municipio de Abrego es la falta de recursos económicos debido a las bajas ganancias obtenidas del servicio y la falta de presupuesto destinado a la USPA. Por último, la continuidad del servicio es intermitente en el municipio provocando que la población no posea un suministro de agua estable gran parte del tiempo.

2.2. Justificación.

El suministro de agua potable de baja calidad puede provocar en la población problemas de salud como enfermedades, insuficiencia laboral debido a estas enfermedades, un aumento en los gastos de salud, corrosión de tuberías que pueden afectar aún más la calidad de prestación del servicio, así como un aumento de los gastos para la reparación de la red de acueducto que presente este problema y malas condiciones medioambientales (De Sousa et al., 2010; Guzmán et al., 2015; OMS, 2019).

Es por esto que es necesario plantear una propuesta de mejoramiento para la calidad del agua que produce la Unidad de Servicios Públicos de Abrego (USPA), que implique la implementación de un manejo de normas prácticas por parte de la empresa que garantice un control, un buen manejo de los procesos de tratamiento de potabilización y el monitoreo de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua. La finalidad del proyecto es dar a conocer los problemas que presenta la planta de tratamiento y las alternativas para la solución de estos problemas a los encargados de la planta les permitan proveer un mejor servicio de agua potable. Este proyecto es una propuesta y diagnóstico a partir de criterios de ingeniería. Los planes de mejoramiento contemplados en esta propuesta pretenden incluir medidas que sean pertinentes, que se ajusten no sólo con las características

técnicas, con la infraestructura disponible y principalmente, con los presupuestos para sistemas de baja complejidad en pequeños municipios del país como es el caso del municipio de Abrego, Norte de Santander.

3. Antecedentes.

En un trabajo preliminar realizado por Palacio en la empresa de servicios públicos del municipio de Abrego Norte Santander, se realizó la primera aproximación técnica para el mejoramiento de las plantas de potabilización Casa de Teja y Santa Lucía (Palacio, 2019). Para este proyecto se realizó una inspección a las unidades de pretratamiento y tratamiento de las dos plantas de potabilización del municipio, y la información referente a las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua tratada anteriormente. En las visitas se detectó que las dos plantas de tratamiento no contaban con el equipo necesario para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. También realizó un diagnóstico de las plantas con formularios de la Resolución 082 del 2009 en donde se identificó la ausencia de manuales de operación y de seguridad para los empleados, medidores de caudales de salida de las plantas y sin tratamiento de lodos en las plantas. Identificó un riesgo alto teniendo en cuenta el criterio IBARA para las dos plantas. Como alternativas, el autor propuso la elaboración de tanques con mayores capacidades para proveer a la población del servicio en tiempos de sequía, también propuso la instalación de medidores de caudal, instalación de medidores de caudal electrónicos en los canales de entrada de las plantas, instalación de un dosificador para la cloración, sustitución de floculante a sulfato de aluminio, tratamiento de lodos y mantenimiento de lechos filtrantes.

García Bautista y Correa Bellido en su trabajo de grado formularon una propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de La Palma Cundinamarca (García Bautista & Correa Bellido, 2018). Para el diseño metodológico de su trabajo contemplaron la recolección de información que presentan las plantas del municipio como planos, registros, bitácoras entre otros. También realizaron las pruebas de laboratorio necesarias para la determinación de la calidad del agua. De estos datos se hizo el análisis basado en los requerimientos de la resolución 2115 del 2007, la RAS 2000 y la resolución 330 del 2017 RAS, y con base a esto se hicieron la propuesta de alternativas de mejoramiento. El monitoreo de las características fisicoquímicas como turbiedad, color, pH, olor y

sabor fueron realizadas de manera diaria para determinar la calidad del agua que estaba siendo potabilizada y la variación de esta durante la operación de las dos plantas. De los resultados obtenidos identificaron un incumplimiento de la resolución 2115 del 2007 de los valores del monitoreo diario del parámetro turbidez. Como propuesta de mejoramiento se planteó el diseño de un nuevo floculador que cumpliera con las especificaciones exigidas por la norma RAS. Este floculador se propuso de tipo hidráulico de flujo horizontal para remplazar el floculador mecánico debido a que es más económico en cuanto a los costos de operación, de mantenimiento y cumple con la resolución 0330 del 2017.

Cruz Rico y Samacá Sanabria realizaron un estudio para el diseño de una propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca (Cruz Rico & Samacá Sanabria, 2019). El desarrollo de este trabajo de investigación se realizó en tres fases para lograr definir la propuesta de optimización de la PTAP. En la primera fase realizaron un diagnóstico del funcionamiento de planta mediante una inspección visual de las diferentes operaciones unitarias con el fin de identificar el estado físico de las instalaciones, pruebas de tratabilidad para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante por medio de la prueba de jarras, pruebas hidráulicas, operativas, pruebas fisicoquímicas y microbiológicas a la entrada y salida de las diferentes operaciones unitarias con el fin de conocer la calidad del agua en los distintos procesos y la demanda de cloro en el proceso de cloración. En la segunda fase se realizó. Para la segunda fase realizaron las propuestas de alternativas con base al diagnóstico de la fase uno, analizaron el cumplimiento normativo de los distintos aspectos diagnosticados y realizaron el diseño de las alternativas según el presupuesto y los requerimientos de la planta. En la fase tres se evaluó las diferentes alternativas por medio de una matriz de evaluación basado en criterios económicos, ambientales y operativos. De las caracterizaciones de los muestreos encontraron valores de cloro residual por encima y por debajo de la norma, de los cuales los que se encontraban debajo del mínimo exigido presentaban crecimiento de coliformes totales y E. Coli. Debido a que los problemas encontrados eran relacionados a la dosificación de hipoclorito propusieron tres alternativas: cámara de contacto de cloro, gaseoso alimentado al vacío y cloro gaseoso alimentado a presión. Encontraron con la matriz de evaluación que la alternativa más beneficiosa fue la de cámara de contacto de cloro pues presentó un valor mayor a las demás.

4. Marco teórico.

4.1. Marco Legal.

Los decretos y resoluciones que debe cumplir una empresa de servicios de agua potable que permitan proveer un servicio eficiente y de calidad teniendo en cuenta aspectos operativos, de diseño, de mantenimiento, de control, de calidad del agua y la continuidad de esta, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Marco legal (Autor).

Norma	Fecha desde la cual aplica la norma	Título	Descripción de la norma	Aplica para
Decreto 1575	9 de mayo de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	El Decreto 1575 da los lineamientos que se deben cumplir para garantizar el control eficiente de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que responsables deben cumplir dicho decreto y el papel que deben cumplir dichos responsables en el control de calidad	Personas Prestadoras del servicio de agua potable, direcciones territoriales de salud, autoridades sanitarias, autoridades ambientales y usuarios
Resolución 2115	22 de junio de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano	Esta norma establece los límites permisibles de los parámetros, físicos, químicos y microbiológicos que definen el agua potable apta para consumo humano	Personas prestadoras, direcciones territoriales de salud, autoridades sanitarias y ambientales
Resolución 000082	16 de enero de 2009	Por medio de la cual se adoptan unos formularios para las visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de	Presenta una serie de formularios que permiten el diagnóstico del servicio prestado tanto por las personas prestadoras como del municipio en general en donde se esté	Entidad sanitaria a nivel departamental o municipal y Persona Prestadora

Norma	Fecha desde la cual aplica la norma	Título	Descripción de la norma	Aplica para
		agua para consumo humano	realizando el diagnóstico en función de la calidad del agua suministrada, la continuidad del servicio y las prácticas ejecutadas en las plantas de potabilización.	
Resolución 0330	8 de junio de 2017	Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS	La RAS es un conjunto de requerimientos técnicos que deben cumplir el sector de agua potable y de saneamiento básico, en cuanto al diseño de sus procesos, la operación de estos, entre otros aspectos técnicos	Prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, a las entidades formuladoras de proyectos de inversión en el sector, entes de vigilancia y control, entidades territoriales y demás con funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico

4.2. Agua superficial.

Los tipos de agua usados principalmente para potabilización son aguas de tipo superficial y aguas subterráneas. Las aguas superficiales son masas de agua que se encuentran situadas sobre superficies de la tierra provocando que esta tenga un contacto directo con la atmósfera. Dentro de los tipos de aguas superficiales se puede encontrar, los ríos, las lagunas, las charcas, humedales, entre otros. Debido a que estas aguas se encuentran al aire libre pueden encontrarse contaminadas dependiendo las condiciones de los alrededores, es por esto que es necesario un tratamiento a este tipo de agua para el consumo humano (Carrillo, 2011).

4.3. Agua potable y sistema de potabilización de agua.

El agua potable es aquella cuyas características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas están dentro los límites permitidos por la normativa para que esta no

suponga un riesgo a la salud de la población (Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018). El agua potable debe ser apta para usos domésticos, el aseo personal, preparación de alimentos y para el consumo directo sin afectar la salud de la persona que la está usando, ya sea a corto plazo o a largo plazo. Aspectos normativa relacionados con la calidad el agua potable en Colombia están incluidos principalmente en el Decreto 1575 del 2007, la Resolución 2115 del 2007, la Resolución 0330 del 2017-RAS y la Resolución 082 del 2009 (Bernal Useche, 2018).

El agua dulce presente en el mundo es suficiente para abastecer a la población humana, pero requiere de un tratamiento para que este recurso sea apto para el consumo. En Colombia el agua potable es un derecho fundamental que no está siendo cumplido en totalidad, debido a la corrupción, al uso ineficiente del recurso, la falta de instituciones focalizadas en el tratamiento del agua, la falta de inversión, la falta de profesionales competentes y de infraestructura en buen estado (Echeverría Molina & Anaya Morales, 2018).

Para el suministro de agua potable se requiere de un conjunto de operaciones que permitan la disminución o eliminación de las sustancias contaminantes que están presentes en el agua cruda y de esta manera transformarla en agua apta para el consumo humano. Un sistema de potabilización de agua es aquel conjunto de procesos y operaciones unitarias que dan lugar a la producción de agua apta para consumo humano que pueda ser empleado en servicios públicos e industriales. Estos sistemas de potabilización deben proveer a los usuarios agua de manera eficiente prestando especial atención a la calidad, cantidad, continuidad y confiabilidad de esta (Valverde Valenzuela, 2018).

Los sistemas de potabilización se pueden clasificar de tres maneras según las unidades empleadas, distribución y características operativas tal como se muestra en la Tabla 2. Estas plantas se emplean en aguas bastante contaminadas y se usan en sistemas con complejidad media y alta. La planta compacta es aquella en la que varias operaciones se desarrollan en una sola unidad, son prefabricadas y se usan en espacios pequeños. Por último, las plantas de filtración directa son similares a las plantas convencionales, pero presentan ausencia de las unidades de sedimentación y filtración (Ospina Gómez & Orjuela Barrero, 2019).

Tabla 2. Tipos de plantas de Potabilización (AKC, 2021; Benito Velásquez & Valbuena Pascuas, 2015; Campos & Vargas, 2019; Fandiño Piamonte & Camargo Arcila, 2013; Gobernación de Norte de Santander, 2014b, 2014c; Ospina Gómez & Orjuela Barrero, 2019; Rivas & Bravo, 2016).

Tipo de planta	Descripción de la planta	Municipios o ciudades que la poseen
Convencional	Plantas con unidades del proceso separadas, no limitadas por las condiciones del influente empleadas para aguas contaminadas	Chocontá, Purificación, Cúcuta, Ocaña, Pamplona
Compacta	Plantas prefabricadas en donde todos los procesos de potabilización se llevan a cabo en una sola unidad	Villarrica, Mongua, Guapotá, Cali
Filtración Directa	Modificación de la planta convencional que omite las unidades de floculación y sedimentación	Bogotá, Altavista

4.4. Calidad del agua potable.

La calidad del agua según el Decreto 1575 del 2007 es el producto de la comparación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua con las características exigidas por la norma que regulan la potabilización del agua. La calidad del agua es un aspecto muy importante a tener en cuenta en la potabilización del agua pues determina si el agua es apta para el consumo humano en función de las concentraciones de patógenos y sustancias contaminantes presentes en ella. El control de la calidad del agua es una prioridad al momento de proveer agua que cumpla con la normativa vigente. El control de calidad es aquel conjunto de actividades para el diagnóstico y evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas que posee el agua que está siendo tratada, con el fin de mantener una calidad del agua que no afecte la salud de la población que la consume. Además, que permite predecir y corregir cualquier problema que se presente en el tratamiento y el suministro del agua (Valencia Cuesta, 2016).

4.5. Características del agua.

Al determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua se puede conocer el estado en el que esta se encuentra, permitiendo identificar si esta cumple con los parámetros exigidos por la norma y en el caso de no ser cumplidos

saber cuáles de estos son los que requieren especial atención en el tratamiento del agua.

4.5.1. Características físicas del agua.

Las características físicas del agua son todas aquellas que son percibidas por los sentidos o por instrumentos de medida que permitan determinarlas (Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018). Para el agua estas características son el color, el olor, el sabor, la turbiedad, la temperatura, los sólidos y la conductividad. Los límites permisibles según la Resolución 2115 de 2007 para las características físicas del agua apta para consumo humano se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Límites máximos de los parámetros físicos del agua (Ministerio de la protección social, 2007).

Característica	Unidades	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
Conductividad	Microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1000

4.5.1.1. Color.

El color en el agua es debido comúnmente a la presencia de minerales de hierro y manganeso, la materia orgánica del suelo, maderas, hojas, raíces y de organismos acuáticos presentes en el agua. El color por los sólidos en suspensión que posee se puede clasificar en color verdadero y color aparente (Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018). El color aparente es aquel que se presenta cuando el agua que se examina aún posee partículas en suspensión y disueltas sin haber sido filtrado en un filtro de 0,45 micras. El color verdadero es aquel color resultado de los sólidos disueltos después de la separación de las sustancias orgánicas en suspensión en un filtro de 0,45 micras (Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017).

4.5.1.2. Sabor y Olor.

El sabor y olor son efectos de la presencia de materia orgánica en descomposición disuelta en el agua y de sustancias químicas volátiles. El criterio de evaluación para el olor y sabor es si es aceptable o no dependiendo de si es detectable o no para el ser humano (Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017). El sabor y olor son de gran importancia pues son un factor que determinan la aceptabilidad del agua suministrada al consumidor, permite la detección de posibles fuentes de contaminación y el control de los procesos llevados a cabo en las plantas de potabilización (Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018).

4.5.1.3. Turbiedad.

La turbidez es aquella propiedad que se presenta debido a la presencia de sólidos en suspensión de diferentes tamaños, desde materiales coloidales en suspensión, arcillas, materia orgánica, inorgánica, minerales y microorganismos, que provocan una adsorción y refracción de la luz en estas partículas. Para la cuantificación de la turbidez se usan equipos como nefelómetros que mide la turbidez del agua en unidades de turbidez nefelométrica (NTU). La turbidez es un buen indicativo de la eficiencia en la remoción de sólidos en un tratamiento de agua potable aumenta en proporción con la concentración de sólidos en el fluido según la intensidad de luz que estas suspensiones dispersan. La turbidez es muy importante en los procesos de potabilización pues permite determinar la eficiencia de los sedimentadores, las unidades de floculación, coagulación y las unidades de filtración (Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018; Pérez López, 2010; Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017).

4.5.1.4. Conductividad.

La conductividad en agua es la capacidad de conducción de carga eléctrica debida a iones disueltos en el cuerpo del agua. Esta propiedad depende de la presencia de los iones en el agua, su concentración, movilidad, valencia y temperatura (Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018). Para medir la conductividad del agua se emplea un instrumento conocido como conductímetro (Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017). Si los valores de conductividad son mayores al 50% de los valores habituales hay un indicio de grandes cantidades de sólidos disueltos en el agua (Ministerio de la protección social, 2007).

4.5.1.5. Temperatura.

La temperatura es un parámetro que afecta en gran medida la calidad del agua potabilizada. La temperatura puede afectar aspectos como velocidades de reacción, viscosidad, densidades, los procesos de coagulación, la desinfección, sedimentación, filtración y el crecimiento de microorganismos en el agua. (Carrillo, 2011; Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017).

4.5.2. Características Químicas del agua.

El agua contaminada con sustancias químicas nocivas puede provocar enfermedades crónicas como el cáncer, alteraciones neuronales, enfermedades reproductivas entre otras. La mayoría de sustancias químicas presentes en el agua destinada al consumo humano presentan efectos adversos a la salud de gran riesgo bajo exposiciones prolongadas de estos compuestos, pero en algunos casos la presencia de algunas sustancias químicas puede producir problemas en la salud a corto plazo (Silva et al., 2015).

Por los motivos anteriores es de gran importancia en el control de calidad del agua el identificar dichas sustancias disueltas en el agua y tratarlas con el fin de evitar cualquier enfermedad en la salud a la población consumidora. Los límites permisibles para cada característica química que posee el agua se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Límites permisibles de las características químicas del agua (Ministerio de la protección social, 2007)

Característica	Máximo aceptable (mg/L)
pH	6,5-9
Cloro Residual Libre	0,3-2
Alcalinidad Total	200
Calcio	60
Fosfatos	0,5
Manganeso	0,1
Molibdeno	0,07
Magnesio	36
Zinc	3
Dureza Total	300
Sulfatos	250
Hierro Total	0,3
Cloruros	250

Característica	Máximo aceptable (mg/L)
Nitratos	10
Nitritos	0,1
Aluminio	0,2
Fluoruros	1
COT	5
Antimonio	0,02
Arsénico	0,01
Bario	0,7
Cadmio	0,003
Cianuro libre y disociable	0,05
Cobre	1
Cromo total	0,05
Mercurio	0,001
Níquel	0,02
Plomo	0,01
Selenio	0,01
Trihalometanos Totales	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	0,01

4.5.2.1. Potencial de hidrógeno (pH).

El potencial de hidrógeno (pH) indica la concentración de iones hidronio (H^+) presentes en una solución acuosa. Es entonces el pH una medida estandarizada para la cuantificación de la acidez de una sustancia permitiendo determinar si es una sustancia acida o básica (Pérez López, 2010; Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017). En los procesos de tratamiento del agua el pH es de gran importancia, en especial en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. En los procesos de coagulación el pH es de gran influencia en su efectividad, esto es debido a que muchos coagulantes requieren unos valores óptimos de pH para la remoción de turbiedad y el color, estando en rangos de 6 a 7,8 para la turbiedad y el color entre 4 y 6 para la remoción del color. Estos valores pueden variar según el tipo de coagulante y las características de agua cruda, es por esto que para estos procesos se requiere la determinación de un pH óptimo para un funcionamiento

efectivo del coagulante (Arboleda, 2000; Caicedo Cardenas & Suarez Cruz, 2018; Santa Cruz Alarcón, 2016).

4.5.2.2. Cloro residual.

En los procesos de potabilización del agua es importante eliminar ciertos patógenos presentes en el agua cruda con el fin de evitar posibles enfermedades en la población. El cloro es un desinfectante muy usado en la potabilización del agua pues puede controlar el crecimiento de microorganismos patógenos. La utilización de este desinfectante puede ser problemática debido a que reacciona con muchas sustancias químicas orgánicas e inorgánicas presentes en el agua que reducen su concentración en el tiempo y disminuyendo así su efectividad en la eliminación de patógenos. Otro problema en la utilización del cloro para la desinfección es la formación de subproductos de desinfección potencialmente dañinos (DBPs) donde algunos son cancerígenos y pueden afectar a la salud del consumidor. Es por estas razones que la entidad encargada de suministrar el servicio de agua potable debe hacer un control de la cantidad de cloro presente en el agua (Goyal & Patel, 2015). El cloro que se encuentra presente en el agua tratada después de alcanzar el punto de rotura (breakpoint) se conoce como cloro residual que puede presentarse como cloro residual libre y cloro residual combinado. El cloro residual libre está conformado por el ácido hipocloroso y el ion hipoclorito; y el cloro constituido por cloraminas es el cloro combinado (Quiros, 2005).

4.5.2.3. Dureza.

La dureza es un parámetro de fundamental en los estudios de calidad del agua pues la dureza del agua puede provocar problemas como incrustaciones en tuberías, dispositivos de cocina, dispositivos industriales, sistemas de suministro de agua, problemas en la salud de las personas, entre otros. La dureza es originada por la presencia de cationes de magnesio, calcio y en menor proporción a cationes de otros metales como el hierro y el aluminio en el agua (Malakootian et al., 2010). La dureza total se considera generalmente como la suma de las sales de calcio y magnesio y se expresa como equivalente del carbonato de calcio (CaCO_3) en partes por millón (ppm) (Lagger et al., 2000; Pulido Sanchez & Alonso Rios, 2017).

4.5.2.4. Alcalinidad.

La alcalinidad del agua determina la capacidad que posee el agua para neutralizar ácidos manteniendo un pH que sea estable. Esta característica del agua está dada por compuestos como bicarbonatos, hidróxidos y carbonatos, que se encuentran presentes en el agua debido a sales, a ciertas actividades de las plantas y a rocas como la piedra caliza que puede producir en el agua grandes cantidades de carbonato de calcio (Addy et al., 2004). La capacidad de neutralización de la alcalinidad se debe definir para ciertos rangos de pH, tal es el caso en el análisis por alcalinidad con naranja de metilo (TAC) que mide la capacidad de neutralización hasta 4,5 y la alcalinidad con fenolftaleína hasta un pH de 8,3 (Carrillo, 2011). La Resolución 2115 del 2007 indica que el valor máximo permitido de alcalinidad total en una muestra de agua potable es de 200 mg/L (CaCO_3).

4.5.2.5. Nitratos y Nitritos.

Los nitratos y nitritos presentes en aguas superficiales son efecto de la utilización de abonos y fertilizantes en diversos cultivos cercanos a la fuente de agua, de residuos fecales en el agua y de aguas residuales industriales que ingresan al agua superficial (van den Brand et al., 2020).

Sustancias como los nitratos y nitritos que ingresan al organismo de los consumidores en el agua potable son fácilmente adsorbidos en el sistema digestivo. La adsorción del nitrato tiene como efecto su conversión a nitrito que da lugar a la formación de metahemoglobina (van den Brand et al., 2020). La metahemoglobina en altas concentraciones en el organismo puede provocar enfermedades como la metahemoglobinemia, que afecta el sistema respiratorio de bebés, teniendo como efecto la deficiencia de oxígeno y a su vez la presencia de hematomas en ellos. En adultos la consecuencia de altas concentraciones de nitratos y nitritos es la formación de enfermedades como el cáncer en el sistema digestivo y de excreción. En mujeres embarazadas la exposición prolongada y en altas concentraciones de nitratos provoca el aborto (Martínková et al., 2014; Rezaei et al., 2019).

4.5.2.6. Hierro total.

La presencia de hierro en el agua se debe a la filtración de este de rocas y minerales que se disuelven en el agua. (Haldar et al., 2020). El hierro es un elemento importante para el organismo humano pues hace parte de la hemoglobina, mioglobina, citocromo, muchas proteínas y enzimas del metabolismo. Una deficiencia de este compuesto puede provocar enfermedades como la anemia, pero en grandes concentraciones puede llegar a ser tóxico (Pavlovská et al., 2015). El

hierro en el agua produce problemas como un mal sabor, problemas de turbidez, decoloración del agua, fomenta el crecimiento bacteriano y el bloqueo de tuberías. A pesar de estos problemas, como ya se mencionó previamente, el hierro es un nutriente de gran importancia y se debe garantizar la ingesta de esta sustancia en el agua potable (Hashim et al., 2017).

4.5.2.7. Aluminio.

El aluminio es un metal tóxico para los seres humanos. En el agua potable últimamente se está viendo un aumento de este elemento, debido a muchos factores como el aluminio que contiene el agua cruda, a la descarga de desechos al agua cruda y los residuos de aluminio en el agua al emplear coagulantes de aluminio. El aluminio tiene efectos en la salud humana como la osteodistrofia renal, una contribución en síndromes de encefalopatía, osteomalacia, anemia, y problemas en el sistema nervioso (Panhwar et al., 2016). El aluminio es además un neurotóxico, que en algunos casos ha demostrado la incidencia de enfermedades como el Al Alzheimer (Van Dyke et al., 2021).

4.5.2.8. Carbono orgánico total (COT).

La concentración de materia orgánica natural o NOM por sus siglas en inglés puede presentar problemas en la salud humana. De la NOM se puede encontrar el carbono orgánico total (COT). El COT es precursor de subproductos nocivos de la desinfección como los trihalometanos que son cancerígenos. Otro de los problemas que presenta la gran concentración de COT en agua potable es que este facilita el crecimiento de microorganismos (Hashempour et al., 2020). Por estas razones el carbono orgánico total es un parámetro de gran importancia para el control de calidad del agua potable (Ministerio de la protección social, 2007).

4.5.2.9. Características microbiológicas del agua.

La presencia de microorganismos en aguas para la potabilización requiere de una especial atención. Para proveer agua potable que sea apta para el consumo humano se debe reducir o eliminar ciertos microorganismos patógenos presentes en las aguas crudas que son usadas para la obtención del agua potable. Las características microbiológicas que se deben monitorear y controlar para la producción de agua que no suponga de un riesgo para la salud humana son la presencia de *Escherichia Coli*, Coliformes Totales, entre otros.

4.5.2.10. Coliformes Totales y *Escherichia Coli*.

Las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes se presentan en grandes cantidades en heces de animales y de los seres humanos. Al ser bacterias presentes en heces de animales son un buen indicativo de la presencia de contaminación fecal en el agua (Tambi et al., 2016). Dentro de los coliformes fecales el que tiene mayor predominancia es la *Escherichia Coli*, pues las altas concentraciones de estas bacterias en el agua indican la contaminación fecal del agua. Enfermedades como la fiebre tifoidea, hepatitis, gastroenteritis y disentería (Clarke et al., 2017). Los coliformes y las *E. Coli* por las razones anteriores son empleados como indicadores de la contaminación del agua cruda, de la ineficiencia en la desinfección y de la contaminación en las redes de distribución por heces (Fateme et al., 2014). Dependiendo del tipo de técnica de análisis para determinar los Coliformes Totales y el *E. Coli*, hay ciertos límites que establece la Resolución 2115 del 2007 que indican agua apta para el consumo humano.

Tabla 5. Límites permisibles de las características microbiológicas del agua según el tipo de técnica de análisis empleado (Ministerio de la protección social, 2007).

Técnica empleada	Coliformes Totales	Escherichia Coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< 1 microorganismo en 100 cm ³	< 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

4.6. Procesos de potabilización.

Para que el producir agua que cumpla con los estándares de calidad de agua potable, se requiere de una serie de procesos fisicoquímicos para la reducción y eliminación de muchos contaminantes tales como los mencionados anteriormente. Un sistema de potabilización tiene que estar adaptado a las necesidades de tratamiento adecuados y económicos según las características del agua cruda que se desea tratar (Navarro & Castellanos, 2019; Romero Rojas, 1999). Los procesos

unitarios más fundamentales y comunes en plantas convencionales se presentarán y explicarán en toda esta sección.

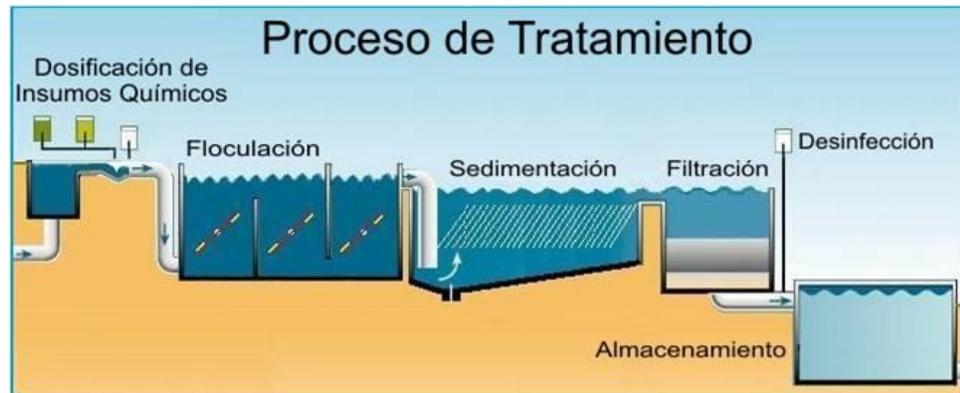


Figura 1. Esquema general proceso de potabilización convencional (Rojas, 2015).

4.6.1. Coagulación.

El proceso de coagulación consiste en la utilización de sustancias que desestabilizan las partículas suspendidas en el agua empleando sustancias conocidas como coagulantes (Restrepo Osorno, 2009). Dentro de los tipos de coagulantes empleados comúnmente en procesos de coagulación están los coagulantes metálicos que pueden ser sales de aluminio y sales de hierro. Las sales más usadas de aluminio son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio. Como coagulante el cloruro de polialuminio es más beneficiosos en los procesos de coagulación en comparación a los coagulantes convencionales de sales de aluminio como el sulfato de aluminio y las sales de hierro, pues su rendimiento es mejor a bajas temperaturas, hay menores residuos de aluminio, tienen un efecto más leve en el pH del agua, la presencia de lodos es de menor volumen y un proceso de floculación que es más rápido (Arboleda, 2000; Zhang et al., 2017).

En los procesos de coagulación hay ciertos factores que influyen en la eficiencia del proceso, como el pH del agua, el tipo de coagulante, la dosis de coagulante para la desestabilización eficiente, la turbiedad del agua que a pequeños valores de esta se requiere mayor cantidad de coagulante, la concentración de coagulante, el punto de aplicación de dicha sustancia cuya dispersión es mejor en el punto de mayor turbulencia, la energía y el tiempo de mezcla que deben ser suficientes para una buena dispersión del coagulante e el tiempo requerido (Rivas & Bravo, 2016).

Además de la selección del tipo de coagulante, es fundamental la implementación de un equipo para la mezcla rápida en la coagulación que tiene por función la dispersión rápida y uniforme del coagulante en la masa de agua cruda a tratar. Los tipos de mezcla rápida más usados en los procesos de potabilización son los mezcladores hidráulicos y los mezcladores mecánicos (Romero Rojas, 1999).. Estos mezcladores se muestran en la Figura 2.

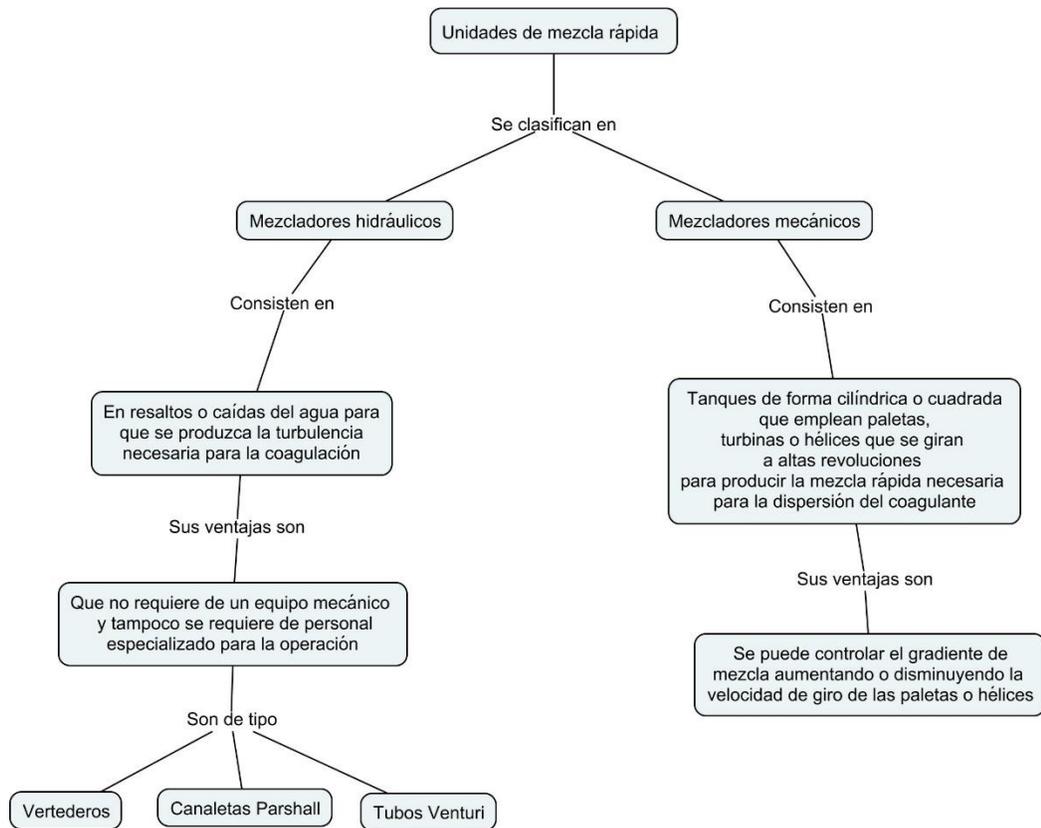


Figura 2. Tipos de unidades de mezcla rápida (Romero Rojas, 1999).

4.6.2. Floculación.

La floculación es un proceso esencial en la potabilización de agua cruda pues ayuda a eliminar partículas contaminantes coloidales en suspensión (Ma et al., 2019). Para que se dé la formación de flóculos se requiere de una mezcla que sea suave para propiciar el contacto de los coloides desestabilizados sin romper los flóculos que se estén formando, de lo contrario si la agitación es muy fuerte se romperán los flóculos disminuyendo la eficiencia del proceso de floculación y también de los procesos posteriores. Existen dos tipos de procesos de floculación, los floculadores

hidráulicos y mecánicos. Dentro de los floculadores hidráulicos se puede encontrar floculadores de flujo horizontal, flujo vertical que consisten de pantallas o tabiques que generan en el agua un flujo de derecha a izquierda para los floculadores de flujo horizontal y un flujo de arriba a abajo para los floculadores verticales. Otros tipos de floculadores son los floculadores Alabama y los floculadores de flujo helicoidal (Rivas & Bravo, 2016).

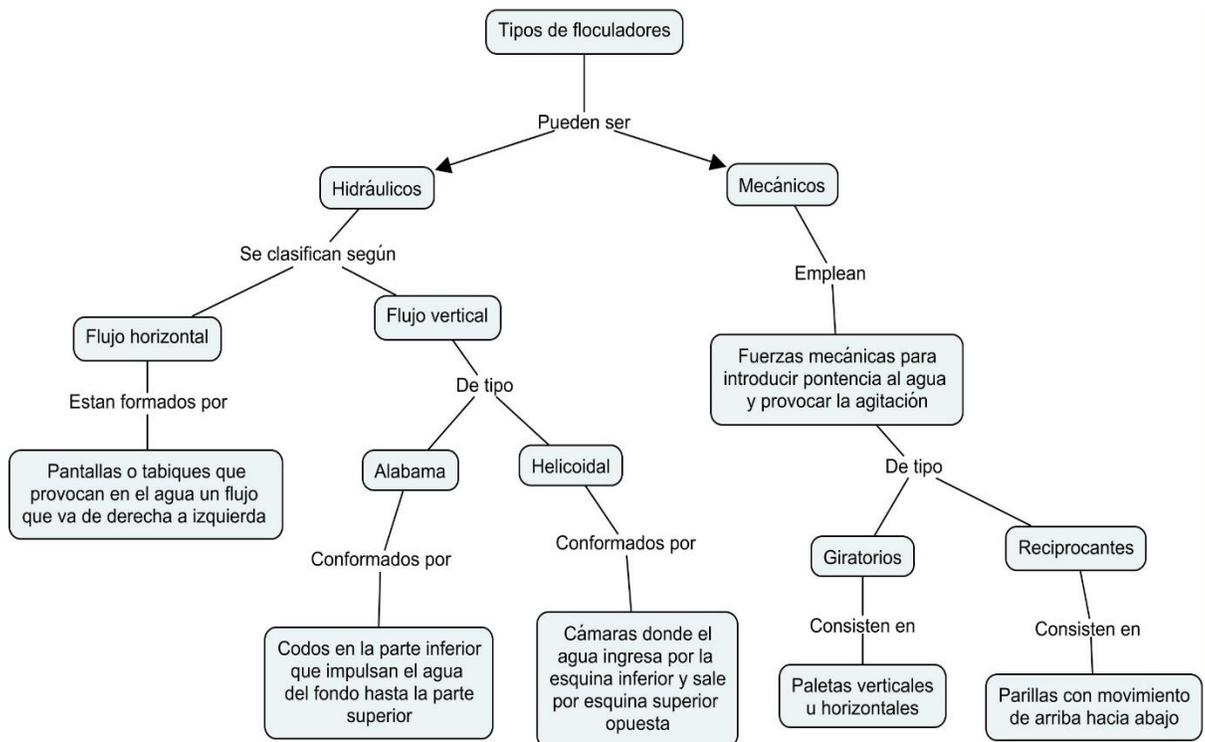


Figura 3. Tipos de floculadores (Arboleda, 2000; Romero Rojas, 1999).

4.6.3. Sedimentación

La sedimentación es una separación de partículas sólidas en suspensión de una fase líquida en este caso el agua a purificar empleando la fuerza de la gravedad para depositar en el fondo estas partículas. En la sedimentación se da la separación de partículas más densas que el agua, que son provenientes ya sea del agua cruda que ingresa a la planta, o por presencia de flóculos formados en el proceso de coagulación y floculación. La eficiencia de un proceso de sedimentación depende de muchos factores tales como las variaciones de concentración de las partículas, la propiedad de las partículas, las variaciones de temperatura que alteran la densidad del agua, alteraciones en las zonas de salida y entrada del sedimentador

que pueden afectar su funcionamiento hidráulico, la carga superficial, y factores operacionales y de mantenimiento (Arteaga Benavides, 2019).

Los tipos de sedimentación pueden ser de partículas discretas en donde ninguna partícula presente tiene interacción entre ellas mismas y el líquido, las partículas floculantes que son producto de la formación de flóculos de mayor tamaño y peso que las partículas iniciales, zonales o inferidas en donde la sedimentación es interferida por la cercanía de las partículas, y por último esta la sedimentación por comprensión que se da en suspensiones de alta concentración. Los tanques de sedimentación pueden ser de forma rectangular y circular, pero por su eficiencia son más usados los sedimentadores rectangulares. Dentro de los sedimentadores se pueden encontrar los sedimentadores de flujo horizontal, los sedimentadores de flujo y los sedimentadores de mantos de lodos (Rivas & Bravo, 2016).

4.6.4. Filtración

La filtración es un proceso que consiste en la separación de partículas coloidales y en suspensión que no se han podido separar en los procesos previos de clarificación del agua. En la filtración el lecho filtrante y sus características determinaran la efectividad del proceso, pues el tamaño de las partículas del lecho, el tipo del lecho y el peso de los granos que influirá en la capacidad de purificación del efluente del filtro, la cantidad de agua para el lavado y el tiempo de carrera en la filtración (Perea-Torres et al., 2013).

Los filtros pueden ser de dos tipos dependiendo de la fuerza impulsora que provoque el paso del agua por el lecho, estos son los filtros por gravedad y los filtros de presión. La ventaja de la utilización de filtros por gravedad es que son más económicos, en su operación y mantenimiento en comparación a los filtros por presión, siendo recomendados para plantas con baja complejidad. Los filtros por gravedad se clasifican en filtros lentos y filtros rápidos. Los filtros rápidos son de los tratamientos por filtración de agua potable más usados en plantas potables y esto es debido al poco espacio que ocupan. Estos filtros requieren de etapas previas de clarificación como la coagulación, la floculación y la sedimentación. Los filtros lentos no requieren de procesos de coagulación previas, se usan en aguas poco turbias y requiere de lechos de arena fina para su operación (Tar, 2016).

4.6.5. Desinfección.

Los procesos de desinfección son fundamentales en el tratamiento del agua para fines de consumo humano, pues permite la eliminación de organismos patógenos que transmiten enfermedades peligrosas para la salud humana. Los desinfectantes que son más usados en la desinfección son el cloro y sus derivados como: el hipoclorito de sodio, el dióxido de cloro y las cloraminas. Aunque estos desinfectantes son muy efectivos en la eliminación de los microorganismos patógenos, al ser oxidantes fuertes pueden reaccionar con la materia orgánica natural presente en el agua, produciendo productos de la desinfección perjudiciales y por lo tanto es de gran importancia el buen control del proceso de desinfección (Li et al., 2011; Zhao et al., 2012).

5. Metodología

En esta sección se presenta el diseño metodológico del presente estudio, que están organizados de acuerdo a cada objetivo específico planteado que dará lugar a la realización y cumplimiento de estos.

5.1. Evaluar funcionamiento de las plantas.

5.1.1. Recolección de datos históricos.

Los datos históricos que se tendrán en cuenta para la evaluación de las plantas Santa Lucía y Casa de Teja, se encuentran recopilados en la Tabla 6. Estos datos son de gran importancia porque permiten conocer el funcionamiento que se lleva dando en las plantas, problemas que se han presentado y como están estructuradas tanto física como operacionalmente.

Tabla 6. Metodología de obtención y de trabajo de los datos históricos (Autor).

Documento	Fuente	Utilidad	Observaciones	Procesamiento de la información
Mapa de riesgo de aguas crudas	Instituto departamental de Salud (IDS), 2020	Comparación de datos históricos con los límites permisibles de las fuentes hídricas para identificar riesgos y parámetros de especial control	Los datos del mapa de riesgo solo se realizan anualmente	Tablas comparativas en Excel en función de cada parámetro físico, químico y microbiológico
Memorias técnicas de diseño y planos de las plantas	Unidad de Servicios Públicos de Abrego (USPA)	Parámetros de diseño de los equipos de mezcla rápida, floculadores, sedimentadores, filtros y unidades de cloración de las plantas de agua potable	Actualmente la unidad no cuenta con dicha información	Los parámetros de los equipos se dispondrán a detalle para el diagnóstico hidráulico de cada operación
Bitácoras de autocontrol	Unidad de Servicios Públicos de Abrego (USPA)	Determinar la variación del caudal, de los parámetros fisicoquímicos y las observaciones reportadas previas	Solo se está controlando el caudal que ingresan a las plantas, las observaciones realizadas y el consumo de cloro en el día	Se determinará las cantidades de cloro consumidas se plasmarán en tablas y se graficarán
Registro y manuales de mantenimiento	Unidad de Servicios Públicos de Abrego (USPA)	Conocer los tipos de mantenimiento, a que equipos y la frecuencia de los mantenimientos realizados.	No hay manuales de mantenimiento	En el diagnóstico se presentará los tipos de mantenimiento realizados, en que fechas y en que unidades

5.1.2. Visitas de campo.

5.1.2.1. Diagnóstico por formularios de la Resolución 000082 del 2009.

Se emplearán los formularios de la Resolución 000082 del 2009 usados en las visitas para los diagnósticos realizados por las entidades sanitarias. Estos formularios contemplan aspectos como el estado físico de las plantas, su seguridad industrial, la continuidad del servicio de agua potable, si los operarios de las plantas están calificados para su labor, la presencia de instrumentación adecuada en las plantas, el control de calidad que se realiza, el estado de los laboratorios contemplando que cuenten con todos los equipos necesarios de análisis, si el manejo de la información es adecuada en las plantas, mantenimiento y buena operación en las redes de distribución. Estos diagnósticos permitirán conocer el concepto sanitario de las plantas según los datos obtenidos de los formularios por el Instituto Nacional de Salud (INS).

El procedimiento a llevar para el diagnóstico empleando los formularios de la Resolución 000082 del 2009 se representa en la Figura 4.

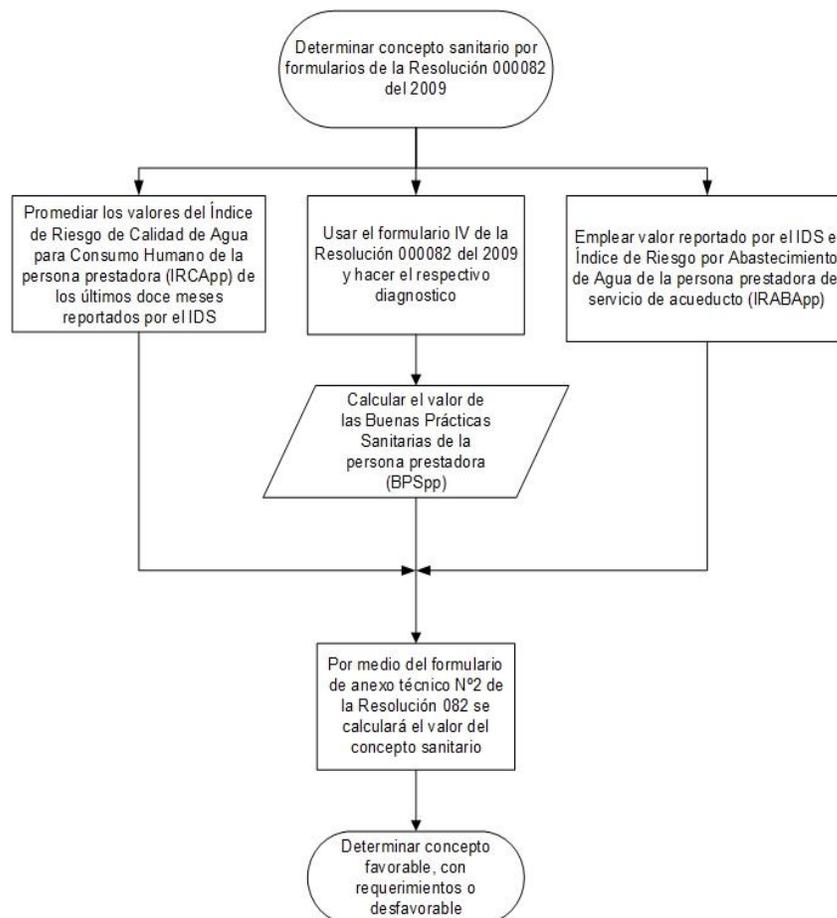


Figura 4. Procedimiento para la determinación del concepto sanitario con los formularios de la Resolución 000082 del 2009 (Autor).

Para determinar el nivel de riesgo que presenta cada resultado del Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano de la persona prestadora (IRCA_{pp}), el Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua de la persona prestadora (IRABA_{pp}) y el valor de las Buenas Prácticas Sanitarias de la persona prestadora (BPS_{pp}) se emplea la Tabla 7 en donde se presenta un cuadro con los rangos de valor con su respectivo concepto de nivel de riesgo.

Tabla 7. Nivel de riesgo por puntaje de los valores IRCA_{pp}, IRABA_{pp} y BPS_{pp} (Ministerio de la protección social, 2007).

Riesgo	IRCA_{pp}	IRABA_{pp}	BPS_{pp}
Muy Alto-Inviabile Sanitariamente	80,1-100	70,1-100	71-100
Alto	35,1-80	40,1-70	41-70
Medio	14,1-35	25,1-40	25-40
Bajo	5,1-14	10,1-25	11-24
Sin riesgo	0-5	0-10	0-10

El concepto sanitario de las plantas Santa Lucia y Casa de Teja se calculará con la Ecuación 1 para la persona prestadora que en este caso es la Unidad de Servicios Públicos de Abrego (USPA).

Ecuación 1. Concepto sanitario por Persona Prestadora (Ministerio de la protección social, 2009).

$$Puntaje = 0,5 * IRCA_{pp} + 0,2 * IRABA_{pp} + 0,3 * BPS_{pp}$$

Los rangos que se usarán para determinar si se tiene un concepto sanitario de la USPA es favorable, favorable con requerimientos y desfavorable se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Rangos de valores para determinar el concepto Sanitario por Persona Prestadora (Ministerio de la protección social, 2009).

Concepto Sanitario	Rango de puntuación
Favorable	0-10

Concepto Sanitario	Rango de puntuación
Favorable con requerimientos	10,1-40
Desfavorable	40,1-100

5.1.2.2. Inspección de diagnóstico proceso de coagulación.

Los formularios de la resolución 000082 del 2009 permiten conocer los diferentes problemas que presentan las plantas de tratamiento de manera general, es por eso que se requiere un diagnóstico detallado y más enfocado en las diferentes unidades de potabilización de las plantas Casa de Teja y Santa Lucía, que permitan definir de manera más precisa los diferentes problemas que presenta cada unidad de tratamiento.

Otro aspecto que se diagnosticará será el cumplimiento del ensayo de jarras que describe la norma INCONTEC NTC 3903 y la sección C 2.5.1 del Título C del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), para el cumplimiento de los estándares de calidad del agua (pH, turbiedad y color) exigidos en el Decreto 1575 del 2007 y la Resolución 2115 del 2007 del proceso de coagulación, por medio de la definición de la dosis de coagulante óptimo para tipo de mezcla rápida usada. Con la información obtenida de los planos de la planta se definirá el cumplimiento de la Resolución 0330 del 2017 en los mezcladores que se encuentren en las plantas, como sus parámetros de diseño y si el punto de aplicación del coagulante es el correcto (lugar de mayor turbulencia).

Se evaluará el control de los procesos de coagulación en las plantas según la manera como se está realizando la dosificación para los aspectos presentados en la Tabla 9 y el control de la unidad de mezcla rápida según los aspectos presentados en la Tabla 10.

Tabla 9. Diagnóstico dosificación de coagulante. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).

Dosificación		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Dosificadores en buen estado					
Determinación de la cantidad de coagulante óptimo a aplicar					
Preparación soluciones de manera adecuada					
Hay curvas de calibración y calibración del dosificador					
Dilución y tiempo de retención correctos					
Dosificador alterno					
Punto de aplicación bien escogido en el mayor punto de turbulencia					
Preparación y almacenamiento de soluciones patrón concentradas					
Sala de dosificación limpia y ordenada					

Tabla 10. Diagnóstico unidad de mezcla rápida. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).

Mezcla rápida		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Correcta aplicación del coagulante					
Sin sobrecarga					
Buena distribución de flujos sin turbulencias ni restricciones después de la aplicación del coagulante					

Mezcla rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Buen estado de estructuras y equipos					

5.1.2.3. Inspección de diagnóstico proceso de floculación.

Para las operaciones de floculación en las plantas de agua potable, se tendrá en cuenta los parámetros de diseño identificados en la subactividad de memorias técnicas de diseño y planos de las plantas, se comprobará su funcionamiento real determinando los gradientes de velocidad de mezcla en las diferentes zonas de floculación y los tiempos de retención hidráulica y se comparará con el valor de estos parámetros exigidos por el artículo 112 de la Resolución 0330 del 2017.

Para el control de operación de las unidades de floculación se evaluarán los siguientes aspectos presentados en la Tabla 11.

Tabla 11. Diagnóstico de operación de las unidades de floculación de las plantas. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).

Floculación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Sin problemas hidráulicos					
Sin sobrecarga					
Buena distribución de flujos					
Sin filtraciones					
Buena interconexión entre estructuras					
Sin sedimentación					
Oportuna limpieza y lavado					
Leve formación de espuma y flotantes					
Buena formación del floc					
Buen estado de estructuras					
Gradiente óptimo adecuado según las pruebas de jarras					

5.1.2.4. Inspección de diagnóstico proceso de sedimentación.

Según los parámetros de diseño y el tipo de sedimentadores obtenidos en la subactividad de la obtención de memorias técnicas de diseño y planos de las plantas se compararán con los valores de la carga superficial, tiempo de retención hidráulica y velocidad de sedimentación reales para verificar que se esté dando el buen funcionamiento de las unidades de sedimentación con base a los estipulados en el diseño y en el artículo 113 de la resolución 0330 del 2017 RAS.

El diagnóstico de control del sedimentador se hará en función del tipo de sedimentador para cada planta. Algunos aspectos de la Tabla 12 no se aplicarán para los sedimentadores que no sean de alta tasa de placas paralelas, para dichos casos se marcará la casilla No aplica (N/A).

Tabla 12. Diagnóstico de las unidades de sedimentación. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).

Sedimentación		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Sin defectos de entrada o salida					
Recolección nivelada					
Sin sobrecarga					
Sin filtraciones					
Sin putrefacción de lodos					
Sin excesiva cantidad de algas					
Entrada vertical hacia las placas					
Placas completas y en buen estado					
Mantenimiento de limpieza y lavado					
Moderado paso de floc al filtro					
Buen estado de la estructura					

5.1.2.5. Inspección de diagnóstico proceso de filtración.

El diagnóstico de los filtros empleados en las plantas de tratamiento se hará basado en el artículo 114 de la Resolución 0330 del 2017, el tipo de filtros obtenido de

entrevistas a los trabajadores, sus dimensiones obtenidas de trabajos previos y de mediciones en campo. Con estos datos se hará un diagnóstico hidráulico para comprobar que los filtros están diseñados bajo las especificaciones de diseño que establece la Resolución 0330 del 2017.

Para el diagnóstico de la unidad de filtración se tendrán en cuenta los aspectos que se presentarán en la Tabla 13 para el diagnóstico.

Tabla 13. Diagnóstico unidades de filtración Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).

Filtración rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Buena distribución de flujos					
Válvulas en buen estado de operación					
Operación de lavado por turbiedad o pérdida de carga					
Lavado cuidadoso para no dañar el lecho filtrante					
Carreras largas de filtración					
Cada filtro tiene medidor de pérdida de carga					
Medición de calidad del agua filtrada					
Sin sobrecargas					
Filtraciones					
Baja presencia de algas					
Equipos y estructuras en buen estado					
Filtración uniforme en el lecho de filtración					

5.1.2.6. Inspección de diagnóstico proceso de desinfección.

Se comprobará que en las plantas se hace determinación de la dosis de desinfectante óptimo a emplear según el artículo 121 de la Resolución 0330 del 2017 RAS y las curvas de demandas de cloro. En el diagnóstico se tendrán en

cuenta otros aspectos como el registro del consumo de cloro en las plantas, que la distancia del clorador a los cilindros sea lo más corta que se pueda, la presencia de una báscula para determinar la cantidad de cloro remanente en los cilindros y que la entidad que provee los cilindros de cloro este cumpla con los requisitos de la norma INCONTEC NTC 925. También se tendrán en cuenta aspectos de seguridad como el uso del equipo de seguridad (gafas de seguridad, mascara de gases, overol y guantes). Estos aspectos de diagnósticos y otros más serán presentados en la Tabla 14.

Tabla 14. Diagnóstico del proceso de desinfección. Adaptado de (Ministerio de Vivienda, 2010).

Desinfección		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Existe tanque de contacto de cloro					
Dosificadores calibrados					
Se determina la demanda de cloro					
Tanque sin filtraciones					
Se mide el residual de cloro a la salida del tanque de contacto					
Equipos y estructuras en buen estado					
Cuarto de cloración bien ventilado, aireado y de fácil acceso para el cambio de los cilindros					
Uso de implementos de seguridad apropiados					
Procedimientos de seguridad apropiados para el cambio de los cilindros de cloro					
Registro consumo de cloro					

Determinar la calidad del agua potable por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

5.1.3. Recolección de datos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

5.1.3.1. Datos de valores IRCA reportados para el municipio Abrego Norte de Santander por el INS.

De los reportes del Instituto Nacional de Salud (INS) se tomarán los valores IRCA reportados para la persona prestadora (USPA) de la calidad del agua obtenida en los últimos 12 meses. Estos valores se agruparán en una tabla en Excel donde se especifique la fecha del análisis, el valor de los IRCA para cada fecha y el nivel de riesgo que presenta el agua potabilizada, además del valor promedio del IRCA para determinar el IRCApp.

5.1.3.2. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el Instituto Departamental de Salud.

Se obtendrán los valores de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos reportados a la USPA por el Instituto Departamental de Salud (IDS) precedente a los doce meses anteriores al comienzo de las prácticas, y también los valores que sean reportados a la USPA durante los cuatro meses de realización de estas.

Todos estos valores se organizarán en tablas de Excel donde se especifique la fecha del análisis, el tipo de parámetro medido (físico, químico o microbiológico), el valor del parámetro que debe cumplir según la Resolución 2115 del 2007 y si una columna donde especifique si hay cumplimiento o no de la resolución. También todos estos valores se compararán con los parámetros de riesgo del agua cruda del mapa de riesgo, para identificar si hay un cumplimiento en la reducción que este dentro de los valores indicados en la Resolución 2115 del 2007 en el agua ya tratada.

5.2. Proponer alternativas de mejoramiento del tratamiento de agua potable realizado en el municipio de Abrego Norte de Santander.

5.2.1. Propuestas de alternativas de mejoramiento.

5.2.1.1. Desarrollo de alternativas según el tipo de problemas identificados.

Se hará un desarrollo de alternativas que provean un mejoramiento al servicio de agua potable según el tipo de problema presentado. Estas alternativas pueden ser de carácter operacional, de mantenimiento, adecuación de equipos, adquisición de equipos, entre otros correspondientes a los tipos de problemas presentados.

5.2.1.2. Estudio inversión para cada alternativa planteada.

En esta subactividad se realizará un estudio del presupuesto necesario para implementar cada una de las alternativas desarrolladas, esto con el fin de identificar la propuesta que se adecue de mejor manera a la capacidad de inversión de la USPA. Se elaborarán presupuestos para diferentes escenarios con el fin de darle a la empresa insumos técnicos para evaluar posibles inversiones a corto, mediano y largo plazo.

5.2.1.3. Identificación de alternativas más viables para las plantas de tratamiento del municipio de Abrego.

Se identificará aquella o aquellas alternativas que sean más viables teniendo en cuenta el grado de beneficio que provee a las plantas, a la calidad del agua potabilizada, el nivel de inversión que se requiere para la implementación de dichas propuestas. Los motivos de la implementación de las propuestas se argumentarán a mayor profundidad al finalizar este escrito.

6. Resultados y análisis

6.1. Diagnóstico plantas de las plantas de tratamiento

6.1.1. Características del proceso planta Santa Lucía

La planta Santa Lucía es una planta ubicada en la región suroeste de la cabecera municipal de Abrego Norte de Santander, en la zona rural conocida como Santa Lucia, de ahí el nombre de la planta. Esta planta es de tipo convencional que cuenta

con una captación de agua superficial en el río Oroque y está diseñada para trabajar un caudal de 50 L/s o 180 m³/h. Posee un desarenador como unidad de pretratamiento y las instalaciones cuentan con las unidades de tratamiento para potabilización: coagulación, floculación, sedimentación, filtración, cloración y tanques para el almacenamiento del agua tratada.



Figura 5. Ubicación geográfica planta de tratamiento Santa Lucía (Autor).

6.1.1.1. Unidad de mezcla rápida-Coagulación.

La unidad de mezcla rápida que se emplea en la planta es un resalto hidráulico con vertedero para la mezcla del coagulante cloruro de polialuminio en solución. Para la medición del caudal que ingresa a la planta por esta unidad se emplea una regla que mide el nivel del agua a tratar, es de plástico y puede producir errores en la medición del caudal debido a su mal estado y también al no estar bien fijada a la pared del mezclador.



Figura 6. Regla para la medición del nivel del agua que ingresa a la planta Santa Lucia (Autor).

La Figura 7 representa las dimensiones del resalto y del vertedero para las cuales fue diseñada la unidad de mezcla rápida.

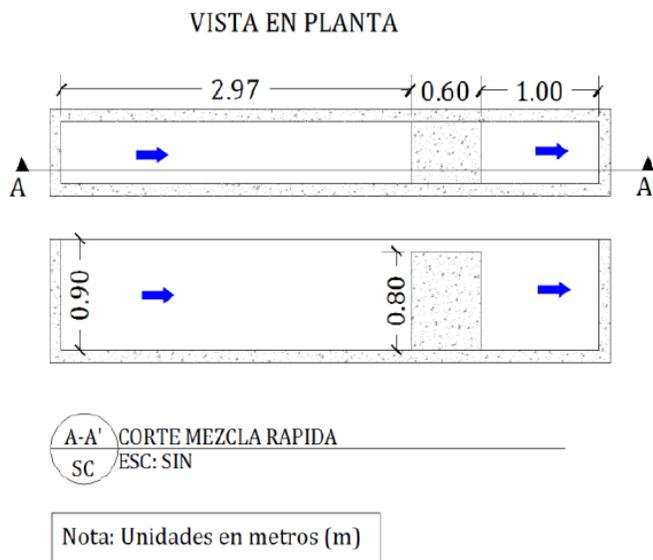


Figura 7. Representación general de las dimensiones del resalto hidráulico (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).

6.1.1.2. Dosificador

El dosificador empleado en la planta está conformado por una serie de tres recipientes de pintura de 20 L compuestos de polipropileno de alta densidad (HDPE) conectados con tubería PVC de ½ pulg y una bomba que lleva el cloruro de polialuminio del recipiente en donde se introduce la solución hasta un recipiente que se encuentra en la parte más alta del dosificador para mover el coagulante por medio de la fuerza gravitacional. Para la medición del caudal que se está dosificando se utiliza el método volumétrico que consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente hasta cierto volumen y del cociente de estos dos valores se determina el caudal de dosificación del coagulante. El caudal de coagulante a suministrar se lleva por una tubería PVC hasta la unidad de mezcla rápida en donde se dispersa el coagulante.



Figura 8. Dosificador coagulante cloruro de polialuminio planta Santa Lucía (Autor).

6.1.1.3. Floculación.

El proceso de floculación en la planta se da en dos unidades de floculación hidráulica cuyo fin es la reducción del gradiente de velocidad de mezcla que evita el rompimiento del floculo. El largo total de cada unidad es de 7,2 m y el ancho es de 2,38 m, siendo en total un ancho de 4,76 m. Las dimensiones específicas de las unidades de floculación se muestran en la Figura 9.

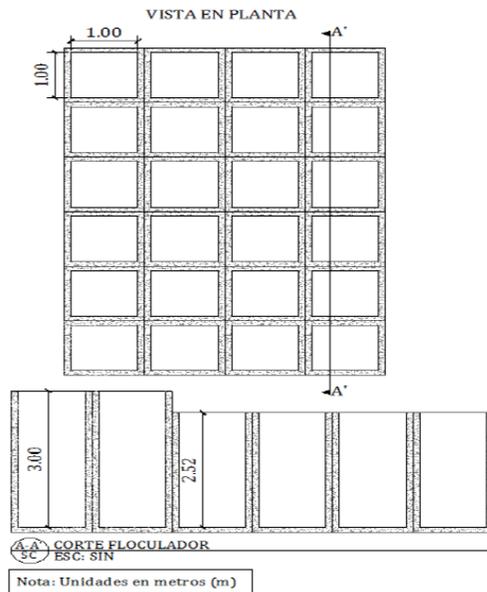


Figura 9. Unidades de floculación con sus especificaciones generales (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).

6.1.1.4. Sedimentación.

En la planta la sedimentación se da en sedimentadores de flujo horizontal de alta tasa. La primera operación es de pre-sedimentación en donde se sedimentan los sólidos sedimentables del agua cruda antes del proceso de coagulación y consta de una sola unidad. La segunda operación se encarga de la sedimentar los flóculos formados en la floculación mediante dos unidades de sedimentación. Las dimensiones totales de la unidad de pre-sedimentación son de 2,95 m de ancho y de 4,95 m de largo. Las dimensiones de las unidades de sedimentación posteriores a la floculación se muestran en la Figura 10. Los lodos formados en depositados del presedimentador y los sedimentadores, no son tratados y son desechados aguas abajo del río Oroque.

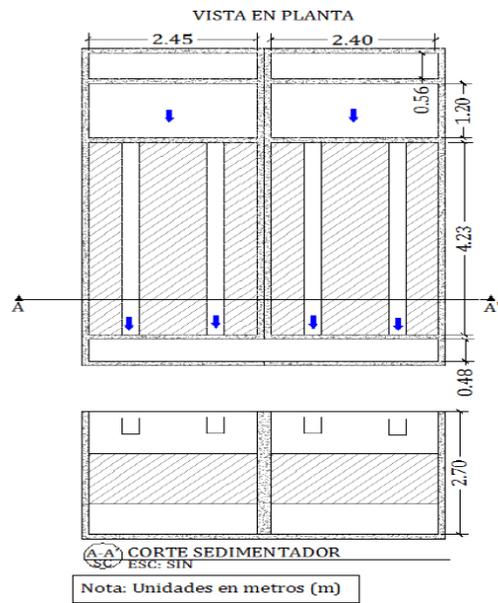


Figura 10. Unidad de sedimentación con sus dimensiones específicas (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).



Figura 11. Unidad de pre-sedimentación planta Santa Lucía (Autor).

6.1.1.5. Filtración.

Para la remoción de sólidos en suspensión y flóculos en suspensión que no hayan sido retirados del agua en la sedimentación se emplean cuatro unidades de filtración de alta tasa. Los lechos de filtración son de tipo mixto compuestos de arena-antracita y como soporte grava. El agua filtrada es llevada a la siguiente unidad para su cloración y almacenamiento. Cuando se requiere el lavado de los filtros el agua almacenada y tratada se emplea para el retrolavado de los filtros. Las dimensiones de los filtros se observan a detalle en la Figura 12.

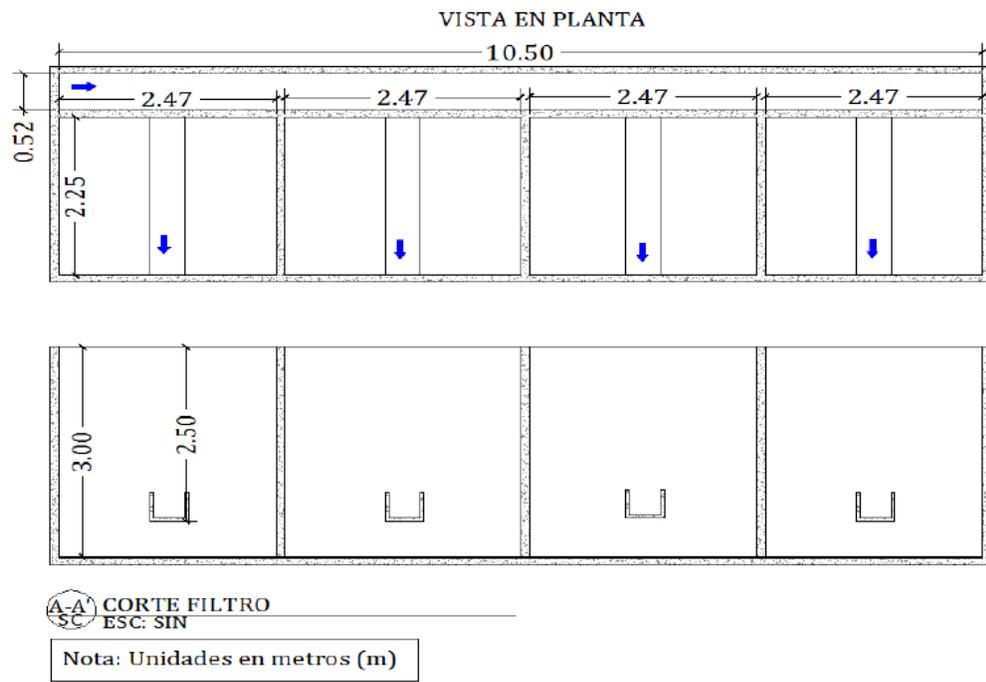


Figura 12. Unidades de filtración con sus dimensiones (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).



Figura 13. Unidades de filtración planta Santa Lucía (Autor).

6.1.1.6. Cloración

Para el proceso de desinfección se emplea cloro gaseoso como desinfectante del agua después de las unidades de filtración. Para la cloración se emplean cilindros de cloro de 68 kg, que se encuentran situados sobre una báscula para determinar la cantidad de cloro que se está consumiendo en la desinfección. Para controlar la cantidad de cloro que se dosifica en la planta se emplea un clorador marca Regal modelo 610 que emplea la presión interna del cilindro para la dosificación directa del cloro en el agua. La tasa máxima de cloro que puede suministrar el clorador es de 2000 gramos/h que es regulado según la cantidad de cloro necesaria a dosificar.

Los cilindros y el clorador se encuentran en un cuarto cercado con ventilaciones donde se lleva el cloro hasta la cámara de contacto. La cloración se da por un eyector que trabaja con la presión interna del cilindro y se encuentra situado en un tanque en donde se realiza la cloración. Cabe destacar que el tanque de cloración no cuenta con una tapa de concreto y como alternativa emplean una tapa de plástico. El cilindro de cloro y dosificador empleado en la planta Santa Lucía se muestra en la Figura Figura 14.



Figura 14. Cilindro de cloro y dosificador de cloro planta Santa Lucía (Autor).

6.1.1.7. Laboratorio

La planta Santa Lucía cuenta con los implementos de laboratorio mostrados en la Tabla 15. En la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 se muestran los equipos de laboratorio que presenta la planta.

Tabla 15. Implementos de laboratorio de Santa Lucía (Autor).

Implemento de laboratorio	Cantidad	Descripción
Incubadora modelo IN-010	1	No funciona
Sellador de Quanti-Tray modelo 2x	1	No funciona
Probeta de 1000 mL	1	En buen estado
Vaso de precipitado de 100 mL	1	En buen estado

Implemento de laboratorio	Cantidad	Descripción
Tubo Nessler de 20 mL	1	Buen estado
Kit comparador de cloro de DPD marca Hanna	1	Buen estado, pero con ausencia de reactivos para la medición
Termómetros de mercurio	2	Buen estado
Parte inferior de botellas de gaseosa con capacidades de 1 L	6	Debido a la falta de vasos de precipitado se emplean para la prueba de jarras
Pipeta de 10 mL	4	En buen estado
Pipeta de 5 mL	3	Dos pipetas en buen estado y una rota
Pipeta de 1 mL	5	En buen estado
Equipo prueba de jarras	1	En buen estado



Figura 15. Agitador prueba de jarras planta Santa Lucía (Autor).



Figura 16. Incubadora modelo IN-010 (Autor).



Figura 17. Sellador de muestras Quanti-Tray modelo 2x (Autor).

6.1.2. Características del proceso planta de tratamiento Casa de Teja.

La planta Casa de Teja se encuentra situada en la parte sur del municipio aproximadamente a 0,2 km de la cabecera municipal. Está diseñada para tratar un caudal de 21 L/s o 75,6 m³/h, capta el agua superficial de la quebrada el Tabaco y

para suministrar el agua tratada y almacenada emplea un sistema de bombeo que funciona las 24 horas del día. Las operaciones unitarias que posee son un desarenador, una unidad de mezcla rápida, un floculador, sedimentador y tres unidades de filtración.



Figura 18. Entrada y ubicación planta Casa de Teja (GoogleEarth, 2021).

6.1.2.1. Mezcla rápida-Coagulación.

Una canaleta Parshall es empleada en la planta para la mezcla rápida del coagulante. Esta canaleta cumple tanto las funciones de aforador para la medición de caudal que ingresa a la planta como mezclador.

Para la medición del caudal la canaleta posee un piezómetro que se encuentra ubicado justo antes de la garganta de la canaleta que está oxidado y en mal estado, pero cumple con su función. La dosis de coagulante se realiza en una tubería que introduce el coagulante en el agua después de la garganta justo en la zona de salida divergente de la canaleta, en el punto de mayor turbulencia para la mayor dispersión de coagulante.

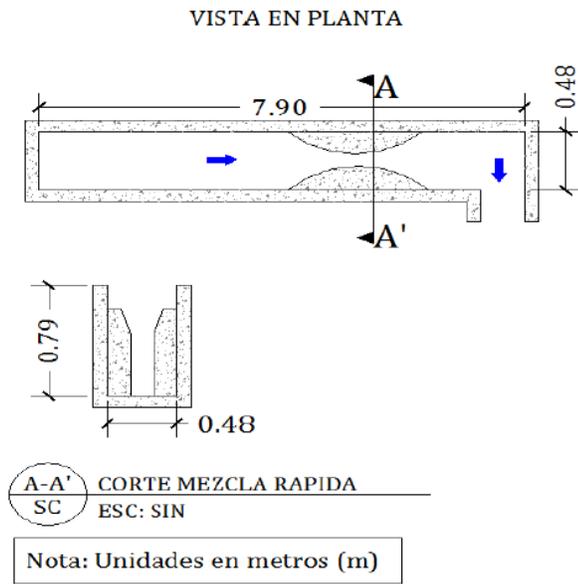


Figura 19. Canaleta Parshall y sus dimensiones (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).

6.1.2.2. Dosificador.

Al igual que en la planta Santa Lucía en la planta Casa de Teja se cuenta con un dosificador para soluciones de cloruro de polialuminio formado por recipientes de pintura de 20 L para el almacenamiento, tuberías PVC y dos bombas. Esta planta cuenta también con un dosificador de sulfato de aluminio granulado que se encuentra en mal estado y en desuso.



Figura 20. Dosificador de cloruro de polialuminio planta Casa de Teja (Autor).

6.1.2.3. Floculación.

Una unidad de floculación de flujo horizontal de tabiques es empleada como unidad de mezcla lenta para la formación de floculo en la planta Casa de Teja. En esta unidad el agua hace un movimiento de ida y vuelta entre los tabiques de asbestocemento en donde la separación de los tabiques aumenta con el fin de disminuir el gradiente de mezcla. La profundidad en esta unidad disminuye debido a la pérdida de carga que ocurre durante todo el floculador.

La distancia de separación entre los tabiques es de 0,2 m en la zona de entrada, de 0,25 m en la zona media y 0,3 m en la zona de salida, la distancia de separación entre las puntas de los tabiques y la pared del floculador es de 0,3 m en la entrada, de 0,38 m a en la zona media y de 0,43 m en la zona de salida, el largo total del floculador es de 17,01 m, el ancho de 3 m, la profundidad de entrada y salida se muestra en la Figura 21.

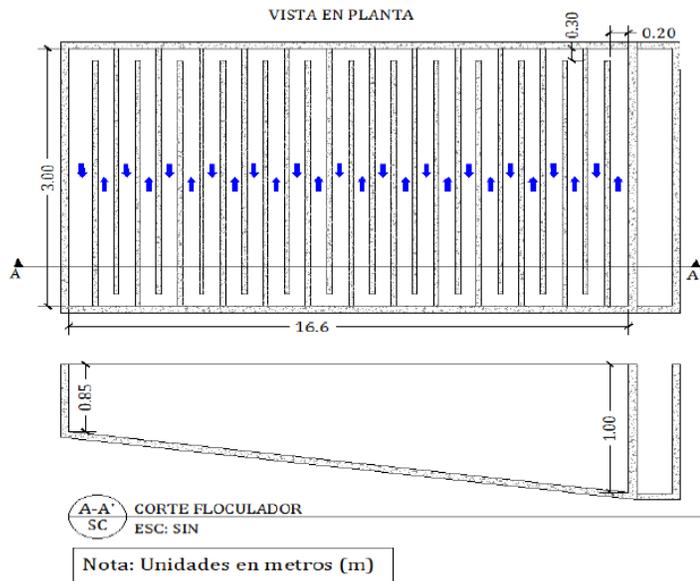


Figura 21. Esquema de diseño floculador hidráulico de flujo horizontal con tabiques (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).

6.1.2.4. Sedimentación.

Para la sedimentación de los flóculos formados en la etapa de floculación se emplean dos unidades de sedimentación hidráulica de flujo horizontal. Las unidades poseen una zona de entrada en la que se distribuye el flujo de agua de salida de la unidad de floculación, una zona de sedimentación, una zona de salida en donde el agua clarificada es llevada a las unidades de filtración por medio de un vertedero y por último una zona de lodos donde se deposita la mayoría de lodos sedimentados. Cada tanque de sedimentación cuenta con una válvula para la descarga del agua para el lavado del tanque. El plano de las dos unidades de sedimentación se muestra en la figura Figura 22.

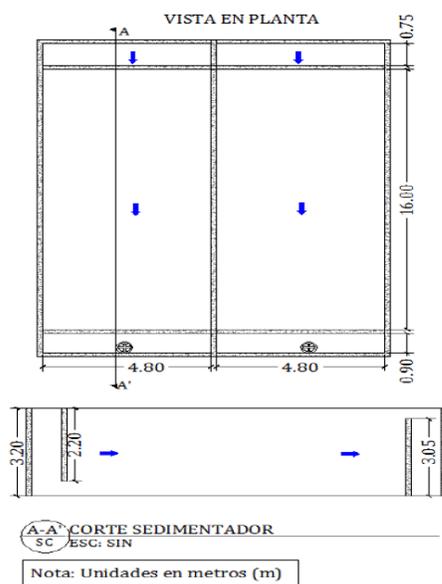


Figura 22. Esquema unidades de sedimentación de flujo horizontal y sus dimensiones (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).

6.1.2.5. Filtración.

Se emplean tres unidades de filtración de alta tasa de lecho mixto compuestos de arena, antracita y como soporte grava. Para el lavado se emplea el retrolavado que regresa parte del agua tratada a los filtros por la parte inferior de estos y expanden el lecho para el lavado de los granos del lecho. El agua resultante después del lavado es transportada por una canaleta y llevada a un río cercano para ser desechada. Según la Resolución 0330 del 2017, los lodos resultantes de los lavados de las unidades requieren de tratamientos de homogenización, espesamiento y deshidratación. Los lodos no pueden descargarse sin ningún tratamiento.

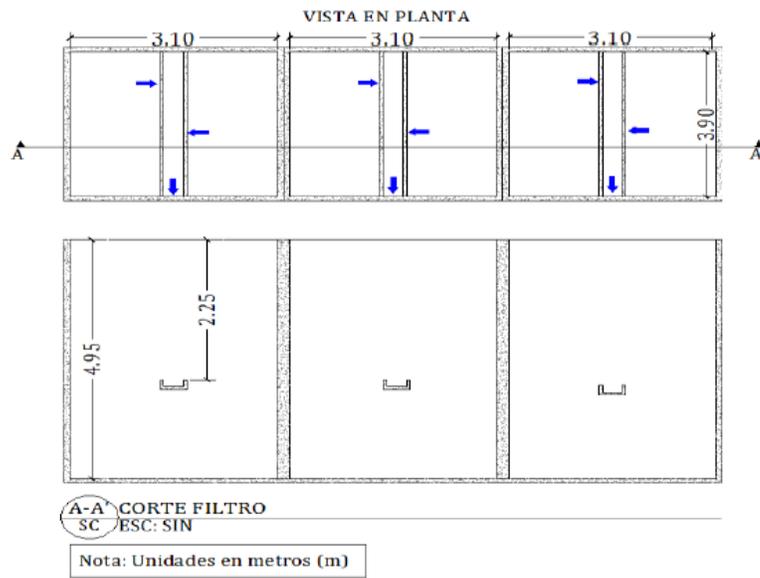


Figura 23. Esquema de diseño filtros de alta tasa de lecho mixto arena-antracita planta Casa de Teja (Gobernación de Norte de Santander, 2014a).



Figura 24. Unidad de filtración de alta tasa planta Casa de Teja (Autor).

6.1.2.6. Cloración.

La planta de agua cuenta con las instalaciones tanto para la inyección y contacto de cloro en el agua como el espacio físico del cuarto en donde se puede disponer los cilindros de cloro y el clorador. Actualmente en la planta el dosificador se encuentra en mal estado pues presenta fugas y requiere ser remplazado, por esta razón la dosificación se hace de manera manual con hipoclorito de sodio siendo un problema en la dosificación del cloro de manera continua y de manera eficiente.

6.1.2.7. Laboratorio.

El espacio físico empleado como laboratorio se encuentra cercano al dosificador. Este laboratorio solo cuenta con un equipo para la prueba de jarras que presenta fallas en su funcionamiento, una probeta de 1000 mL, un vaso de precipitado de 80 mL y al igual que en la planta Santa Lucía se emplea la parte inferior de envases de bebida carbonatada que sustituyen los vasos de precipitado de 1000 mL. Otros aditamentos que posee el laboratorio pero que no son usados son unas placas Petri para pruebas microbiológicas, filtros, tubos de ensayo e insumos químicos ya caducados.



Figura 25. Equipo prueba de jarras (Autor).

6.1.2.8. Sistema de bombeo.

Para la distribución del agua tratada en la planta Casa de Teja a la red de acueducto se emplea un sistema de bombeo que consta de cuatro bombas de las cuales una no está en funcionamiento tal como se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Sistema de bombeo planta Casa de Teja (Autor).

6.1.3. Diagnóstico por formularios 082 del 2009.

6.1.3.1. Índice IRCApp promedio del agua tratada de las plantas de potabilización.

Los valores reportados del valor IRCApp por el Instituto Departamental de Salud (IDS) que hicieron parte del periodo comprendido entre el 21 de junio del 2020 hasta el 17 de marzo del 2021 fueron de un valor de cero en la red de distribución durante este periodo. El valor del IRCApp promedio calculado con respecto a estos valores para el diagnóstico del concepto sanitario de la USPA fue también de cero indicando que no presenta un riesgo para el consumo humano.

6.1.3.2. Valor IRABApp en las plantas de potabilización.

El valor IRABApp calculado para las plantas santa Lucía y Casa de Teja en el diagnóstico por medio del formulario III de la Resolución 082 del 2009 (véase el anexo A) se presenta en la Tabla 16. El resultado para estas dos plantas fue de un nivel de riesgo alto y muy alto, debido principalmente a la discontinuidad del servicio del agua potable y a la ausencia de equipos de laboratorio en las plantas. También hay que tener en cuenta la valoración de la capacitación de los trabajadores en donde el puntaje obtenido es de cero debido a que ningún operario de las plantas

está capacitado en las normas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002. El valor alto en cuanto al índice de tratamiento obtenido para la planta Casa de Teja es producto de la falta del proceso de desinfección que no se está realizando.

Tabla 16. Valores para el cálculo del IRABApp por formulario 082 del 2009 (Ministerio de la protección social, 2009).

Aspecto evaluado	Santa Lucía	Casa de Teja
Índice de Continuidad (IC)	15	15
Descripción del tratamiento	25	10
Dotación Básica de Laboratorio	3	0
Certificación de los trabajadores	0	0
Índice de Tratamiento (IT)	28	10
IRABAp.p	57	75
Nivel de Riesgo	Alto	Muy Alto

Según estudios realizados por la USPA, se identificó que una de las causas de la discontinuidad del servicio público es debido a conexiones ilegales en la tubería que transporta el agua potable desde la planta Santa Lucía hasta el punto de muestreo ubicado cerca al colegio Carlos Julio Torrado Peñaranda con pérdidas del caudal de 16 L/s correspondientes a un 24,3% del agua tratada en la planta. La pérdida de caudal ocasiona una disminución en la cantidad de agua a suministrar para la población además de una pérdida en la presión. La disminución del caudal en las tuberías provoca un mayor consumo energético por parte del sistema de bombeo de la planta Casa de Teja debido al mayor caudal que debe suministrar esta planta para satisfacer la demanda de agua potable en la red de distribución.

6.1.3.3. Diagnóstico por formularios de Buenas Prácticas Sanitarias (BPS) para las plantas de potabilización.

Del diagnóstico por buenas prácticas se obtuvo información referente al estado físico de las instalaciones, instrumentación para la medición de caudales tanto de entrada como de salida de las plantas y de lavado de las unidades, de los procedimientos de salud ocupacional y de seguridad, el manejo de la información de las plantas, los equipos de laboratorio y el estado de la red de distribución del

agua potable. En la Tabla 17 para la planta Santa Lucía y en la Tabla 18 para la Planta Casa de Teja, se presenta un resumen de cada aspecto del diagnóstico del formulario de Buenas Prácticas Sanitarias (BPS), junto con las observaciones más importantes realizadas, el valor resultante de la evaluación de cada aspecto y el valor total del BPSpp para cada planta. Véase el anexo A en donde se encuentra detallado la guía de asignación de los puntajes.

Tabla 17. Diagnóstico por formulario BPS de la planta Santa Lucía (Autor).

Aspecto a evaluar	Observaciones	Puntaje total del aspecto
1. Estado y pertinencia de las instalaciones	Presencia de malezas a los alrededores de la planta, falta de cerramientos y aseo poco frecuente en las instalaciones	4
2. Instrumentación de la planta de tratamiento de agua para consumo humano	Medidor de caudal de entrada en mal estado y descalibrado, sin medidor de caudal de salida, sin medición de caudales de lavado de los equipos y sin medición de nivel ni registro en los tanques	7
3. Seguridad industrial y salud ocupacional	Sin manuales de seguridad industrial y de higiene, sin programas de salud ocupacional, no hay uso de los elementos de protección y no hay elementos de control de emergencias	7
4. Manejo de la información y comunicaciones	Reportes de autocontrol con falta medición de parámetros fisicoquímicos básicos, sin manuales de operación y mantenimiento, y no hay sistema de comunicación entre las plantas con la USPA	5
5. Laboratorio para el control de procesos y calidad del agua para consumo humano distribuida	Sin equipos de seguridad, falta de equipos para pruebas de tratabilidad contando solo con la prueba de jarras, falta de equipos de análisis para el control de los procesos, reportes de control con falta de los parámetros fisicoquímicos no medidos, sin manuales que aseguren la calidad del agua y una limpieza poco frecuente en la zona de laboratorio	11

Aspecto a evaluar	Observaciones	Puntaje total del aspecto
6. Estado operativo del sistema de distribución	Planos de la red de distribución con dimensiones no especificadas, sin un registro de riesgo por localidad, pero el riesgo es atendido. Sin registros estadísticos de roturas de tuberías, las válvulas y purgas para el drenaje están operables, pero no identificados en los planos. Falta de válvulas de control y sin instrumentación en la red de distribución	9
7. Mantenimiento de la red de distribución	Personal sin capacitación para el mantenimiento, sin equipos apropiados, sin equipos de detección de fugas, sin procedimientos de seguridad de reparación y lavado	8
8. Control de calidad del agua distribuida	No hay limpieza de las estructuras de distribución del agua, sin dispositivos para la toma de muestras, sin identificación de los orígenes de contaminación y sin equipos portátiles para la toma de datos	5
Total		56

Tabla 18. Diagnóstico por formulario BPS de la planta Casa de Teja (Autor).

Aspecto a evaluar	Observaciones	Puntaje total del aspecto
1. Estado y pertinencia de las instalaciones	Aseo interior poco frecuente y humedad en la zona de bombeo	2
2. Instrumentación de la planta de tratamiento de agua para consumo humano	Hay instrumento de medición de caudal de entrada, pero oxidado, sin medidor de caudal de salida, sin medición de caudales de lavado y drenaje de equipos, y sin medidores de nivel en los tanques	8
3. Seguridad industrial y salud ocupacional	Sin protocolo de seguridad, sin programa de salud ocupacional, sin uso de elementos de protección por parte de operarios, falta de algunos equipos de protección, y faltas de elementos de control de seguridad	8

Aspecto a evaluar	Observaciones	Puntaje total del aspecto
4. Manejo de la información y comunicaciones	Reportes de autocontrol con falta de parámetros, sin manuales de operación y mantenimiento, y falta de sistema de comunicaciones	5
5. Laboratorio para el control de procesos y calidad del agua para consumo humano distribuida	Sin depósitos adecuados para reactivos, sin equipos de seguridad, falta de equipos para ensayos fisicoquímicos y microbiológicos, no hay pruebas de tratabilidad, sin control fisicoquímico de los procesos de la planta, sin un sistema de gestión para la calidad del agua y no hay limpieza en el laboratorio	14
6. Estado operativo del sistema de distribución	Planos de la red de distribución con dimensiones no especificadas, sin un registro de riesgo por localidad, pero el riesgo es atendido. Sin registros estadísticos de roturas de tuberías, las válvulas y purgas para el drenaje están operables, pero no identificados en los planos. Falta de válvulas de control y sin instrumentación en la red de distribución	9
7. Mantenimiento de la red de distribución	Personal sin capacitación para el mantenimiento, sin equipos apropiados, sin equipos de detección de fugas, sin procedimientos de seguridad de reparación y lavado	8
8. Control de calidad del agua distribuida	No hay limpieza de las estructuras de distribución del agua, sin dispositivos para la toma de muestras, sin identificación de los orígenes de contaminación y sin equipos portátiles para las tomas de datos	5
Total		59

Comparando los resultados del valor total del BPS de la Tabla 17 y la Tabla 18 con los niveles de riesgo estipulados en la Tabla 7, se determina que el nivel de riesgo es alto en las dos plantas pues está dentro del rango de 41-70.

El aspecto que da un mayor aporte al valor del BPS de la planta Santa Lucía de la Tabla 17 fue el laboratorio del control de procesos y de calidad del agua con un

valor del 11, el mismo caso ocurrió en la Tabla 18 para la planta Casa de Teja con un valor total de 14. Con este resultado se determina que hay una gran falencia en los implementos de laboratorio de las plantas, pues la planta Santa Lucía solo cuenta con la prueba de jarras para las pruebas de tratabilidad y la planta Casa de Teja solo cuenta también con una prueba de jarras que se encuentra en mal estado y su funcionamiento no es continuo. Además, no hay equipos básicos para el control de los procesos como pueden ser equipos para la medición de pH, de turbidez, color aparente, cloro residual que también son empleados para las pruebas de tratabilidad y caracterización del agua cruda. Otro aspecto importante es que no hay un cumplimiento del Capítulo V de la Resolución 2115 del 2007, que establece la frecuencia con la que se hace cada tipo de caracterización fisicoquímica y microbiológica, pues a pesar de ser realizados por el IDS este solamente hace la caracterización con una frecuencia de mínimo tres meses siendo insuficiente para la población atendida por la Unidad de Servicios Públicos de Abrego.

Otro aspecto de especial interés en este diagnóstico es el estado operativo del sistema de distribución de las plantas que requiere de un registro de todas las roturas que se produzcan en la red, la identificación de las válvulas en los planos de la red y en especial un registro de riesgos por localidad que permitan identificar aquellos lugares de la red de distribución que puedan afectar en gran medida a la calidad del agua que llega a los hogares del consumidor y también la continuidad de esta. Es importante que la red de distribución cuente con unidades de control que eviten sobrepresiones en el sistema y presiones negativas que puedan provocar un rompimiento en las tuberías, que desencadene en la contaminación del agua distribuida, reducción en la continuidad del servicio y también en mayores gastos para la USPA.

En cuanto al control de calidad del agua distribuida en la red por la USPA es evidente que la falta de equipos portátiles como medidores de pH y de cloro residual evitan conocer la calidad del agua que se está entregando en la red de distribución. Al no haber un mantenimiento en los tanques de almacenamiento la calidad del agua también se puede ver afectada por el crecimiento de la materia orgánica dentro de ellos que contaminan el agua tratada.

Para garantizar un buen estado operativo en el sistema de distribución de las plantas se requiere de un mantenimiento en la red de distribución. Según el puntaje obtenido de las plantas que fue de 8 se observa una importante falencia en este aspecto. La falta de personal capacitado para el mantenimiento de la red de distribución evita que se pueda realizar un mantenimiento efectivo que evite cualquier contaminación en la red de distribución y cualquier daño. El factor más

limitante sin duda es la falta de equipos para el mantenimiento que afectan las labores que un fontanero capacitado pueda hacer o no hacer para la reparación de los daños que se produzcan. También si no existen equipos para la detección de fugas como los acuófonos o geófonos los trabajadores encargados del mantenimiento no podrán detectar aquellas fugas que se presenten y no podrán actuar en consecuencia para el mantenimiento.

De importancia también son aspectos como la seguridad industrial en las plantas, el uso de los implementos de seguridad y manuales de seguridad que den un conocimiento a los trabajadores con el fin de evitar cualquier problema que pueda presentarse o que acciones se pueden realizar en los momentos en los que se presente esos inconvenientes.

La importancia de la instrumentación en las plantas radica en el control del agua cruda que ingresa a la planta, el agua tratada que sale de la planta y el agua consumida en las operaciones unitarias de la planta. Con estos valores se puede determinar la eficiencia del tratamiento del agua en función del agua tratada, consumida y del agua que entra, también de identificar fugas y pérdidas en las distintas unidades. Es por esta razón que la falta de equipos para la medición de los caudales de salida en las plantas Santa Lucía y Casa de Teja son un factor que limita la buena operación de las plantas al impedir identificar la eficiencia de la planta, la cantidad de agua que es entregada a la población, así como la medición de los caudales de lavado en las diferentes unidades del proceso.

6.1.3.4. Concepto sanitario de las Plantas Santa Lucía y Casa de Teja.

El concepto sanitario para las plantas Santa Lucía y Casa de Teja se presenta en la Tabla 19, junto con el puntaje calculado y el rango al que corresponde según la Tabla 7.

Tabla 19. Concepto sanitario plantas Santa Lucía y Casa de Teja (Autor).

Planta	IRCAApp	IRABApp	BPSpp	Puntuación	Concepto Sanitario
Santa Lucía	0	57	56	28,2	Favorable con requerimientos
Casa de Teja	0	75	59	32,7	Favorable con requerimientos

Los resultados obtenidos de los conceptos favorables con requerimientos para las plantas indican que hay cumplimiento de muchos aspectos, pero hay aspectos que

requieren de atención por parte de la USPA para el mejoramiento de la prestación del servicio de agua potable. Un análisis de la Tabla 19 indica que los resultados obtenidos de los conceptos sanitarios se deben principalmente a los valores del IRABApp y el BPSpp de las plantas. El mayor puntaje fue para la planta Casa de Teja permitiendo identificar que es la planta que incumple más requerimientos de la norma y requiere de especial atención por parte de la empresa de servicios públicos.

6.1.4. Diagnóstico de las operaciones unitarias de las plantas.

Los resultados que se presentarán en esta sección son de carácter operativo y del diseño hidráulico de las principales unidades de potabilización de las plantas, que permite identificar a mayor detalle ciertos aspectos y falencias que presente cada unidad.

6.1.4.1. Diagnóstico del proceso de coagulación.

La evaluación del diseño hidráulico se realizó en función de las características descritas para cada planta de cada unidad de mezcla rápida. Para la planta Santa Lucía se tuvo en cuenta parámetros característicos del vertedero como el ancho del vertedero, la altura desde el vertedero rectangular hasta el fondo de este, entre otros parámetros los cuales se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Parámetros para el diagnóstico hidráulico del vertedero Planta Santa Lucía (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /s	0,05
B	m	0,49
y	m	0,717
P	m	0,831

Con los parámetros de la Tabla 20 se determina los parámetros para el diseño hidráulico como el tiempo de mezcla, el número de Froude y el gradiente de velocidad, presentados en la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros de diseño hidráulico del vertedero Planta Santa Lucía (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
q	m ² /s	0,102
E _o	m	0,717
Cos θ		-0,099

Parámetro	Unidad	Valor
θ	rad	1,670
θ	grad	95,658
v_1	m/s	3,677
h_1	m	0,028
N_f	adimensional	7,048
h_2	m	0,263
v_2	m	0,388
h	m	0,446
L	m	1,412
t	s	3,640
G	1/s	1120,989

Para la canaleta Parshall de la planta Casa de Teja se tienen los parámetros de diseño de la Tabla 22 para el cálculo del tiempo de mezcla, el gradiente hidráulico y el número de Froude presentes en la Tabla 23.

Tabla 22. Parámetros para el diagnóstico hidráulico de la canaleta Parshall Planta Casa de Teja (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /s	0,021
W	m	0,17
A	m	1,427
C	m	0,385
D	m	0,488
E	m	0,61
G	m	1
K	m	0,076
K		0,345
n	adimensional	1,522
Profundidad D	m	0,6
Profundidad F	m	0,7
N	m	0,1

Tabla 23. Parámetros de diseño hidráulico de la canaleta Parshall Planta Casa de Teja (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
H_o	m	0,159
W_o	m	0,382

Parámetro	Unidad	Valor
V_0	m/s	0,346
q	m^2/s	0,124
E_0	m	0,265
V_1	m/s	1,997
H_1	m	0,062
N_f	adimensional	2,563
H_2	m	0,195
V_2	m/s	0,632
H_3	m	0,171
V_3	m/s	0,321
E_3	m	0,177
V_m	m/s	0,476
t	s	1,259
Δh	m	0,088
G	1/s	848,158

Para tener una idea clara del diagnóstico se desarrolló una tabla comparativa entre los parámetros hidráulicos de las unidades de mezcla rápida de las plantas y los valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017- RAS.

Tabla 24. Tabla comparativa valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017 con los valores de diseño de las unidades de coagulación (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).

Parámetro	Valor exigido por RAS 0330 del 2017	Planta			
		Santa Lucía	¿Cumple?	Casa de Teja	¿Cumple?
t	<1	3,640	No	1,259	No
G	1000-2000	1120,989	Sí	848,158	No
N_f	4,5-9	7,048	Sí	2,563	No

El vertedero, unidad de mezcla rápida de la planta Santa Lucía solo presentó incumplimiento en el tiempo de mezcla siendo mayor a 1 s. El resultado del valor tiempo de mezcla mayor al exigido por la norma se debe principalmente al valor de la longitud del resalto hidráulico. Es importante que la mezcla rápida se de en un tiempo menor a 1 segundo ya que las reacciones de coagulación por desestabilización-compresión de coloides y puente químico se dan en estos tiempos (Alvarado & Roberto, 2016).

Tal como se muestra en la Tabla 24, ninguno de los valores exigidos por la RAS se cumplió. Para las canaletas Parshall es importante que estas sean diseñadas previamente por un fabricante con la mayor precisión posible debido a que sus propiedades hidráulicas son bastantes sensibles a su dimensionamiento, pues al ser fabricadas in situ tal como es el caso en la canaleta de la planta Casa de Teja, es posible que sus dimensiones no sean las correctas dificultando el control y el buen funcionamiento hidráulico de esta (Rivas & Bravo, 2016). Ninguna de las dimensiones típicas para el diseño de las canaletas Parshall coincide con las dimensiones de la canaleta de la planta Casa de Teja, indicando la posibilidad de que los problemas hidráulicos en la unidad se deban a errores de diseño. Gradientes por debajo del valor óptimo indica que la intensidad con la que se dispersa el coagulante en el agua no es suficiente provocando que no se dé el contacto inmediato de los coloides con el coagulante y no se produzca la desestabilización de estos (Alvarado & Roberto, 2016).

El diagnóstico operacional del dosificador y de la mezcla rápida de la planta Santa Lucía se muestra en la Tabla 25 y en la Tabla 26.

Tabla 25. Diagnóstico operativo de la dosificación de coagulante Planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Dosificación		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Dosificadores en buen estado		x			
Determinación de la cantidad de coagulante óptimo a aplicar	Se determina la cantidad de coagulante a aplicar, pero se realiza de manera cualitativa presentando entonces faltas en la precisión de la determinación del coagulante óptimo		x		
Preparación soluciones de manera adecuada	No se emplea agua destilada de tipo 4 para la preparación de la solución patrón		x		
Hay curvas de calibración y calibración del dosificador	Debido a la ausencia de equipos para determinar los datos de las curvas de			x	

Dosificación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
	calibración estas no se realizan				
Dilución y tiempo de retención correctos		x			
Dosificador alternativo	Solo se cuenta con un dosificador			x	
Punto de aplicación bien escogido en el mayor punto de turbulencia		x			
Preparación y almacenamiento de soluciones patrón concentradas	No hay almacenamiento de las soluciones patrón preparadas			x	
Sala de dosificación limpia y ordenada		x			

Tabla 26. Diagnóstico operativo de la unidad de mezcla rápida de la Planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Mezcla rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Correcta aplicación del coagulante	La aplicación del coagulante se hace según el ensayo de jarras, pero la determinación de la cantidad de coagulante optimo se hace solo de manera cualitativa		x		
Sin sobrecarga		x			
Buena distribución de flujos sin turbulencias ni restricciones después de la		x			

Mezcla rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
aplicación del coagulante					
Buen estado de estructuras y equipos	El medidor de nivel para la determinación de caudal está en mal estado		x		

Para la planta Casa de Teja el diagnóstico operacional de cada uno de los aspectos de la dosificación y la mezcla rápida se presentan en la Tabla 27 y la

Tabla 28.

Tabla 27. Diagnóstico operativo de la dosificación de coagulante Planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Dosificación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Dosificadores en buen estado		x			
Determinación de la cantidad de coagulante optimo a aplicar	Se determina la cantidad de coagulante a aplicar, pero se realiza de manera cualitativa presentando entonces faltas en la precisión de la determinación del coagulante optimo		x		
Preparación soluciones de manera adecuada	No se emplea agua destilada de tipo 4 para la preparación de la solución patrón		x		
Hay curvas de calibración y calibración del dosificador	Debido a la ausencia de equipos para determinar los datos de las curvas de calibración estas no se realizan			x	
Dilución y tiempo de retención correctos		x			

Dosificación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Dosificador alternativo	Solo se cuenta con un dosificador			x	
Punto de aplicación bien escogido en el mayor punto de turbulencia		x			
Preparación y almacenamiento de soluciones patrón concentradas	No hay almacenamiento de las soluciones patrón preparadas			x	
Sala de dosificación limpia y ordenada			x		

Tabla 28. Diagnóstico operativo de la unidad de mezcla rápida de la Planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Mezcla rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Correcta aplicación del coagulante	La aplicación del coagulante se hace según el ensayo de jarras, pero la determinación de la cantidad de coagulante optimo se hace solo de manera cualitativa		x		
Sin sobrecarga		x			
Buena distribución de flujos sin turbulencias ni restricciones después de la aplicación del coagulante	Hay presencia de turbulencias después de la aplicación del coagulante		x		
Buen estado de estructuras y equipos	Medidor de caudal en mal estado y oxidado		x		

6.1.4.2. Diagnóstico proceso de floculación.

Por falta de dimensiones características para los floculadores de flujo helicoidal como el diámetro de apertura de los orificios no se determinó los parámetros de diseño de la unidad. Que no se hayan medido las dimensiones necesarias se debe a que la planta requiere de parar su operación al requerir un vaciado de las unidades de floculación. Para el caso de la planta Casa de Teja tampoco se hará el diagnóstico por falta de las memorias de cálculo y la falta de planos que especifiquen el diseño de la unidad.

Los resultados del formulario empleado para el diagnóstico operacional de las dos unidades de floculación de la planta Santa Lucía se muestran en la Tabla 29. Los resultados del mismo formulario anterior aplicados para la unidad de flujo horizontal de la planta Casa de Teja se muestran en la

Tabla 30.

Tabla 29. Diagnóstico operativo de la unidad de floculación de la Planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Floculación		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Sin problemas hidráulicos		x			
Sin sobrecarga		x			
Buena distribución de flujos		x			
Sin filtraciones		x			
Buena interconexión entre estructuras		x			
Sin sedimentación	Se presenta una cantidad considerable de sedimentos debido a la alta turbidez del agua en temporada de lluvias		x		
Oportuna limpieza y lavado		x			

Floculación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Leve formación de espuma y flotantes	Hay una formación considerable de espumas en temporada de lluvias		x		
Buena formación del floc	En algunos casos cuando el agua es muy turbia no se da buena formación del flóculo		x		
Buen estado de estructuras		x			
Gradiente óptimo adecuado según las pruebas de jarras	no se determina el gradiente óptimo de mezcla			x	

Tabla 30. Diagnóstico operativo de la unidad de floculación de la Planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Floculación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Sin problemas hidráulicos	En algunos casos el nivel del agua sobrepasa la altura de las pantallas provocando que el flujo no sea el adecuado y los gradientes tampoco		x		
Sin sobrecarga		x			
Buena distribución de flujos	No hay buena distribución cuando se sobrepasa el nivel de las placas		x		
Sin filtraciones		x			
Buena interconexión entre estructuras		x			
Sin sedimentación	hay presencia de sedimentos en el fondo		x		
Oportuna limpieza y lavado	Hace mucho tiempo no se realiza la limpieza evidenciándose en la			x	

Floculación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
	presencia de sedimentos y algas				
Leve formación de espuma y flotantes		x			
Buena formación del floc	hay formación del floculo, pero su tamaño es muy pequeño y es poco pesado, afectando el proceso de sedimentación posterior		x		
Buen estado de estructuras		x			
Gradiente óptimo adecuado según las pruebas de jarras	no se determina el gradiente óptimo de mezcla			x	

En temporadas de lluvias debido a la alta turbidez es posible que no sé de una buena sedimentación de la unidad de pre-sedimentación de la planta que tiene por efecto la acumulación de sedimentos en la unidad de floculación para la planta Santa Lucia. Este aspecto se verá adelante para el diagnóstico del proceso de sedimentación.

En cuanto al diagnóstico operativo de la

Tabla 30 de la unidad de floculación de la planta Casa de Teja se presentó un sobre nivel en los tabiques de floculación con caudales muy altos, que pueden afectar el flujo normal en el floculador evitando así la buena formación del floc. Otros problemas de los identificados que inciden en la formación del floc son los problemas identificados para la mezcla rápida y la dosificación.

6.1.4.3. Diagnóstico proceso de sedimentación.

Las variables necesarias para el cálculo de los distintos parámetros de diagnóstico hidráulico como lo son la carga superficial y el tiempo de retención del presedimentador de alta tasa de la planta Santa Lucía se presentan en la Tabla 31 y del sedimentador en la Tabla 32.

Tabla 31. Parámetros de diseño hidráulico del presedimentador de la planta Santa Lucía (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /d	4320,000
Ancho	m	2,955
Largo	m	4,935
Profundidad	m	2,700
A	m ²	14,583
CS	m ³ /m ² *d	296,237
θ	grad	60,000
θ	rad	1,047
V _o	m/d	342,065
l	m	1,200
E	m	0,060
L	m	20,000
μ	kg/m*s	0,001
ρ	kg/m ³	997,770
v	m ² /s	9,57E-07
N _{Re}	adimensional	248,184
L'	m	3,226
L _c	m	16,774
S _c	adimensional	1,000
V _{sc}	m/s	36,969
t	min	5,052

Tabla 32. Parámetros de diseño hidráulico de cada unidad de sedimentación de la planta Santa Lucía (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /d	2160,000
Ancho	m	2,400
Largo	m	4,230
Profundidad	m	2,700
A	m ²	10,152
CS	m ³ /m ² *d	212,766
θ	grad	60,000
θ	rad	1,047
Vo	m/d	245,681
l	m	1,200

Parámetro	Unidad	Valor
E	m	0,060
L	m	20,000
μ	kg/m*s	0,001
ρ	kg/m ³	997,770
ν	m ² /s	9,57E-07
N _{Re}	adimensional	178,253
L'	m	2,317
L _c	m	17,683
S _c	adimensional	1,000
V _{sc}	m/s	25,309
t	min	7,034

Para el cálculo de los parámetros hidráulicos de la planta Casa de Teja se requiere solo del volumen, el área superficial del sedimentador y el caudal de diseño de la planta. Todos los resultados del cálculo de estos parámetros para cada unidad de sedimentación se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Parámetros de diseño hidráulico de cada unidad de sedimentación de la planta Casa de Teja (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /d	907,2
Ancho	m	4,8
Largo	m	16
Profundidad	m	3,2
A	m ²	76,8
CS	m ³ /m ² *d	11,8125
A _v	m ²	51,2
V _f	cm/s	0,021
V	m ³	245,760
t	h	6,502

Los parámetros exigidos por la Resolución 0330 del 2017 se compararon con los resultados de los parámetros hidráulicos de las plantas para comprobar si las unidades de sedimentación cumplen con la norma. Los resultados para las unidades de sedimentación de la planta Santa Lucía se presentan en la Tabla 34 y los resultados de las unidades de sedimentación de la planta Casa de Teja en la Tabla 35.

Tabla 34. Tabla comparativa valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017 con los valores de diseño de las unidades de sedimentación planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).

Parámetro	Valor exigido por RAS 0330 del 2017	Presedimentador	¿Cumple?	Sedimentador	¿Cumple?
CS (m ³ /m ² *d)	200-300	296,237	Sí	212,766	Sí
t (min)	10-20	5,0517	No	7,033	No
V _{sc} (cm/s)	15-30	36,967	No	25,309	Sí

Tabla 35. Tabla comparativa valores exigidos por la Resolución 0330 del 2017 con los valores de diseño de las unidades de sedimentación planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).

Parámetro	Valor exigido por RAS 0330 del 2017	Planta	
		Casa de Teja	¿Cumple?
CS (m ³ /m ² *d)	15-30	11,8125	No
t (h)	2-4	6,502	No
V _f (cm/s)	<1	0,021	Sí

Tomando como referencia los resultados de la Tabla 34 se puede concluir que tiempos de retención menores a los rangos especificados por la norma tienen un efecto negativo en la sedimentación, pues no se alcanza el tiempo necesario para que los flóculos y las partículas sedimentables alcancen el fondo y por lo tanto el número de partículas removidas por la operación unitaria de sedimentación será menor (Romero Rojas, 1999). La velocidad crítica de sedimentación por encima de los valores óptimos trae por consecuencia un mayor escape en el sedimentador de partículas debido a que se requiere de una mayor velocidad de sedimentación para que estas sean sedimentadas (Arboleda, 2000).

Tal como se mostró en la Tabla 35, la carga superficial y el tiempo de hidráulico de retención de unidad de sedimentación de la planta Casa de Teja no cumplen con la normativa. Un tiempo de retención mayor al óptimo es innecesario pues las partículas a ser retiradas a tiempos mayores de 4 horas para los sedimentadores de flujo horizontal son pocas y requieren de un mayor tiempo de retención para ser removidas en su totalidad (Romero Rojas, 1999).

El resultado del formulario de diagnóstico operacional para las unidades de sedimentación de las plantas de potabilización se encuentra contemplado en la Tabla 36 y la Tabla 37. Hay aspectos del formulario elaborado que no tendrán aplicación en las unidades de sedimentación de la planta Casa de Teja y esto es debido a que son sedimentadores de flujo horizontal que no requieren de placas paralelas como es el caso de los sedimentadores de la planta Santa Lucía.

Tabla 36. Diagnóstico operativo de las unidades de sedimentación de la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Sedimentación		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Sin defectos de entrada o salida		x			
Recolección nivelada		x			
Sin sobrecarga		x			
Sin filtraciones		x			
Sin putrefacción de lodos		x			
Sin excesiva cantidad de algas		x			
Entrada vertical hacia las placas		x			
Placas completas y en buen estado		x			
Mantenimiento de limpieza y lavado	La limpieza del sedimentador se hizo recientemente	x			
Moderado paso de floc al filtro	En temporada de invierno hay un incremento en el paso de flocs al filtro		x		
Buen estado de la estructura		x			

Tabla 37. Diagnóstico operativo de las unidades de sedimentación de la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Sedimentación		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Sin defectos de entrada o salida		x			
Recolección nivelada		x			
Sin sobrecarga		x			
Sin filtraciones	hay filtraciones una de las paredes laterales del sedimentador y una filtración a la unidad de filtración			x	
Sin putrefacción de lodos	formación leve de burbujas y gran acumulación de lodos		x		
Sin excesiva cantidad de algas	hay grandes cantidades de algas en los tanques de sedimentación			x	
Entrada vertical hacia las placas					x
Placas completas y en buen estado					x
Mantenimiento de limpieza y lavado	Hace aproximadamente ocho meses que no se hace un lavado a las unidades de sedimentación			x	
Moderado paso de floc al filtro	Muchos de los flocs formados pasan al filtro			x	
Buen estado de la estructura	estructura con fugas y presencia de algas		x		

El diagnóstico operacional de las unidades de sedimentación de la planta Santa Lucía de la Tabla 36 indica que estas unidades cumplen con todos los aspectos a excepción del paso de flóculos al filtro en aguas turbias en temporadas con gran frecuencia de lluvias. El paso de estos flocs se puede deber a la mala formación de estos en las etapas previas de coagulación y floculación. Otra causa es el tiempo de retención tan corto en las unidades de sedimentación tal como se determinó en el diagnóstico hidráulico de estas unidades.

El diagnóstico operativo de la Tabla 37 presentó una serie de aspectos que están siendo incumplidos durante la operación de sedimentación que tienen por efecto la pérdida de caudal en la unidad. La excesiva cantidad de algas y la formación de burbujas por putrefacción de los lodos que presentan los sedimentadores de la planta Casa de Teja son producto del mantenimiento y lavado que no se está llevando a cabo en dichas unidades. El paso de flóculos y de partículas en suspensión tiene por consecuencia una disminución en la eficiencia de las operaciones posteriores de filtración y desinfección por el aumento de carga en el filtro por las partículas retenidas, la proliferación de bacterias debido a la turbiedad y la dificultad de eliminación de los microorganismos también debido a la turbiedad (Flórez Sánchez et al., 2015).

6.1.4.4. Diagnóstico proceso de Filtración.

Los filtros en las dos plantas del municipio son del mismo tipo con el mismo tipo de lecho de arena-antracita. En este caso para la filtración rápida con lechos mixtos, se requiere el cálculo de la tasa de filtración según los parámetros exigidos por la resolución RAS 0330 del 2017, que se realiza con el cociente del caudal que maneja cada una de las unidades de filtración entre el área superficial de cada filtro. Tales resultados, así como el valor comparativo con la Resolución 0330 del 2017 se contempla en la Tabla 38 y la Tabla 39, para la planta Santa Lucía y Casa de Teja respectivamente.

Tabla 38. Diagnóstico hidráulico de cada unidad de filtración de la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Largo	m	2,25
Ancho	m	2,47
A	m ²	5,558
Q total	l/s	50
N filtros	adimensional	4
Q filtro	l/s	12,5
Tasa de filtración	m ³ /m ² *d	194,332
Tasa de filtración por RAS 0330	m ³ /m ² *d	180-350
¿Hay cumplimiento de la norma?		Sí

Tabla 39. Diagnóstico hidráulico de cada unidad de filtración de la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017; Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Largo	m	3,9
Ancho	m	3,1
A	m ²	12,09
Q total	l/s	21
N filtros	adimensional	3
Q filtro	l/s	7
Tasa de filtración	m ³ /m ² *d	50,0248139
Tasa de filtración por RAS 0330	m ³ /m ² *d	180-350
¿Hay cumplimiento de la norma?		No

De los resultados presentados en la Tabla 38, se puede concluir que las unidades de filtración están bien diseñadas para el caudal de diseño de la planta Santa Lucía. Por el contrario, las unidades de filtración de las plantas de Casa de Teja Tabla 39 no cumplen con los requerimientos de la norma en cuanto a la tasa de filtración de estas unidades, indicando que las dimensiones de estos son mayores del requerido para la filtración con respecto al caudal de diseño de la planta.

Aspectos como el lavado de los filtros, el control de válvulas y otros aspectos operativos a tener en cuenta del formulario de diagnóstico operacional para las unidades de filtración se encuentran en la

Tabla 40 para la planta Santa Lucía y en la Tabla 41 para la planta Casa de Teja junto con las observaciones identificadas de cada aspecto.

Tabla 40. Diagnóstico operativo de las unidades de filtración de la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Filtración rápida		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Buena distribución de flujos		x			
Válvulas en buen estado de operación		x			

Filtración rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Operación de lavado por turbiedad o pérdida de carga		x			
Lavado cuidadoso para no dañar el lecho filtrante		x			
Carreras largas de filtración	En temporadas de lluvias el tiempo de carrera se reduce debido a la turbidez del efluente		x		
Cada filtro tiene medidor de pérdida de carga	No hay medidores para la pérdida de carga			x	
Medición de calidad del agua filtrada	No existen los equipos necesarios para la medición de la calidad del agua que permitan cuantificar la turbidez y color del agua			x	
Sin sobrecargas	En algunos casos se sobrepasa el nivel del agua máximo que está relacionado con la pérdida de carga en el sistema		x		
Filtraciones	Fugas en las paredes de los filtros		x		
Baja presencia de algas	Hay una presencia considerable de algas en el filtro		x		
Equipos y estructuras en buen estado		x			
Filtración uniforme en el lecho de filtración		x			

La disminución en las carreras de filtración tal como se presenta en la

Tabla 40, son causados por la gran presencia de partículas sólidas suspendidas y flóculos que pasan del sedimentador a los filtros. Estas partículas son adsorbidas

por los lechos de filtración aumentando el diámetro de sus partículas, disminuyendo su porosidad y como consecuencia se disminuye la eficiencia de adsorción de las partículas en el lecho filtrante (Rivas & Bravo, 2016). La falta de equipos para la medición de la pérdida de carga y la turbidez del efluente de los filtros no permiten determinar con mayor precisión los momentos en los que se debe realizar el lavado de los filtros.

Tabla 41. Diagnóstico operativo de las unidades de filtración de la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Filtración rápida		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Buena distribución de flujos		x			
Válvulas en buen estado de operación		x			
Operación de lavado por turbiedad o pérdida de carga		x			
Lavado cuidadoso para no dañar el lecho filtrante		x			
Carreras largas de filtración	En temporadas de lluvias el tiempo de carrera se reduce debido a la turbidez del efluente		x		
Cada filtro tiene medidor de pérdida de carga	No hay medidores para la pérdida de carga			x	
Medición de calidad del agua filtrada	No existen los equipos necesarios para la medición de la calidad del agua que permitan cuantificar la turbidez y color del agua			x	
Sin sobrecargas	En algunos casos se sobrepasa el nivel del agua máximo que está relacionado con la pérdida de carga en el sistema		x		

Filtración rápida		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Filtraciones	Fugas en la pared que comunica los filtros con las unidades de sedimentación		x		
Baja presencia de algas	Hay una presencia considerable de algas en el filtro		x		
Equipos y estructuras en buen estado		x			
Filtración uniforme en el lecho de filtración		x			

Las unidades de filtración de la planta Casa de Teja además de presentar los problemas previamente expuestos para las unidades de la planta Santa Lucía, también tiene presencia de algas y hay poco control en el nivel de los filtros para evitar sobrecargas. Es importante entonces hacer mantenimiento de los filtros y que los operarios tengan un mayor control del nivel en las unidades de filtración.

6.1.4.5. Diagnóstico proceso de desinfección.

En la RAS se contempla una serie de valores para determinar la dosis optima del cloro a aplicar según la turbidez del agua, este cálculo no es realizado debido a la falta de equipos necesarios para determinar la turbidez del afluente que ingresa a los tanques de contacto de las plantas y la cantidad de cloro residual presente después de la dosificación.

En cuanto al carácter operacional de los procesos de desinfección que se llevan a cabo en las plantas de potabilización de la USPA se obtuvo los resultados recopilados en la

Tabla 42 y la Tabla 43.

Tabla 42. Diagnóstico operativo de la desinfección en la planta Santa Lucía (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Desinfección		¿Hay cumplimiento?			
Actividad	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
Existe tanque de contacto de cloro		x			
Dosificadores calibrados	El dosificador no está calibrado			x	
Se determina la demanda de cloro	No se determina la demanda de cloro por la falta de equipos necesarios para determinarla			x	
Tanque sin filtraciones		x			
Se mide el residual de cloro a la salida del tanque de contacto	Por la falta de equipos analíticos para la determinación del cloro no se mide el residual a la salida de los tanques de cloración			x	
Equipos y estructuras en buen estado		x			
Cuarto de cloración bien ventilado, aireado y de fácil acceso para el cambio de los cilindros		x			
Uso de implementos de seguridad apropiados		x			
Procedimientos de seguridad apropiados para el	No se utiliza amoniaco o algún equipo para la detección de fugas			x	

Desinfección		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
cambio de los cilindros de cloro					
Registro consumo de cloro	Hay un registro en el consumo del cloro	x			

Tabla 43. Diagnóstico operativo de la desinfección en la planta Casa de Teja (Ministerio de Vivienda, 2010; Autor).

Desinfección		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
Existe tanque de contacto de cloro		x			
Dosificadores calibrados	El dosificador no se encuentra en funcionamiento			x	
Se determina la demanda de cloro	No se determina la demanda de cloro por la falta de equipos necesarios para determinarla			x	
Tanque sin filtraciones		x			
Se mide el residual de cloro a la salida del tanque de contacto	Por la falta de equipos analíticos para la determinación del cloro no se mide el residual a la salida de los tanques de cloración			x	
Equipos y estructuras en buen estado	Aunque la estructura se encuentra en buen estado, el equipo de dosificación no se encuentra en funcionamiento		x		
Cuarto de cloración bien ventilado, aireado y de fácil		x			

Desinfección		¿Hay cumplimiento?			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción de lo observado</i>	<i>SI</i>	<i>P</i>	<i>NO</i>	<i>N/A</i>
acceso para el cambio de los cilindros					
Uso de implementos de seguridad apropiados	No hay un uso de implementos de seguridad como máscaras, guantes y demás, para la manipulación de las balas de cloro			x	
Procedimientos de seguridad apropiados para el cambio de los cilindros de cloro	Se utiliza el amoniaco para la detección de fugas, pero sin el equipo de seguridad		x		
Registro consumo de cloro	Hay un registro en el consumo del cloro	x			

Es importante que se cuente con equipos para la medición de residual de desinfectante en la planta Santa Lucia y la planta Casa de Teja, que permitan determinar la demanda de cloro del agua tratada. Hay un alto riesgo en la seguridad de los trabajadores de las plantas debido al uso deficiente de implementos de seguridad por parte de los operarios de la planta Casa de Teja y la identificación de fugas por parte de los operarios en la planta Santa Lucia al momento del cambio de las balas de cloro. El dosificador en mal estado de la planta Casa de Teja evita la cloración por cloro gaseoso en la unidad de desinfección, por lo tanto, se emplea hipoclorito de sodio de manera manual y en un proceso intermitente en la unidad de contacto.

6.2. Determinación de la calidad del agua potabilizada mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

6.2.1. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el Instituto Departamental de Salud (IDS).

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el laboratorio de salud pública departamental de Norte de Santander reportados por el IDS a la Unidad de Servicios Públicos de Abrego que abarcan desde enero del año 2020 hasta el mes de marzo del presente año. Todos estos resultados se recopilan en la Tabla 44 para cada fecha en la que se realizó el análisis fisicoquímico del agua entregada en la red de distribución del municipio. Tales resultados se compararon con la Resolución 2115 del 2007 para verificar que parámetros cumplieran con los valores aceptables para el agua potable.

Tabla 44. Resultados análisis fisicoquímicos de muestras del agua tratada en la red de distribución.

Parámetro	Resultados por fecha del análisis					Límites permisibles Res 2115 del 2007
	28/01/2020	13/08/2020	30/11/2020	15/12/2020	18/03/2021	
Color	0	0	14,1	0	0	15
Olor y Sabor	-	-	-	-	-	Aceptable
Turbidez	-	-	-	-	-	2
Cloro residual in Situ	1,2	1,5	1,5	1,3	1,4	0,3-2
pH	8,04	7,7	7,61	7,15	7,84	6,5-9
Hierro	-	-	-	-	-	0,3
Conductividad	-	-	-	-	-	1000
Fluoruros	-	-	-	-	-	1
Sulfatos	-	-	-	-	-	250
Dureza Total	43,04	39,6	44,43	45,3	48,79	300
Fosfatos	0,05	0,03	0	0	0,01	0,5
Nitritos	-	-	-	-	-	0,1
Alcalinidad	-	-	-	-	-	200
Cloruros	1,41	2	4,37	6,56	3,88	250

Al comparar los resultados obtenidos con los valores exigidos por la norma se observa que hay un cumplimiento de esta con respecto a los análisis fisicoquímicos realizados. A pesar de que todos los parámetros son cumplidos, muchos de los análisis fisicoquímicos que son importantes en el control de calidad del agua no son reportados por los informes del IDS a la USPA.

La Resolución 2115 del 2007 establece que poblaciones entre 10001 y 20000 habitantes que son atendidas por la persona prestadora tal es el caso de la USPA, la frecuencia de análisis fisicoquímicos tales como la turbiedad, el pH, el color y el

residual de cloro deben realizarse de manera mensual por la entidad sanitaria. La frecuencia de análisis no está siendo cumplida para estos parámetros y en el caso del reporte de los valores de turbiedad por el IDS no está siendo realizado. Análisis de parámetros como la dureza total y cloruros son cumplidos por la entidad sanitaria con la frecuencia semestral establecida por la norma. Caso contrario es con los parámetros de hierro total, residual de coagulante, COT y Fluoruros que no están siendo reportados en los informes. Tampoco se tiene un reporte de parámetros como la alcalinidad y conductividad que a pesar de no ser un gran factor de riesgo deben ser controlados, además de los sulfatos y nitritos que son parámetros con un mayor nivel de riesgo para la calidad del agua (Ministerio de la protección social, 2007).

Los resultados microbiológicos realizados para el agua tratada en la red de distribución desde enero del 2020 hasta la última fecha de análisis del presente año se muestran en la Tabla 45.

Tabla 45. Resultados análisis microbiológicos de muestras de agua tratada en la red de distribución.

Parámetros	Resultados por fecha del análisis					Límites permisibles Res 2115 del 2007
	28/01/2020	13/08/2020	30/11/2020	15/12/2020	18/03/2021	
Coliformes totales (NMP/100cm ³)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
E. Coli (NMP/100cm ³)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Giardia (Quistes/10L)	-	-	-	-	-	0
Cytosporidium (Ooquistes/10L)	-	-	-	-	-	0

En cuanto a las concentraciones de microorganismos presentes en 100 cm³ de muestra para el análisis de coliformes totales y E. Coli por el método de enzima-sustrato presentados en la Tabla 45 se observa que las concentraciones de esos microorganismos se encuentran dentro de los límites que son permisibles en el agua según la Resolución 2115 del 2007. Un problema identificado en los análisis microbiológicos entregados por el IDS es la falta de reportes de los análisis de los microorganismos Giardia y Cytosporidium cuya presencia en el agua tratada indica una valoración del 100 en el IRCA indicando una calidad del agua inviable sanitariamente.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos se puede concluir que los valores del IRCA correspondientes a un nivel de riesgo nulos obtenidos en los reportes no son del todo confiables, pues no se contemplan en estos reportes parámetros que tienen un alto valor en el incremento del puntaje IRCA como en el caso de la turbidez que tiene un valor considerable correspondiente a 15, la concentración de nitritos y COT con puntajes cada uno de 3.

6.3. Alternativas de mejoramiento.

Para enfocar el desarrollo de las alternativas es necesario un resumen de los principales problemas encontrados tanto de forma operativa, hidráulica y de gestión entre otros, identificados en el diagnóstico que son:

- Falta de insumos y equipos de laboratorio para el control de calidad del agua en los procesos de potabilización.
- Falta de dispositivos para la medición de caudales de salida de las dos plantas, medidores de nivel de los tanques, medidor de caudal de entrada planta Santa Lucía en mal estado y falta de dosificador de cloro en planta Casa de Teja.
- Falta de manejo de información como bitácoras, manuales, falta de planos detallados de la red de distribución, falta de planos de las unidades de potabilización de las plantas y de gestión de atención de quejas.
- Certificación de trabajadores para desempeñar su labor tanto en la planta como en la red de distribución deficiente.
- Falta de programas de mantenimiento y limpieza tanto en la red de distribución como en las plantas.
- Unidades de tratamiento con falencias hidráulicas por errores de diseño de las unidades y desgaste de estas, especialmente para las unidades de tratamiento de la planta Casa de Teja.
- Problemas operativos en las unidades de potabilización especialmente en la formación de floc y remoción de sólidos en suspensión en temporada de lluvias.
- Falta de programas de salud ocupacional, de equipos e implementos de seguridad de las plantas.

La Tabla 46 y Tabla 47 detallan un poco más los problemas obtenidos en los diagnósticos de las operaciones unitarias de las plantas.

Tabla 46. Resumen diagnóstico de operaciones unitarias de la planta Santa Lucía (Autor).

Aspecto de evaluación	Descripción	Falencias operativas	Causas problemas operativos	Falencias hidráulicas	Causas problemas hidráulicos
Coagulación	Canaleta Parshall para la mezcla rápida, dosificador de cloruro de polialuminio	Sin determinación de dosis de coagulante, preparación no adecuada de soluciones, sin curvas de calibración	Falta de equipos para determinación de turbidez y color para la prueba de jarras, y falta de agua destilada	Incumplimiento de los parámetros de diseño exigidos por la norma	Debido a errores de dimensionamiento de la unidad de mezcla que requieren de una alta precisión para el caudal tratado
Floculación	Floculador de flujo horizontal de placas	Sedimentos la unidad, sin buena distribución, formación deficiente de floc, falta de mantenimiento y lavado	Por mala dosificación no se da la formación de flocs y tampoco por la buena distribución del fluido	No se estudió	No se estudió
Sedimentación	Dos sedimentadores de flujo horizontal convencionales	Filtraciones, putrefacción de lodo, sin limpieza ni lavado, gran paso de floc y sin tratamiento de lodos	Filtraciones y putrefacción de lodos debido a la falta de lavado y mantenimiento. Paso de floc relacionado a los problemas hidráulicos y a la deficiente formación en etapas anteriores	Carga superficial insuficiente y tiempo de retención demasiado largo	Los tanques de sedimentación esta sobredimensionado para el caudal a tratar

Aspecto de evaluación	Descripción	Falencias operativas	Causas problemas operativos	Falencias hidráulicas	Causas problemas hidráulicos
Filtración	Filtros de alta Tasa de lechos mixtos de antracita y arena	Carreras de filtración cortas en temporada invernal, sin medidores de pérdidas de carga, sin medición de la calidad del agua de salida, fugas, presencia de algas y sin tratamiento de lodos	Las carreras de filtración son más cortas debido a la remoción ineficiente de sólidos en suspensión. Fugas y algas por falta de mantenimientos y lavados	Tasa de filtración por debajo de la norma siendo una filtración más lenta	Caudal menor para la capacidad de los filtros
Desinfección	Sistema de dosificación de cloro gaseoso	No hay funcionamiento del dosificador, sin medición de residual de cloro ni demanda de cloro, sin equipo de seguridad	Falta de equipos y reactivos para determinación de cloro, y falta de clorador	No se estudió	No se estudió

Tabla 47. Resumen diagnóstico de operaciones unitarias de la planta Casa de Teja (Autor).

Aspecto de evaluación	Descripción	Falencias operativas	Causas problemas operativos	Falencias hidráulicas	Causas problemas hidráulicos
Coagulación	Vertedero rectangular con resalto hidráulico y dosificador para cloruro de polialuminio	Sin determinación de dosis de coagulante, preparación no adecuada de soluciones, sin curvas de calibración y medidor de nivel en mal estado	Falta de equipos para determinación de turbidez y color para la prueba de jarras, y falta de agua destilada	Tiempo de mezcla mayor al exigido por la norma	Largo del resalto hidráulico

Aspecto de evaluación	Descripción	Falencias operativas	Causas problemas operativos	Falencias hidráulicas	Causas problemas hidráulicos
Floculación	Floculador de flujo vertical de tipo helicoidal	Mala formación de floc en temporada invernal, sedimentación en la unidad en esta temporada y formación de espumas	Una de las causas de la mala formación de floc es la mala dosificación de coagulante	No se estudió	No se estudió
Sedimentación	Sedimentadores y presedimentador de alta tasa de flujo horizontal de placas paralelas	Paso de floc considerable en invierno	Ineficiencia procesos precedentes con aguas muy turbias y coloreadas	velocidad critica de sedimentación por encima de la norma y tiempo de retención por debajo de la norma para el presedimentador. Tiempo de retención por debajo de la norma en el sedimentador	El volumen del sedimentador y presedimentador no son suficientes para tratar el caudal que ingresa a la planta
Filtración	Filtros de alta Tasa de lechos mixtos de antracita y arena	Carreras de filtración cortas en temporada invernal, sin medidores de pérdidas de carga, sin medición de la calidad del agua de salida, fugas, presencia de algas y sin tratamiento de lodos	Las carreras de filtración son más cortas debido a la remoción ineficiente de solidos en suspensión. Fugas y algas por falta de mantenimientos y lavados	Sin problemas de carácter hidráulico	Sin problemas de carácter hidráulico
Desinfección	Sistema de dosificación de cloro gaseoso	Dosificador descalibrado, medición de demanda ni residual de cloro y sin amoniaco para	Falta de mantenimiento y de equipos para la determinación del cloro	No se estudió	No se estudió

Aspecto de evaluación	Descripción	Falencias operativas	Causas problemas operativos	Falencias hidráulicas	Causas problemas hidráulicos
		detección de fugas			

6.3.1. Implementación de equipos de laboratorio para el control de calidad.

Como alternativas de mejoramiento para el laboratorio de control de calidad se presentarán propuestas de bajo, medio y alto costo. Para la selección de la propuesta más recomendada se tendrá en cuenta la capacidad económica de la USPA que provea la mayor confiabilidad de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos propuestos.

Las propuestas mostradas a continuación, contemplarán los análisis fisicoquímicos que deben realizar las plantas de potabilización de manera diaria para el control del agua como la turbidez, el pH, el cloro residual y el color tanto en los procesos de potabilización como en los muestreos de la red de distribución que establece la Resolución 2115 del 2007. Otros de los análisis fisicoquímicos de las propuestas serán los análisis quincenales en la red de distribución para la población atendida tal como especifica la Resolución 2115 del 2007. Estos análisis fisicoquímicos son el hierro total, la alcalinidad total, dureza total y residual de coagulante que para este caso será la determinación del aluminio al ser empleado como coagulante el cloruro de polialuminio.

Para la selección de los equipos de laboratorio, los reactivos y otros implementos de laboratorio, se tuvo como referencia el libro "Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd" (Baird, 2017), la norma ISO 7887, ISO 7027 y la norma Icontec NTC 2651. Los métodos de referencia para cada análisis fisicoquímico se muestran en la Tabla 48.

Tabla 48. Métodos de referencia para las propuestas del laboratorio de control (Autor).

Parámetro a medir	Método de análisis		
	Costo bajo	Costo medio	Costo alto
Color	Adaptación método SM-2120 C	Adaptación método SM-2120 C	Espectrofotométrico SM-2120 C
Turbidez	Nefelométrico SM-2130 B	ISO 7027 y Nefelométrico SM-2130 B	Nefelométrico SM-2130 B
pH	Electrométrico SM-4500-H ⁺	Electrométrico SM-4500-H ⁺	Electrométrico SM-4500-H ⁺
Cloro residual	Adaptación del método DPD 330,5 EPA	Colorimétrico DFD SM-4500-CI G	Colorimétrico DFD SM-4500-CI G
Dureza	Adaptación del método DPD 330,5 EPA	Titulométrico SM-2340 C	Titulométrico SM-2340 C
Alcalinidad	Titulación de ácido con fenolftaleína y bromocresol azul adaptación método Titulación SM-2320 B	Titulación SM-2320 B	Titulación SM-2320 B
Aluminio residual	Aluminón adaptación de Métodos Estándar para el Examen de Agua Potable y Aguas Residuales, 23 ^a Edición	Aluminón adaptación de Métodos Estándar para el Examen de Agua Potable y Aguas Residuales, 23 ^a Edición	Eriocromo Cianina R SM-3500-AI D
Hierro Total	Adaptación del método de Fenantrolina 315 B de EPA	Adaptación del método de Fenantrolina 315 B de EPA	Fenantrolina SM-3500-Fe D
Cloruros	Adaptación método nitrato de mercurio SM-4500-CI ⁻ C	Nitrato de mercurio SM-4500-CI ⁻ C	Argentométrico DFD SM-4500-CI ⁻ B

6.3.1.1. Propuesta de bajo costo.

Las especificaciones técnicas de los equipos seleccionados según los métodos especificados en la Tabla 48 se presentan en la Tabla 49 para la propuesta de bajo costo. La búsqueda de los equipos y sus especificaciones se hizo mediante sitios web de fabricantes confiables con equipos certificados para los análisis fisicoquímicos requeridos.

Tabla 49. Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo bajo (Autor).

Equipo	Marca	Rango de medida	Precisión	Repetitividad	Resolución
Turbidímetro wgz-1b portátil	NEWTRY	0-200 NTU	2,5 % F. S	≤1%	0,1 NTU
pH-metro AI311 Premium Series PH60 Kit	Apera	0-14 pH	±0,01 PH	-	0,1
Test kit de cloro libre y total (rango bajo y medio) HI38017	Hanna	0,00 a 0,70 mg / L Cl y 0,0 a 3,5 mg / L	-	-	0,02 mg / L y 0,1 mg / L Cl
Colorímetro Checker de Color del agua HI727	Hanna	0 a 500 UCP	± 10 UCP ± 5% de lectura	-	5 UCP
Balanza Analítica de laboratorio cgoldenwall JTD	cgoldenwall	0,001 g a 200 g	± 1 mg	± 2 mg	0,001g
Colorímetro Checker de hierro del agua HI721	Hanna	0,00 a 5 ppm	±0,04 ppm ±2% de precisión en la lectura	-	0,01 ppm
Fotómetro Portátil de Aluminio HI 97712	Hanna	0,00 a 1 ppm	±4 ppm ±4%	-	0,01 ppm

Para determinar los costos de los equipos de la propuesta de bajo precio se tomó los precios que reportaban las páginas web de los fabricantes tanto nacionales como internacionales según el caso de la página web que reportaba dicho precio. Para los precios internacionales se tuvo en cuenta el costo del equipo más el IVA

del país para dicha evaluación y se hizo la respectiva conversión a la moneda local. Cabe destacar que estos precios pueden variar del precio final, pero permiten un estimado del valor de inversión de los equipos a adquirir sin tener en cuenta el precio de transporte de estos.

La Tabla 50 muestra los costos de inversión de cada equipo, así como la cantidad de equipos a adquirir. El criterio para seleccionar la cantidad de equipos se hizo para las dos plantas en los análisis diarios y para los análisis quincenales de la red de distribución, solo se seleccionó una cantidad de un solo equipo para cada uno de los análisis. El análisis de cloro residual debe hacerse de manera diaria pero la selección de solo uno de los equipos para determinación de cloro se debe a que la planta Santa Lucía ya cuenta con dicho equipo tal como se mostró en la Tabla 15.

Tabla 50. Costo de inversión de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo bajo (Autor):

Cantidad	Equipo	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
2	Turbidímetro wgz-1b portátil	\$ 984.098	\$ 1.968.197
2	Apera Instruments AI311 Premium Series PH60 Kit	\$ 297.855	\$ 595.710
1	Test kit de cloro libre y total (rango bajo y medio) HI38017	\$ 392.272	\$ 392.272
2	Colorímetro Checker de Color del agua HI727	\$ 273.578	\$ 547.157
2	Balanza Analítica de laboratorio cgoldenwall JTD	\$ 1.367.146	\$ 2.734.291
1	Colorímetro Checker de hierro del agua HI721	\$ 168.069	\$ 168.069
1	Fotómetro Portátil de Aluminio HI 97712	\$ 1.661.916	\$ 1.661.916
Total			\$ 8.067.612

Los reactivos necesarios para la ejecución de los métodos referenciados en la Tabla 48 se buscaron en páginas web de fabricantes y distribuidores de sustancias grado reactivo certificados en ACS tal como exigen dichos métodos. Las cantidades de reactivo que se consumen por año se determinó mediante las cantidades que se requieren para preparación de patrones de solución, el tiempo de almacenamiento de estas, las cantidades diarias necesarias y el número de muestras a analizar suponiendo de 8 muestras diariamente según la normativa. Los reactivos a adquirir para los análisis fisicoquímicos diarios se presentan en la Tabla 51.

Tabla 51. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis fisicoquímicos diarios (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Fosfato de sodio anhidrido 500g	Innovating Science	\$ 168.068,70	\$ 193.615,14
Fosfato potásico, dibásico, 99+ %, para análisis, anhidro 1 kg	ACROS Organics	\$ 398.181,78	\$ 439.592,69
EDTA pureza 99,8% (100 g)	LaB	\$ 88.142,70	\$ 21.154,25
Sulfato de DPD 100 g	Millipore	\$ 493.001,52	\$ 260.304,80
Yoduro de potasio 99,9 % pureza (500 g)	Az Laboratories	\$ 182.784,05	\$ 1.331.837,69
Solución de arsenito de Sodio (0,05 M) 1L	Millipore	\$ 321.571,45	\$ 1.007.958,53
Tioacetamida Reactivo ACS, ≥99,0% (25 g)	Sigma-Aldrich	\$ 317.797,20	\$ 45.762,80
Sulfato de amonio y hierro (II) hexahidratado ≥99% (500 g)	-	\$ 161.933,81	\$ 17.193,48

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Ácido Sulfúrico al 98 % (1 L)	Millipore	\$ 200.561,98	\$ 105.896,73
Ácido fosfórico 98 % (1 L)	Millipore	\$ 455.000,00	\$ 87.360,00
Ácido acético glacial 99,7% (500 mL)	Sigma-Aldrich	\$ 260.516,80	\$ 250.096,13
Tiosulfato de Sodio 99% (250 g)	Sigma-Aldrich	\$ 237.369,90	\$ 22.518,33
Cloruro de mercurio (II) al 99% (100 g)	Sigma-Aldrich	\$ 345.919,84	\$ 1.660,42
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000,00	\$ 1.209.600,00
Sulfato de hidracina (100 g)	Hach	\$ 304.204,35	\$ 6.084,09
Hexametilentetramina (100 g)	Millipore	\$ 267.000,00	\$ 53.400,00
Total			\$ 5.054.035,07

La resolución 2115 para la población atendida por la USPA exige una sola muestra por análisis fisicoquímico quincenal. Esto se tendrá en cuenta además del consumo de reactivos especificados por el fabricante de dichos reactivos, para el cálculo de los costos presentados en la

Tabla 52.

Tabla 52. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis fisicoquímicos quincenales propuesta de costo bajo (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Test Kit Dureza Total CaCO ₃ (0,0 a 30,0 - 0 a 300 mg/ L) 100 tests	Hanna	\$ 128.870,07	\$ 25.774,01
Test Kit Alcalinidad HI 3811	Hanna	\$ 261.367,45	\$ 57.025,63
Reactivos para determinación de hierro con Hanna HI721	Hanna	\$ 78.394,71	\$ 78.394,71

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Test Kit De Cloruro Hi 3815	Hanna	\$ 223.228,00	\$ 48.704,29
Kit de reactivo para Aluminio (100 test)	Hanna	\$ 565.599,94	\$ 135.743,99
Total			\$ 345.642,63

Según las especificaciones de los métodos a usar para esta propuesta de bajo costo se requieren los materiales complementarios de laboratorio como cristalería y otros elementos presentados en la Tabla 53 para las dos plantas. El material de cristal para medición volumétrica es de tipo A para una mayor precisión en la medición del volumen.

Tabla 53. Costos de inversión en cristalería propuesta de costo bajo y costo medio (Autor).

Cantidad	Insumo de laboratorio	Marca	Capacidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
12	Vaso de precipitado de 1000 mL	Maccx	1000 mL	\$ 33.614	\$ 403.365
2	Pipeteador para pipetas de 5 mL	-	5 mL	\$ 9.711	\$ 19.421
2	Pipeteador para pipetas de 10 mL	-	10 mL	\$ 9.711	\$ 19.421
2	Pipeteador para pipetas de 2 mL	-	2 mL	\$ 9.711	\$ 19.421
1	Filtros de 0,45 micras	-	0,45 um	\$ 112.793	\$ 112.793
2	Frasco color ámbar de 250 mL	-	250 mL	\$ 2.100	\$ 4.200
2	Bureta clase A de borosilicato	EISCO	25 mL	\$ 89.973	\$ 179.946
2	Juego de soportes de laboratorio de	EISCO	-	\$ 119.478	\$ 238.956

Cantidad	Insumo de laboratorio	Marca	Capacidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
	acero inoxidable				
8	Erlenmeyer de 125 mL	Kimax	125 mL	\$ 12.972	\$ 103.776
6	Balón aforado Tipo A	Brand	100 mL	\$ 38.800	\$ 232.800
8	Frasco color ámbar de 1 L	Boston	1 L	\$ 14.149	\$ 113.191
2	Erlenmeyer de 3,3 Boro	EISCO	250 mL	\$ 13.300	\$ 26.600
Total					\$ 1.473.891

6.3.1.2. Propuesta de medio costo.

La Tabla 54 presenta todos los equipos junto con sus especificaciones técnicas para la propuesta de costo medio y la selección de los equipos se realizó en páginas web de fabricantes certificados para los métodos de análisis de la Tabla 48.

Tabla 54. Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo medio (Autor).

Equipo	Marca	Rango de medida	Precisión	Repetitividad	Resolución
Turbidímetro 860040 portátil	Sper Scientific	0 a 49,99 NTU y 50 a 1000 NTU	$\pm 5\%$ RDG o 0.5 NTU y $\pm 5\%$ RDG o 5 NTU	-	0,01 NTU y 1 NTU
Fotómetro Portátil de Color del Agua - HI97727	Hanna	0 a 500 PCU	± 10 PCU $\pm 5\%$ de la lectura a 25 °C	-	1 PCU
Fotómetro PCE-CP 20	PCE	Alcalinidad: 0-200 mg/L Cloro libre y total: 0-8 mg/L Dureza total: 0-500 mg/L pH: 6,5-8,4	Alcalinidad: 3-18 mg/L Cloro libre y total: 0,10-1,00 mg/l Dureza total: 3-58 mg/L pH: 0,11	-	Alcalinidad: 1 mg/L Cloro: 0,01 mg/L Dureza total: 1 mg/l pH: 0,01

Equipo	Marca	Rango de medida	Precisión	Repetitividad	Resolución
PH850 - Kit de medidor de pH portátil (AI5510)	Apera	0-14,00 pH	$\pm 0,01 \text{ pH} \pm 1$	-	0,01/0,1
Balanza Analítica de laboratorio cgoldenwall JTD	cgoldenwall	0,001 g a 200 g	$\pm 1 \text{ mg}$	$\pm 2 \text{ mg}$	0,001g
Colorímetro Checker de hierro del agua HI721	Hanna	0,00 a 5 ppm	$\pm 0,04 \text{ ppm} \pm 2\%$ de precisión en la lectura	-	0,01 ppm
Fotómetro Portátil de Aluminio HI 97712	Hanna	0,00 a 1 ppm	$\pm 4 \text{ ppm} \pm 4\%$	-	0,01 ppm

La cantidad de equipos de la Tabla 55 son de una para cada planta en los análisis diarios y los análisis quincenales para una sola de las plantas. El cálculo de los costos se realizó de la misma manera que en la inversión de bajo costo para los equipos.

Tabla 55. Costo de inversión de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo medio (Autor):

Cantidad	Equipo	Precio (COP)	Precio total (COP)
2	Turbidímetro Sper Scientific 860040 portátil	\$ 1.456.222	\$ 2.912.444
2	Fotómetro Portátil de Color del Agua - HI97727	\$ 1.607.708	\$ 3.215.416
2	Fotómetro PCE-CP 20	\$ 2.491.440	\$ 4.982.880
2	PH850 - Kit de medidor de pH portátil (AI5510)	\$ 505.102	\$ 1.010.205
2	Balanza Analítica de laboratorio cgoldenwall JTD	\$ 1.367.146	\$ 2.734.291

Cantidad	Equipo	Precio (COP)	Precio total (COP)
1	Colorímetro Checker de hierro del agua HI721	\$ 168.069	\$ 168.069
1	Fotómetro Portátil de Aluminio HI 97712	\$ 1.661.916	\$ 1.661.916
Total			\$ 16.685.220

Los costos anuales y unitarios para los reactivos de las pruebas diarias son los mismos que los mostrados en la Tabla 51. En el caso de los reactivos para los análisis fisicoquímicos quincenales, se tuvo en cuenta los especificados en los métodos referenciados previamente en la Tabla 48. El cálculo de los costos y las cantidades de reactivo se hizo de la misma manera que en el caso de la propuesta de bajo costo.

Tabla 56. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis fisicoquímicos quincenales propuesta de costo medio (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Pastillas para dureza total 1, 20 mL	PCE	\$ 99.127	\$ 47.581
Pastillas para dureza total 2, 10 mL	PCE	\$ 115.787	\$ 55.578
Pastillas para alcalinidad	PCE	\$ 82.467	\$ 39.584
Reactivos para determinación de hierro con Hanna HI721	Hanna	\$ 78.395	\$ 78.395
Cloruro de sodio (500 g)	Millipore	\$ 156.323	\$ 1.052
Ácido nítrico 69 % (1 L)	Millipore	\$ 266.243	\$ 4.784
Hidróxido de Sodio en lentejas (250 g)	Sigma-Aldrich	\$ 207.342	\$ 3.317
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000	\$ 87.360
1,5 Difenilcarbazona ACS (5 g)	Millipore	\$ 451.918	\$ 67.788
Xilenocianol (10 g)	Sigma-Aldrich	\$ 389.575	\$ 3.506

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Isopropanol 99,5% ACS (1 L)	Sigald	\$ 338.526	\$ 101.558
Nitrato de Mercurio monohidratado (50 g)	Millipore	\$ 634.926	\$ 63.493
Nitrato de Mercurio monohidratado (50 g) (Para patrón de titulación fuerte)	Millipore	\$ 634.926	\$ 317.463
Kit de reactivo para Aluminio (100 test)	Hanna	\$ 565.599,94	\$ 135.743,99
Total			\$ 1.007.202

Los materiales complementarios de cristalería para esta propuesta son iguales a los de la propuesta de costo bajo presentados en la Tabla 53.

6.3.1.3. Propuesta de alto costo.

La selección de los equipos de la Tabla 57 y el cálculo de la inversión de los equipos de la Tabla 58 para la propuesta de alto costo, se hizo con la misma metodología para los equipos de la Tabla 49, Tabla 50, Tabla 54 y Tabla 55.

Tabla 57. Especificaciones técnicas de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo alto (Autor).

Equipo	Marca	Rango de medida	Precisión	Repetitividad	Resolución
Turbidímetro portátil TN 480 (ISO 7027)	Apera	0 a 19,99 NTU, 20 a 99,9 NTU y 100 a 1000 NTU	$\leq \pm 2\%$ de lectura	$\leq \pm 1\%$ de lectura	0,01/0,1/1 NTU
Espectrofotómetro UV/VIS UV-5100B (ancho de banda de 2 nm)	M&A Instruments	Longitud de onda: 190 nm a 1000 nm Fotométrico: -0,3 a 3 A, 0 a 200 %	± 1 nm y $\pm 0,5\%$ T	0,5 nm y 0,3% T	-

Equipo	Marca	Rango de medida	Precisión	Repetitividad	Resolución
PH850 - Kit de medidor de pH portátil (AI5510)	Apera	0-14,00 pH	$\pm 0,01$ pH ± 1	-	0,01/0,1
Horno de secado convencional	Faithful	10 °C a 300 °C	-	-	0,111 °C
Balanza analítica digital de alta precisión	Bonvoision	0 a 120 g	$\pm 0,1$ mg	$\pm 0,2$ mg	0,1 mg

Tabla 58. Costo de inversión de los equipos de laboratorio para la propuesta de costo alto (Autor).

Cantidad	Equipo	Precio (COP)	Precio total (COP)
2	Turbidímetro portátil TN 480 (ISO 7027)	\$ 4.450.758	\$ 8.901.516
2	Espectrofotómetro UV/VIS UV-5100B (ancho de banda de 2 nm)	\$ 6.355.611	\$ 12.711.223
2	PH850 - Kit de medidor de pH portátil (AI5510)	\$ 505.102	\$ 1.010.205
1	Horno de secado convencional	\$ 3.032.706	\$ 3.032.706
2	Balanza analítica digital de alta precisión	\$ 3.077.599	\$ 6.155.199
Total			\$ 31.810.848

Los costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis quincenales se muestran en la Tabla 59 para la dureza, en la Tabla 60 para la alcalinidad, en la

Tabla 61 para hierro, en la Tabla 62 para cloruros y en la Tabla 63 para determinación de aluminio.

Tabla 59. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de dureza costo alto (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Carbonato de calcio estándar volumétrico (50 g)	Millipore	\$ 314.475	\$ 37.737
EDTA pureza +99% ACS (100 g)	Sigma-Aldrich	\$ 222.048	\$ 54.777
Cloruro de amonio (454 g)	Hach	\$ 271.338	\$ 121.205
Calmagita (5 g)	Hach	\$ 310.890	\$ 37.307
Hidróxido de Amonio al 32% (2,5 L)	Sigma-Aldrich	\$ 345.879	\$ 237.411
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000	\$ 68.880
Ácido Clorhídrico 37% (1 L)	Millipore	\$ 93.000	\$ 27.900
Total			\$ 585.218

Tabla 60. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de alcalinidad costo alto (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Carbonato de sodio estándar primario (500 g)	Sigald	\$ 851.948	\$ 102.234
Ácido Sulfúrico al 98 % (1 L)	Millipore	\$ 200.562	\$ 1.097
Ácido Clorhídrico 37% (1 L)	Millipore	\$ 93.000	\$ 797
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000	\$ 235.200
Solución indicadora verde de bromocresol (100 mL)	Hach	\$ 176.285	\$ 8.462
Solución indicadora purpura de metacresol (100 mL)	Chemi	\$ 129.985	\$ 6.239

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Solución indicadora de fenolftaleína (100 mL)	Hach	\$ 96.920	\$ 4.652
Tiosulfato de sodio pentahidratado (500 g)	Millipore	\$ 240.525	\$ 24.052
Total			\$ 382.733

Tabla 61. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de hierro total costo alto (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Ácido Clorhídrico 37% (1 L) con menos de 0,1 ppm de Fe	Millipore	\$ 93.000	\$ 11.160
Clorhidrato de hidroxilamina (113 g)	Hach	\$ 365.344	\$ 64.663
Acetato de amonio (500 g)	Millipore	\$ 414.569	\$ 103.642
Acetato de Sodio trihidratado (500 g)	Millipore	\$ 280.488	\$ 112.195
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000	\$ 456.120
Monohidrato de fenantrolina 1,10 (1 g)	Sigma-Aldrich	\$ 126.778	\$ 25.356
Sulfato de amonio ferroso hexahidrato (113 g)	Hach	\$ 225.063	\$ 5.593
Ácido Sulfúrico al 98 % (1 L)	Millipore	\$ 200.562	\$ 8.022
Solución de permanganato de potasio al 0,1 N (1 L)	Hach	\$ 114.922	\$ 2.758
Total			\$ 789.509

Tabla 62. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de cloruros costo alto (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Cromato de potasio +99% pureza (100 g)	Sigald	\$ 342.868	\$ 171.434

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Nitrato de plata para análisis ACS (25 g)	Sigald	\$ 847.942	\$ 81.233
Cloruro de sodio (500 g)	Millipore	\$ 156.323	\$ 1.052
Aluminio y potasio sulfato dodecahidrato ACS (1 kg)	Millipore	\$ 550.970	\$ 68.871
Hidróxido de Sodio en lentejas (250 g)	Sigma-Aldrich	\$ 207.342	\$ 2.488
Ácido Sulfúrico al 98 % (1 L)	Millipore	\$ 200.562	\$ 10.969
Peróxido de hidrogeno al 30% (1L)	Millipore	\$ 128.241	\$ 3.078
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000	\$ 117.600
Hidróxido de Amonio al 32% (2,5 L)	Sigma-Aldrich	\$ 345.879	\$ 6.918
Total			\$ 463.642

Tabla 63. Costos anuales y unitarios de los reactivos para los análisis de aluminio costo alto (Autor).

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
Aluminio y potasio sulfato dodecahidrato ACS	Millipore	\$ 550.970	\$ 9.687
Agua destilada (10 L)	Millipore	\$ 168.000	\$ 608.160
L (+)-Ácido ascórbico (100 g)	Millipore	\$ 152.000	\$ 3.648
Acetado de Sodio trihidratado (500 g)	Millipore	\$ 280.488	\$ 152.585
Ácido acético glacial 99,7% (500 mL)	Sigma-Aldrich	\$ 260.517	\$ 59.596
Eriocromo Cianina R (EM Science, Gibbstown, NJ) (25 g)	Sigma-Aldrich	\$ 321.957	\$ 3.863
Solución indicadora verde de bromocresol (100 mL)	Hach	\$ 176.285	\$ 10.577

Reactivo	Marca	Precio (COP)	Precio anual (COP/año)
EDTA pureza +99% ACS (100 g)	Sigma-Aldrich	\$ 222.048	\$ 24.647
Hidróxido de Sodio en lentejas (250 g)	Sigma-Aldrich	\$ 207.342	\$ 33.258
Ácido Sulfúrico al 98 % (1 L)	Millipore	\$ 200.562	\$ 33.015
Total			\$ 939.038

En este caso el costo de inversión en complementos de laboratorio es mayor en comparación al de las propuestas de bajo y medio costo, esto es debido a que los métodos empleados para esta alternativa requieren de más complementos al utilizar una mayor cantidad de reactivos. Los complementos a implementar además de los presentados en la Tabla 53, se presentan en la Tabla 64 como complementos extras de laboratorio.

Tabla 64. Costos extra de inversión en cristalería para propuesta de costo alto (Autor).

Cantidad	Insumo de laboratorio	Marca	Capacidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
8	Botellas de HDPE (1L)	Polylab	1 L	\$ 16.958	\$ 135.664
4	Balón aforado clase A Boro 3,3	Brand	250 mL	\$ 67.306	\$ 269.224
2	Erlenmeyer de 3,3 Boro	EISCO	500 mL	\$ 51.915	\$ 103.829
2	Plato de evaporación de porcelana	EISCO	200 mL	\$ 42.764	\$ 85.528
5	Tubos Nessler de Boro 3,3 clase A	Glasso	50 mL	\$ 33.767	\$ 168.835

Cantidad	Insumo de laboratorio	Marca	Capacidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
3	Matraz aforado Clase A de boro 3,3	EISCO	1000 mL	\$ 172.140	\$ 516.419
1	Bureta clase A de borosilicato	EISCO	50 mL	\$ 93.708	\$ 93.708
5	Tubo Nessler Clase A	Lab Glass	100 mL	\$ 14.131	\$ 70.655
1	Embudo de Separación Squibb	Kimax	125 mL	\$ 322.702	\$ 322.702
Total					\$ 1.766.564

6.3.1.4. Selección de la alternativa más adecuada de acuerdo a las capacidades de la USPA.

Los costos totales para cada una de las alternativas propuestas se muestran en la Tabla 65. Se recomienda la selección de la alternativa en función del presupuesto de la empresa de servicios públicos, la confiabilidad de los datos que desean manejar y el plazo para el que desean tener ya realizada la propuesta. Cabe destacar que las alternativas de mayor costo son las que poseen una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos, pero también requieren de un mayor tiempo para su implementación.

Tabla 65. Costos totales para cada una de las alternativas de laboratorio de control (Autor).

Alternativa	Precio Equipos (COP)	Precios reactivos de laboratorio en un año (COP)	Precio de la cristalería de laboratorio (COP)	Precio total (COP)
Bajo costo	\$ 8.067.612	\$ 5.399.678	\$ 1.473.891	\$ 14.941.180
Medio costo	\$ 16.685.220	\$ 6.061.237	\$ 1.473.891	\$ 24.220.348

Alto costo	\$ 31.810.848	\$ 8.214.174	\$ 3.240.455	\$ 43.265.477
------------	---------------	--------------	--------------	---------------

6.3.1.5. Otros aspectos a implementar para el laboratorio.

Otro aspecto importante para adecuar un laboratorio de control de calidad son los equipos de seguridad y las medidas de seguridad empleados. Según la Resolución 082 del 2009 un laboratorio para el control de los parámetros fisicoquímicos requiere de equipos de seguridad como lavaojos, duchas de seguridad y extractores, además de los implementos comunes que deben usar los trabajadores en un laboratorio. Estos implementos y equipos se muestran en la Tabla 66 junto al presupuesto necesario para la adquisición de estos. Estos utensilios de seguridad se aplicarán para todas las propuestas.

Tabla 66. Presupuesto de equipos e implementos de seguridad de laboratorio para las dos plantas.

Implemento de seguridad	Cantidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
Ducha mixta de seguridad con fuente lavaojos	2	\$ 1.790.000	\$ 3.580.000
Extractor de gases	2	\$ 2.166.181	\$ 4.332.363
Paquete X 7 Guantes De Nitrilo Verde 18" Ansell 37-185	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Careta 3m Media Cara 6200	2	\$ 102.500	\$ 205.000
Gafas De Seguridad 3m de policarbonato	2	\$ 36.900	\$ 73.800
Traje Overol Tyvek Kleenguard A35 Antifluido Impermeable	2	\$ 29.300	\$ 58.600
Total			\$ 8.329.763

Además de los equipos de seguridad e implementos, también es importante el manejo de residuos y el correcto almacenamiento de las sustancias químicas según la propuesta escogida por la empresa de servicios públicos. El almacenamiento de las sustancias deberá realizarse teniendo como referente la norma NTC 1692:2013,

que especifica las medidas necesarias para el almacenamiento y clasificación de los reactivos. También se deberá tener en cuenta las especificaciones de almacenamiento y seguridad mostrados en las fichas de seguridad proporcionadas por los fabricantes de las sustancias químicas para la propuesta de equipos e insumos escogida para las plantas del municipio de Abrego.

Es necesario para el laboratorio desarrollar un sistema de gestión de calidad que garantice su operación eficaz, que sea técnicamente competente y que este capacitado para la producción de resultados de ensayo confiables. Para el sistema de gestión de calidad la USPA deberá seguir las indicaciones de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017 que establece los requisitos generales de competencia e imparcialidad de los laboratorios. Esta norma se aplicará para el control de la información de las plantas en los análisis, la adquisición de productos y servicios, el aseguramiento de la validez de los resultados, los registros técnicos, el personal capacitado para desempeñar la función y la validación de los métodos empleados.

6.3.2. Alternativas equipos para los procesos unitarios de potabilización de las plantas.

Debido a los requerimientos de equipos de la planta el enfoque de estas alternativas será para la adaptación del cumplimiento del aparatado de instrumentación que exige la Resolución 082 del 2009 no cumplidos en la Tabla 17 y la Tabla 18, como los medidores de caudales de salida de las plantas, el cambio de los medidores de caudal de entrada que se encuentran en mal estado, medidores de nivel de los tanques y los medidores de caudal de lavado de filtros. Además de esa instrumentación también en esta propuesta se contemplará la implementación del dosificador de cloro ausente en la planta Casa de Teja y que es indispensable para el suministro de cloro gaseoso para la desinfección. La Tabla 67 muestran los equipos a utilizar para esta propuesta y la Tabla 68 los complementos del macromedidor de caudal.

Tabla 67. Equipos de medición de caudales y de nivel (Autor).

Cantidad	Equipo	Marca	Capacidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
1	Dosificador de inyección directa modelo 610	Regal	100 lb/día	\$ 13.872.865	\$ 13.872.865

Cantidad	Equipo	Marca	Capacidad	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
1	Macromedidor tipo Woltmann 6 pulgadas R160 Tipo 1	Control aguas	Qmax=300m3/h, Qt = 30 m3/h y 4,5 m3/h	\$ 2.499.000	\$ 2.499.000
1	Macromedidor tipo Woltmann 10 pulgadas R160 Tipo 1	Control aguas	Qmax=800m3/h, Qt = 80 m3/h y 12 m3/h	\$ 5.593.000	\$ 5.593.000
2	Medidor de nivel por ultrasonido PWCS72	WNK	0-10 m y precisión: 0,25 F.S	\$ 712.757	\$ 1.425.513
1	Medidor de nivel por ultrasonido PWCS71	WNK	0-5 m y precisión: 0,25 F.S	\$ 534.568	\$ 534.568
1	Regla métrica de acero inoxidable	Jaguar	30 cm	\$ 39.900	\$ 39.900
Total					\$ 23.964.846

Tabla 68. Dispositivos complementarios para los macromedidores (Autor).

Cantidad	Equipo	Marca	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
1	Filtro en Y 6 pulgadas	Control aguas	\$ 900.000	\$ 900.000
1	Filtro en Y 10 pulgadas	Control aguas	\$ 2.708.000	\$ 2.708.000
2	Válvula compuerta elástica extremo bridada de 6 pulgadas	Apolo	\$ 1.367.000	\$ 2.734.000

Cantidad	Equipo	Marca	Precio unitario (COP)	Precio total (COP)
2	Válvula compuerta elástica extremo bridada de 10 pulgadas	Apolo	\$ 3.624.000	\$ 7.248.000
1	Brida de acople universal 6 pulgadas	Apolo	\$ 231.000	\$ 231.000
1	Brida de acople universal 10 pulgadas	Apolo	\$ 605.000	\$ 605.000
3	Brida de PVC de 6 pulgadas	Control aguas	\$ 161.657	\$ 484.971
3	Brida de PVC de 10 pulgadas	Control aguas	\$ 169.396	\$ 508.188
2	Válvula de ventosa cámara sencilla 2 pulgadas	Apolo	\$ 435.000	\$ 870.000
2	Válvula de ventosa cámara sencilla 3 pulgadas	Apolo	\$ 494.000	\$ 988.000
Total				\$ 17.277.159

El motivo de la selección del mismo dosificador que posee la planta Santa Lucia para el clorador de la planta Casa de Teja se debe a que este clorador no requiere energía para su funcionamiento y necesita de menos mantenimiento en comparación a los cloradores al vacío. El clorador requiere de un mantenimiento con una frecuencia mínima anual es por esto que es importante realizar un mantenimiento de los cloradores de las dos plantas.

Los macromedidores de la Tabla 68 requieren de una serie de complementos para ser implementados en tuberías tal como especifican los fabricantes de dichos macromedidores. Es fundamental la utilización de estos implementos para la seguridad del macromedidor, de la tubería y para una mayor precisión en la

medición del caudal. El costo total entre los implementos de los macromedidores de la Tabla 68 y los equipos de la Tabla 67 es de 41.242.005 COP.

Tal como se mostró al comienzo de la sección de alternativas y en el diagnóstico, el medidor de caudal de entrada de la planta Santa Lucía no está nivelado y está en mal estado es por esto que es importante su remplazo u otra alternativa para su mejoramiento. En este caso con el fin de disminuir costos, se propone la medición manual de caudal midiendo el nivel del agua para conocer el caudal. El caudal en vertederos rectangulares se determina mediante la Ecuación 2 con la altura desde el vertedero hasta el nivel del agua y el ancho de la canaleta en unidades de centímetros. Cuando se requiera medir el caudal se puede fijar una regla antes del vertedero a una distancia mayor o igual de 4 veces la longitud de este.

Ecuación 2. Cálculo vertedero rectangular sin contracciones en unidades de L/s (Monroy, 2010).

$$Q = 0,0184LH^{\frac{3}{2}}$$

La implementación de esta alternativa permitirá a la USPA tener un mayor control de los caudales de entrada y salida de las plantas, y el volumen de agua que se almacena en los tanques. La utilización de esta alternativa queda a criterio de la empresa según el presupuesto con el que cuente. Es prioridad la utilización del dosificador de esta propuesta, es por esto que si la USPA no cuenta con la capacidad económica suficiente para todos los equipos, adquiera solamente el dosificador.

6.3.3. Alternativa de mejoramiento de carácter operacional.

6.3.3.1. Manejo de la información.

Para la implementación de los manuales operativos de las plantas Santa Lucía y Casa de Teja se presentará en la Tabla 69 todos los aspectos de referencia que se deben tener en cuenta para su elaboración. Para entrar en mayor detalle se recomienda hacer uso de la normativa referenciada en dicha tabla.

Tabla 69. Requisitos para la elaboración del manual operacional de las plantas (Ministerio de Vivienda, 2010).

Actividad	Descripción
Introducción	En este apartado del manual se debe contemplar los datos de la institución y una descripción de esta
Descripción de componentes	En el manual se debe contemplar las características operativas de cada componente de las plantas, con fin de proporcionar un mayor conocimiento de estos para los trabajadores
Medición de caudal	Revisar la frecuencia de medición de caudales del “Protocolo de Autocontrol persona prestadora del servicio público de acueducto y los procesos de supervisión por parte de la Autoridad Sanitaria” (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2016) para establecer los horarios de medición de caudal
Dosificación de coagulante	Especificar como realizar el proceso de prueba de jarras teniendo como referencia la norma NTC 3903
Mezcla rápida	Establecer el paso a paso para el control de la mezcla rápida como la vigilancia de la dosificación estable del eyector y el determinar que el gradiente de velocidad sea el correcto. Para mayor detalle revisar título C del RAS
Floculación	Revisar la ficha técnica C.F.1 título C del RAS para plantear el paso a paso a tener en cuenta para la operación
Sedimentación	Utilizar como referencia la ficha técnica C.S.1 para el sedimentador de la planta Casa de Teja y la ficha técnica C.S.3 para el sedimentador y presedimentador de la planta Santa Lucía del título C del RAS
Filtración	Seguir el proceso de operación de la ficha técnica C.Fi.1 del título C del RAS
Desinfección	Seguir el procedimiento título de la ficha técnica C.D.1 del título C del RAS y usar como referente el artículo 121 de la Resolución 0330 del 2017 para determinar la demanda de cloro
Información de manuales de equipos	Especificar el modo de uso de los equipos según los manuales de los fabricantes
Muestreos y análisis	Revisar la normativa referenciada en el apartado 5.3.1 de las alternativas

Para la elaboración del manual de mantenimiento es recomendable el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo como correctivo para cada uno de los

instrumentos, las operaciones unitarias, medidores, el sistema eléctrico y el sistema de bombeo de la planta. Se sugiere tomar como referencia las recomendaciones y los mantenimientos estipulados en el del título C del RAS. Los aspectos a que debe contemplar un manual de mantenimiento son los siguientes:

- Introducción del tipo de planta de tratamiento.
- Mantenimiento de obras civiles.
- Mantenimiento de válvulas, medidores e instrumentos.
- Mantenimiento de equipos de bombeo y sistema eléctrico.
- Aspectos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Mantenimiento de medio filtrante.
- Mantenimiento de todos los sistemas.

Se requiere de una nueva elaboración de los planos realizando mediciones de las dimensiones características de cada unidad de mezcla rápida, de los floculadores, sedimentadores, filtros, tanques de contacto y tanques de almacenamiento. La importancia de un nuevo diseño de los planos radica en que facilitará un estudio futuro hidráulico de las diferentes unidades de las plantas de una manera más detallada.

Para la actualización de los planos de la red de distribución se propone de un estudio y un catastro de todas las redes del municipio, especificando en ellos la instrumentación en toda la red, las dimensiones de las diferentes tuberías, sus materiales, entre otros aspectos. Es importante para la red de distribución llevar un sistema de registro histórico que especifique la presencia de daños en la red de distribución, la fechas en las que ocurrieron y las reparaciones que se hayan realizado. También es importante establecer un sistema de quejas y reclamos empleando como norma de referencia la norma ISO 10002.

La recopilación histórica de los reportes de control que deberá llevar a cabo la USPA tal como lo exige la Resolución 082 del 2009 para los laboratorios, se implementarán los anexos técnicos número 2, 3 y 4 para el registro de análisis de muestras, el formato de control diario y las bitácoras de operación respectivamente, del Protocolo de Autocontrol persona prestadora del servicio público de acueducto y los procesos de supervisión por parte de la Autoridad Sanitaria (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2016). Esta información se puede llevar tanto de manera escrita como de manera digital quedando a selección de la empresa.

6.3.3.2. Salud ocupacional, seguridad y personal.

Según los resultados obtenidos en el diagnóstico para la certificación de los trabajadores de las plantas se observa que ninguno de estos trabajadores estaba certificado para el desempeño de su labor. Para suplir esta falencia se propone dos soluciones: la realización de jornadas de capacitación laboral o el contratamiento de operarios capacitados. Para la capacitación se requiere una formación en la competencia laboral NCL Titulación 180201002 mediante un plan de certificación con el SENA. Se puede hacer un primer acercamiento en dicha titulación con el libro Calidad del agua: Curso Básico (Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) & Ministerio de Desarrollo Económico, 1999).

En cuanto al desarrollo de un manual de seguridad industrial y la implementación de un programa de salud ocupacional, se sugiere tomar como referencia la Resolución 916 del 2017 y las normas que considera esta misma para la elaboración de estos documentos y programas. También la USPA debe hacer una implementación de una enfermería en donde se dispongan de equipos de primeros auxilios con camillas y otros aditamentos.

6.3.4. Alternativas de mejoramiento de carácter hidráulico.

Se analizará cada alternativa de mejoramiento hidráulico para la unidad de mezcla rápida de la planta Casa de Teja y el sedimentador de esta planta. Para estas alternativas se hace un acercamiento preliminar a la implementación de otros equipos o la adecuación de las unidades que presentan falencias de una manera más general. El motivo de este enfoque es que se requiere de un estudio hidráulico más detallado, que no fue posible por la falta de planos detallados, memorias de cálculo y pruebas experimentales para determinar el comportamiento real de los equipos. Con estudios hidráulicos posteriores se podrá corroborar la implementación de estas alternativas.

6.3.4.1. Alternativa de mejoramiento hidráulico para mezcla rápida.

Según la Tabla 47, la canaleta Parshall no cumple con ninguno de los parámetros de diseño hidráulico exigidos por la Resolución 0330 del 2017. Como alternativa a esta problemática esta la implementación de otro tipo de mezcla rápida. Para la mezcla rápida se plantea la adaptación de la canaleta en un vertedero como el de

la planta Santa Lucía esto con el fin de evitar el gasto energético de los mezcladores mecánicos.



Figura 27. Vertedero rectangular con contracciones (Comisión nacional del Agua, 2007).

En caso de que se prefiera un mayor control de los gradientes y las velocidades se propone la implementación de un mezclador rápido mecánico de forma rectangular que puede estar provista de una sola cámara o de varias cámaras. La implementación de cualquiera de estos se recomienda en función de los requerimientos para la realización de la mezcla rápida. Para el caudal tratado por la PTAP de Casa de Teja se sugiere la implementación de una sola cámara tal como se muestra en la Figura 28.

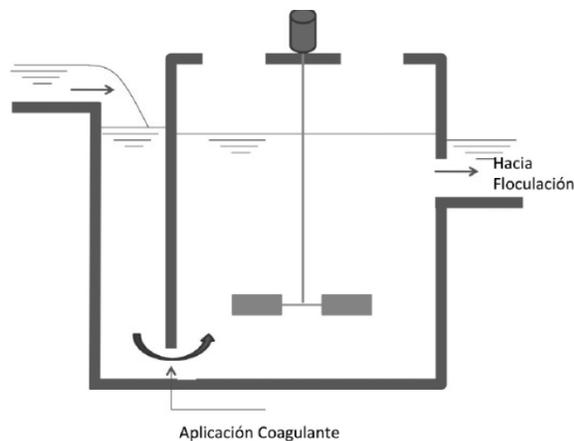


Figura 28. Mezclador mecánico de una sola cámara (Rivas & Bravo, 2016).

6.3.4.2. Alternativas de mejoramiento hidráulico de la unidad de sedimentación.

La causa de los problemas hidráulicos del sedimentador de flujo horizontal de la planta Casa de Teja se puede debe al sobredimensionamiento tal como se menciona en la Tabla 47. Como sugerencia para solucionar esto, en esta alternativa se propone el dividir el tanque por una pared en dos unidades para así disminuir el área del sedimentador y ajustar los valores de los parámetros con los exigidos por la Resolución 0330 del 2017. En la Tabla 70 se muestran los resultados del redimensionamiento y en la Tabla 71 se muestran los resultados de comparar los parámetros de diseño con la Resolución 0330 del 2017.

Tabla 70. Redimensionamiento del sedimentador de flujo horizontal planta Casa de Teja (Autor).

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /d	907,2
Ancho	m	2,4
Largo	m	16
Profundidad	m	3,2
A	m ²	38,4
CS	m ³ /m ² *d	23,625
A _v	m ²	51,2
V _f	cm/s	0,021
V	m ³	122,880
t	h	3,251

Tabla 71. Comparativa con la Resolución 0330 del 2017 para el redimensionamiento del sedimentador de flujo horizontal planta Casa de Teja (Autor).

Parámetro	Valor exigido por RAS 0330 del 2017	Planta	
		Casa de Teja	¿Cumple?
CS (m ³ /m ² *d)	15-30	23,625	Sí
t (h)	2-4	3,251	Sí
V _f (cm/s)	<1	0,021	Sí

Según los resultados de la Tabla 71 se puede concluir que al reducir el ancho de los sedimentadores los parámetros de diseño de los sedimentadores cumplen con los requerimientos de la norma para los parámetros de diseño. Esta alternativa da una idea de que se podría realizar para mejorar la unidad de sedimentación que podrá tomarse en cuenta para futuros estudios hidráulicos.

7. Conclusiones

El trabajo realizado y las experiencias recopiladas durante la pasantía institucional, permiten plantear las siguientes conclusiones:

- Se demostró en este trabajo que existen herramientas normativas y técnicas para que, a bajo costo, puedan realizarse diagnósticos efectivos a sistemas de potabilización y empresas de bajos niveles de complejidad. Esto es un aspecto muy necesario debido a las estadísticas de la calidad del recurso en nuestro país
- Los sistemas de potabilización de municipios de baja complejidad no cuentan con presupuesto ni estructura organizacional suficientes para garantizar la prestación de un buen servicio. A pesar de esto, son necesarios los diagnósticos y programas de mejoramiento periódicos, que pueden realizarse considerando un enfoque de ingeniería como el que se presentó en este documento, a bajo costo, que permita dar cumplimiento a las exigencias normativas de entes de control y suministrar el recurso en buenas condiciones de calidad.
- Los ingenieros químicos cuentan con formación especializada en procesos y operaciones unitarias que pueden ser aplicados en sistemas de tratamiento de aguas. Junto con esto, es necesaria la realización de diagnósticos técnicos y formulación de alternativas de mejoramiento que sean pertinentes, enmarcadas en la situación económica de los territorios.
- La falta de laboratorios en condiciones para el control de los parámetros de calidad del agua fue un factor bastante limitante referente al funcionamiento eficiente de las plantas Santa Lucía y Casa de Teja. La implementación de las alternativas propuestas para los equipos de laboratorio y los reactivos para los análisis básicos exigidos por la Resolución 082 del 2009 permiten el correcto control de las variables fisicoquímicas que son necesarias para la operación y el correcto funcionamiento de las plantas.
- Se evidenció la falta de manejo de información de las plantas en cuanto a planos, bitácoras y manuales los cuales se verán solventados con la aplicación de las alternativas operativas planteadas para las plantas Casa de Teja y Santa Lucía.
- Con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se comprobó que el agua tratada por las plantas del municipio no presentaba un riesgo a la salud de la población por la ausencia de contaminantes en el agua, aunque se

requiere de un control de calidad más frecuente que permita corroborar estos resultados buena calidad del agua.

- Con esta investigación se dio a conocer algunas de las falencias operativas e hidráulicas de las operaciones unitarias que se llevan a cabo en las plantas del municipio de Abrego. Las fallas operativas fueron en su mayoría relacionadas con la falta de dispositivos del control de los procesos. En cuanto a las falencias hidráulicas se evidenció un incumplimiento de la Resolución 0330 del 2017 especialmente en las unidades de mezcla rápida y en el sedimentador de flujo horizontal de la planta Casa de Teja indicando así la necesidad de un rediseño de las unidades o el cambio de estas.
- Con el diagnóstico se logró observar también problemas en cuanto a la seguridad de las plantas y la certificación de los empleados. Con la implementación de los equipos de seguridad de las alternativas de laboratorio y el desarrollo de los manuales de seguridad por parte de la empresa se logrará la solvencia de los problemas de seguridad para los empleados. La certificación de los empleados es necesaria ya que ninguno de los trabajadores poseía una para el desempeño de su labor.

8. Recomendaciones y perspectivas

- La metodología planteada en este trabajo puede ser aplicada para el diagnóstico con faltas de información para otras plantas convencionales de agua potable a nivel departamental o nacional en empresas de escasos recursos.
- La universidad podría realizar más convenios con más empresas públicas del territorio para apoyar los procesos de mejoramiento en plantas de potabilización del territorio, tanto municipales como veredales.
- Este estudio se enfocó principalmente en las unidades de tratamiento que se encuentran en las plantas, es por esto que para estudios próximos se recomienda un estudio más enfocado en las unidades de captación, pretratamiento de las plantas y también en la red de distribución de agua del municipio.
- Dentro de las alternativas planteadas se sugiere la implementación de la alternativa del laboratorio de control de calidad con mayor prioridad a las demás, pues esta alternativa puede solucionar muchos de los problemas operativos de las plantas y de calidad que se puedan presentar en las PTAP del municipio de Abrego.
- En caso que se cuente con laboratorios en condiciones para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para las PTAP del municipio de Abrego, se podrían realizar en futuros estudios con un mayor enfoque en cuanto a la identificación de los problemas relacionados con la calidad del agua potable.
- Se recomienda un estudio hidráulico más detallado para las distintas unidades de potabilización de las plantas que permitan identificar no solo teóricamente el funcionamiento hidráulico sino también de manera real con la implementación de trazadores en las distintas unidades.
- Para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos exigidos por la Resolución 2115 del 2007 que no se contemplaron para las alternativas se recomienda la contratación de un laboratorio externo para la realización de estos.
- La empresa debe establecer programas de capacitación a sus operarios con el fin de garantizar su correcto desempeño en el control de las plantas.
- Es importante que la USPA desarrolle programas de salud ocupacional y manuales de seguridad que garanticen el bienestar de sus operarios.
- El levantamiento de planos de red y planos de las plantas son necesarios y fundamentales para el control, mantenimiento y el desarrollo de nuevos proyectos en las plantas.

- La alcaldía municipal debe tomar estrategias para eliminar el número de conexiones ilegales en las tuberías de transporte de caudal de la planta Santa Lucía con el fin de establecer una continuidad del servicio del agua potable en el municipio.

9. Anexos

Anexo A: Formularios de la Resolución 082 del 2009 diligenciados.

El formulario diligenciado para la planta Santa Lucía de Buenas Prácticas Sanitarias se presenta en la Figura 29 y para la planta Casa de Teja en la Figura 30.

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

FORMULARIO ÚNICO ACTA DE INSPECCIÓN SANITARIA A LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO		
I. ASPECTOS GENERALES		
Departamento: Norte de Santander	Municipio o Distrito: Abrego	Fecha de visita: 14-03-21
Nombre de Autoridad Sanitaria: -		
Número Consecutivo del Acta de Visita: -	Fecha visita anterior: -	Se anexa copia Acta de Visita anterior: Si: No: <input checked="" type="checkbox"/>
Hubo concepto: Favorable: Desfavorable: Favorable con requerimiento: <input checked="" type="checkbox"/>		Nombre de quien realizó la visita: Jesus Johan Paez Paez
Se establecieron plazos para la ejecución de requerimientos: Si: No: <input checked="" type="checkbox"/>	Se dispuso un plan de mejoramiento: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No:	Número total de habitantes del municipio: 39805
Número total de viviendas resto: 10232		Número total de viviendas casco urbano: 4913
II. PERSONA PRESTADORA (p.p.)		
1. Nombre de la p.p.: USPA	2. NIT: -	3. Sin NIT: -
4. Departamento: Norte de Santander	5. Municipio o Distrito: Abrego	6. Localidad: -
Código DANE: -	Código DANE: -	Código DANE: -
7. Otras localidades atendidas: -		
8. Representante legal - Cargo: Juan Carlos Jacome Ropero		Correo electrónico: -
Dirección: -	Teléfono: -	9. Nombre de la planta de potabilización: Santa Lucía
10. Caudal de diseño: 50 L/s	11. Caudal tratado actualmente: -	12. Tipo fuente de abastecimiento: superficial
13. Otras plantas operadas por la P.P: Casa de Feja		14. Suscriptores atendidos por la P.P: 4013

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

15. Población atendida por la P.P:	16. Longitud total de la red de distribución:
III. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR PARTE DE LA PERSONA PRESTADORA (IRABAp.p.)	
III.1 IRABA p.p. = 100 - (IT + IC) (Art. 18 Resolución 2115 de 2007) = 100 - (puntaje calculado en III.1.1 + puntaje asignado en III.1.2)	Valor del IRABA p.p:
III.1.1 Índice de Tratamiento (IT). Para calcularlo sumar: puntaje asignado en III.1.1.1 + puntaje calculado en III.1.1.2 + puntaje asignado en III.1.1.3.	Valor del IT: 28
III.1.1.1 Descripción del Tratamiento. Posibles procesos: cribado, desarenación, ablandamiento, aireación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, estabilización, tratamiento de lodos, otros.	Puntaje Asignado
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	50
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	25
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	15
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	10
Sólo requiere desinfección y ésta se realiza.	50
Sólo realiza desinfección.	15
No hay ningún tipo de tratamiento.	0
III.1.1.2 Dotación Básica de Laboratorio para la realización de los siguientes ensayos:	
Tres puntos por cada uno: Equipo para Prueba de Jarras. Equipo para Demanda de Cloro Equipo para Turbiedad. Equipo para Color aparente. Equipo para pH.	3 x 1 = 3
III.1.1.3 Trabajadores Certificados en las Normas Colombianas de Competencia Laboral de la Titulación 180201002 Operación de Sistemas de Potabilización de Agua - Nivel 3 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.	
Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002	15
Entre el 50% y el 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002	10
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002	0

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

III.1.2 Índice de Continuidad (IC): Para indagar.	Valor del IC: 15
0 - 10 HORAS/DÍA (INSUFICIENTE):	(0)
10.1 - 18 HORAS/DÍA (NO SATISFACTORIO):	(10)
18.1 - 23 HORAS/DÍA (SUFICIENTE):	(15)
23.1 - 24 HORAS/DÍA (CONTINUO):	(20)
OBSERVACIONES:	

IV. BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS (BPS) - PERSONA PRESTADORA

IV.1 Aspectos generales de la planta de tratamiento de agua para consumo humano

		¿Cumple las BPS?			
IV.1.1 Estado y pertinencia de las instalaciones.	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Vía(s) de acceso está(n) en buen estado.		0			
2. Alrededores de las instalaciones de la planta libres de obstáculos.	Hay presencia de malezas		1		
3. Planta tiene cerramiento.	Falta de cerramientos		1	2	
4. Aseo interior eficiente.	Hay aseo interior pero poco frecuente		1		
5. Instalaciones de almacenamiento adecuadas.		0			
6. Zonas para el descanso y consumo de alimentos.		0			
7. Servicios sanitarios en cantidad suficiente.		0			
8. Estado físico de las edificaciones.		0			
		¿Cumple las BPS?			
IV.1.2 Instrumentación de la planta de tratamiento de agua para consumo humano	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Medición de caudal de ingreso.	Existe instrumento pero requiere ajuste		1		
2. Medición de caudal de salida.	No hay medición			2	
3. Medición o estimación de caudal para el lavado de filtros sedimentadores o de drenajes de sedimentadores y otros consumos.	No hay medición ni estimación de caudales			2	
4. Medición de niveles en los tanques.	Sin medidores de nivel ni registro			2	
5. Control para determinar el momento del lavado de filtros.		0			
		¿Cumple las BPS?			
IV.1.3 Seguridad industrial y salud ocupacional	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Manual o protocolo de higiene y seguridad industrial.	No hay manual			2	

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

2. Programa de salud ocupacional.	No se aplica programa de salud			2	
3. Señalización y demarcación de las áreas de trabajo.		0			
4. Operarios visten uniformes dotados para el trabajo.		0			
5. Elementos de protección y seguridad.	No uso de los elementos de protección		1		
6. Elementos de control local de emergencias.	No hay equipos de control de emergencias			2	
¿Cumple las BPS?					
IV.1.4 Manejo de la información y comunicaciones	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Sistema de registro y archivo de la información.		0			
2. Reportes de autocontrol están disponibles para supervisión a cargo de la autoridad sanitaria.	Reportes de autocontrol con faltas de comunicaciones		1		
3. Manuales de operación y mantenimiento.	No hay manuales			2	
4. Manual de funciones.		0			
5. Supervisión y asesoría.		0			
6. Sistema de comunicaciones.	No hay sistema de comunicaciones			2	
¿Cumple las BPS?					
IV.1.5 Laboratorio(s) para control de procesos y calidad del agua para consumo humano distribuida	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Brinda(n) las condiciones de localización, espacio y distribución que deben cumplirse en estas instalaciones.		0			
2. Equipos de seguridad propios de estas instalaciones.	Sin equipos de seguridad		1	2	
3. Realizan todos los ensayos físico, químicos y microbiológicos de control en la red de distribución, de acuerdo a las condiciones establecidas en el Capítulo V de la Resolución 2115 de 2007 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.	No se hacen todos los ensayos establecidos por falta de equipos			2	
4. Efectúan periódicamente la caracterización del agua cruda y su tratabilidad.	No se cuenta con un equipo de prec		1		
5. Hacen periódicamente el control de los procesos que llevan a cabo: floculación, sedimentación, filtración, desinfección y ajuste final de pH, etc., es decir, los que procedan.	No hay puntual por falta de equipos			2	
6. Llevan reportes de control al día.	Falta de multímetros de control		1		
7. Sistema de gestión para el aseguramiento de la calidad de los resultados físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano.	No hay manuales para la gestión			2	
8. Instalaciones siguen técnicas de aseo y asepsia para los análisis.	limpieza caso frecuente		1		

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

IV.2 Aspectos generales del sistema de distribución					
					¿Cumple las BPS?
IV.2.1 Estado operativo del sistema de distribución	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Planos de la red de distribución detallados.	Plano no específico en dimensiones		1		
2. Red de distribución está sectorizada.		0			
3. Zonas donde existe riesgo de contaminación de la red.	Sin registro del riesgo por localidad		1		
4. Registro estadístico de las roturas de tubería y sus causas.	Sin registro			2	
5. Válvulas, purgas e hidrantes para drenar el agua de las tuberías están operables.	No están identificados en los planos		1		
6. Equipos y accesorios mínimos para el control de operación de la red.	No se cuenta con válvulas de control			2	
7. Red de distribución está instrumentada.	Sin instrumentada			2	
					¿Cumple las BPS?
IV.2.2 Mantenimiento de la red de distribución	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Personal encargado de la operación y mantenimiento de la red de distribución está certificado en sus competencias laborales.	Personal sin capacitación			2	
2. Equipos y materiales apropiados para labores de mantenimiento.	No hay equipos apropiados			2	
3. Equipos para detección de fugas no visibles.	Sin cofones ni detectores			2	
4. Fugas y daños son atendidos oportunamente.		0			
5. Procedimientos para reparación de daños de tuberías y accesorios que eviten la contaminación hacia el interior de éstos.	No hay procedimientos de seguridad ni lavado			2	
					¿Cumple las BPS?
IV.2.3 Control de calidad del agua distribuida.	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Tanques y otras estructuras del sistema de distribución se limpian y desinfectan periódicamente.	No hay limpieza con una frecuencia de 6 meses		1		
2. Dispositivos para toma de muestras de agua en la red de distribución.		0		2	
3. Quejas sobre mala calidad del agua se atienden oportunamente.	No hay identificación de problemas de contaminación			2	
4. Toma, preservación y transporte de muestras se hace de acuerdo al Manual de Instrucciones del Instituto Nacional de Salud - INS.				2	
5. Equipos portátiles para la toma de cloro residual y pH.	No hay equipos			2	

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

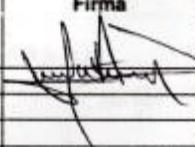
IV.3 CALIFICACIÓN PARA LA PERSONA PRESTADORA POR BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS - BPS: Sumar los valores de las columnas P y NO y anotarlos		56 puntos
Observaciones: 		
Nombre y cargo del(os) funcionario(s) de la autoridad sanitaria que diligenció(arón) el formulario in situ.	Firma	Fecha
Personas de la planta de tratamiento de agua para consumo humano que atendieron la visita – Cargos. Julián Andrés Tórt	Firma 	Firma constancia de la visita

Figura 29. Formulario único de acta de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano aplicado a la planta Santa Lucía.

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

FORMULARIO ÚNICO ACTA DE INSPECCIÓN SANITARIA A LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO		
I. ASPECTOS GENERALES		
Departamento: Norte de Santander	Municipio o Distrito: Abrego	Fecha de visita: 14-03-2011
Nombre de Autoridad Sanitaria: -		
Número Consecutivo del Acta de Visita: -	Fecha visita anterior: -	Se anexa copia Acta de Visita anterior: Si: No: <input checked="" type="checkbox"/>
Hubo concepto: Favorable: Desfavorable: Favorable con requerimiento: <input checked="" type="checkbox"/>		Nombre de quien realizó la visita: Jesús Johan Páez Páez
Se establecieron plazos para la ejecución de requerimientos: Si: No: <input checked="" type="checkbox"/>	Se dispuso un plan de mejoramiento: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No:	Número total de habitantes del municipio: 39805
Número total de viviendas resto: 10282		Número total de viviendas casco urbano: 4913
II. PERSONA PRESTADORA (p.p.)		
1. Nombre de la p.p.: A. OSPA	2. NIT: -	3. Sin NIT: -
4. Departamento: Norte de Santander	5. Municipio o Distrito: Abrego	6. Localidad: -
Código DANE: -	Código DANE: -	Código DANE: -
7. Otras localidades atendidas:		
8. Representante legal - Cargo: Juan Carlos Jacome Roperio		Correo electrónico: -
Dirección: -	Teléfono: -	9. Nombre de la planta de potabilización: Casa de Teja
10. Caudal de diseño: 21 L/s	11. Caudal tratado actualmente: -	12. Tipo fuente de abastecimiento: superficial
13. Otras plantas operadas por la P.P.: Santa Lucía		14. Suscriptores atendidos por la P.P.: 4013

continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la técnica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

5. Población atendida por la P.P:	16. Longitud total de la red de distribución:
III. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR PARTE DE LA PERSONA PRESTADORA (IRABAp.p.)	
I.1 IRABA p.p. = 100 - (IT + IC) (Art. 18 Resolución 2115 de 007) = 100 - (puntaje calculado en III.1.1 + puntaje asignado en III.1.2)	Valor del IRABA p.p:
I.1.1 Índice de Tratamiento (IT). Para calcularlo sumar: puntaje asignado en III.1.1.1 + puntaje calculado en III.1.1.2 + puntaje asignado en III.1.1.3.	Valor del IT: 10
I.1.1.1 Descripción del Tratamiento. Posibles procesos: ribado, desarenación, ablandamiento, aireación, floculación, edimentación, filtración, desinfección, estabilización, ratamiento de lodos, otros.	Puntaje Asignado
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	50
Se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	25
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo.	15
Se realizan algunos procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	10
Sólo requiere desinfección y ésta se realiza.	50
Sólo realiza desinfección.	15
No hay ningún tipo de tratamiento.	0
II.1.1.2 Dotación Básica de Laboratorio para la realización de los siguientes ensayos:	
Tres puntos por cada uno: Equipo para Prueba de Jarras. Equipo para Demanda de Cloro Equipo para Turbiedad. Equipo para Color aparente. Equipo para pH.	3 x 0 = 0
II.1.1.3 Trabajadores Certificados en las Normas Colombianas de Competencia Laboral de la Titulación 180201002 Operación de Sistemas de Potabilización de Agua - Nivel 3 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.	
Entre el 90% y el 100% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002	15
Entre el 50% y el 90% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002	10
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de planta están certificados en al menos 3 de las normas colombianas de competencia laboral (NCL) de la Titulación 180201002	0

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

III.1.2 Índice de Continuidad (IC): Para indagar.	Valor del IC: 15
0 - 10 HORAS/DÍA (INSUFICIENTE):	(0)
10.1 - 18 HORAS/DÍA (NO SATISFACTORIO):	(10)
18.1 - 23 HORAS/DÍA (SUFICIENTE):	(15)
23.1 - 24 HORAS/DÍA (CONTINUO):	(20)

OBSERVACIONES:

IV. BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS (BPS) - PERSONA PRESTADORA

IV.1 Aspectos generales de la planta de tratamiento de agua para consumo humano

IV.1.1 Estado y pertinencia de las instalaciones.	Descripción de lo observado	¿Cumple las BPS?			
		SI	P	NO	N/A
1. Vía(s) de acceso está(n) en buen estado.		0			
2. Alrededores de las instalaciones de la planta libres de obstáculos.		0			
3. Planta tiene cerramiento.		0			
4. Aseo interior eficiente.	Suciedad inferior		1		
5. Instalaciones de almacenamiento adecuadas.		0			
6. Zonas para el descanso y consumo de alimentos.		0			
7. Servicios sanitarios en cantidad suficiente.		0			
8. Estado físico de las edificaciones.	Presencia de humedad		1		

IV.1.2 Instrumentación de la planta de tratamiento de agua para consumo humano	Descripción de lo observado	¿Cumple las BPS?			
		SI	P	NO	N/A
1. Medición de caudal de ingreso.	Medidor en mal estado		1		
2. Medición de caudal de salida.	No hay dispositivos para la medición			2	
3. Medición o estimación de caudal para el lavado de filtros sedimentadores o de drenajes de sedimentadores y otros consumos.	No hay medición de caudales de lavado o drenaje			2	
4. Medición de niveles en los tanques.	No hay medidores de nivel			2	
5. Control para determinar el momento del lavado de filtros.	Sin estimación por pérdida de carga		1		

V.1.3 Seguridad industrial y salud ocupacional	Descripción de lo observado	¿Cumple las BPS?			
		SI	P	NO	N/A
1. Manual o protocolo de higiene y seguridad industrial.	No hay un manual protocolo			2	

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

2. Programa de salud ocupacional.	No se aplica			2	
3. Señalización y demarcación de las áreas de trabajo.		0			
4. Operarios visten uniformes dotados para el trabajo.	Algunos operarios no usan el uniforme		1		
5. Elementos de protección y seguridad.	No hay uso de los elementos de protección		1		
6. Elementos de control local de emergencias.	No hay elementos para emergencias			2	
¿Cumple las BPS?					
IV.1.4 Manejo de la información y comunicaciones	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Sistema de registro y archivo de la información.		0			
2. Reportes de autocontrol están disponibles para supervisión a cargo de la autoridad sanitaria.	Hay reportes de autocontrol pero sin poder los consultar		1		
3. Manuales de operación y mantenimiento.	No hay manuales			2	
4. Manual de funciones.		0			
5. Supervisión y asesoría.		0			
6. Sistema de comunicaciones.	No hay sistema de comunicaciones			2	
¿Cumple las BPS?					
IV.1.5 Laboratorio(s) para control de procesos y calidad del agua para consumo humano distribuida	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A
1. Brinda(n) las condiciones de localización, espacio y distribución que deben cumplirse en estas instalaciones.	No hay de posición adecuada para reactivos		1		
2. Equipos de seguridad propios de estas instalaciones.	No hay extractores			2	
3. Realizan todos los ensayos físico, químicos y microbiológicos de control en la red de distribución, de acuerdo a las condiciones establecidas en el Capítulo V de la Resolución 2115 de 2007 o la norma que la modifique, adicione o sustituya.	No se hacen los ensayos por falta de equipos			2	
4. Efectúan periódicamente la caracterización del agua cruda y su tratabilidad.	No hay la definición básica para caracterizar			2	
5. Hacen periódicamente el control de los procesos que llevan a cabo: floculación, sedimentación, filtración, desinfección y ajuste final de pH, etc., es decir, los que procedan.	No hay dotación de equipos			2	
6. Llevan reportes de control al día.	Hacen falta varios datos de control		1		
7. Sistema de gestión para el aseguramiento de la calidad de los resultados físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano.	No hay manuales, catálogos o guías sobre los ensayos			2	
8. Instalaciones siguen técnicas de aseo y asepsia para los análisis.	No hay limpieza en laboratorios			2	

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

IV.2 Aspectos generales del sistema de distribución						
					¿Cumple las BPS?	
IV.2.1 Estado operativo del sistema de distribución	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A	
1. Planos de la red de distribución detallados.	Plano no especifica en avales distribuidores		1			
2. Red de distribución está sectorizada.		0				
3. Zonas donde existe riesgo de contaminación de la red.	No hay registro de riesgo por localidad		1			
4. Registro estadístico de las roturas de tubería y sus causas.	No hay registro de este tipo			2		
5. Válvulas, purgas e hidrantes para drenar el agua de las tuberías están operables.	Hace falta hidrantes en los planos		1			
6. Equipos y accesorios mínimos para el control de operación de la red.	No se cuenta con válvulas de control de operación			2		
7. Red de distribución está instrumentada.	No se cuenta con instrumentación			2		
					¿Cumple las BPS?	
IV.2.2 Mantenimiento de la red de distribución	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A	
1. Personal encargado de la operación y mantenimiento de la red de distribución está certificado en sus competencias laborales.	No hay ^{datos} capacitación del personal			2		
2. Equipos y materiales apropiados para labores de mantenimiento.	No hay equipo apropiado			2		
3. Equipos para detección de fugas no visibles.	No hay geofonos ni aparatos			2		
4. Fugas y daños son atendidos oportunamente.		0				
5. Procedimientos para reparación de daños de tuberías y accesorios que eviten la contaminación hacia el interior de éstos.	No hay procedimientos de reparación ni lavado			2		
					¿Cumple las BPS?	
IV.2.3 Control de calidad del agua distribuida.	Descripción de lo observado	SI	P	NO	N/A	
1. Tanques y otras estructuras del sistema de distribución se limpian y desinfectan periódicamente.	No hay limpieza con una frecuencia de 2 veces		1			
2. Dispositivos para toma de muestras de agua en la red de distribución.	No hay dispositivos para toma de muestras	0				
3. Quejas sobre mala calidad del agua se atienden oportunamente.	sin identificación de origen de contaminación			2		
4. Toma, preservación y transporte de muestras se hace de acuerdo al Manual de Instrucciones del Instituto Nacional de Salud - INS.	No hay seguimiento de la normativa al no haber manuales			2		
5. Equipos portátiles para la toma de cloro residual y pH.	No hay equipos adecuados			2		

Continuación de la resolución "Por medio de la cual se adoptan unos los formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano"

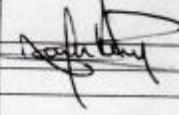
IV.3 CALIFICACIÓN PARA LA PERSONA PRESTADORA POR BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS - BPS: Sumar los valores de las columnas P y NO y anotarlo		59 <hr/> puntos
Observaciones: _____ _____ _____ _____		
Nombre y cargo del(os) funcionario(s) de la autoridad sanitaria que diligenció(aron) el formulario in situ.	Firma	Fecha
Personas de la planta de tratamiento de agua para consumo humano que atendieron la visita - Cargos.	Firma	Firma constancia de la visita
Julian Andres Parz Acevedo		

Figura 30. Formulario único de acta de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano aplicado a la planta Casa de Teja.

Anexo B: Certificados de concepto sanitario para persona prestadora por el IDS.

En la Figura 31 se muestra certificado del concepto sanitario empleando los formularios de la Resolución 082 del 2009 por el Instituto Departamental de Salud (IDS).



**CERTIFICADO SANITARIO POR PERSONA PRESTADORA DEL SERVICIO
PÚBLICO DE ACUEDUCTO
GOBERNACIÓN DE NORTE DE SANTANDER - INSTITUTO DEPARTAMENTAL
DE SALUD DE NORTE DE SANTANDER**



Departamento: 54 - NORTE DE SANTANDER	Municipio: 54003 - ABREGO	Fecha de Visita: 2020/06/21 08:00:00
Nombre Autoridad Sanitaria: Gobernación de Norte de Santander - Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander		
Numero consecutivo de acta de visita: 10741	Fecha visita anterior: 2019-12-27 08:00:00.000	Se anexa copia acta de visita anterior: Si
Concepto: Favorable con requerimientos	Nombre de Quien realizó la visita anterior: NELLY CORREA – técnico del área de la salud	
Se establecieron plazos para la Ejecución de Requerimientos: Si	Se dispuso un plan de mejoramiento: Si	Numeró total de Habitantes del municipio: 33931
Número total de viviendas resto: 4566	Número total de viviendas casco urbano: 4864	

1. PERSONA PRESTADORA (p.p)

Nombre: UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE ABREGO	Nit: 807004096-2	Identificación sin Nit:
Departamento: 54 - NORTE DE SANTANDER	Municipio: 54003 - ABREGO	Localidad: 54003000 - ABREGO
Otras Localidades Atendidas: ABREGO, ABREGO		
Representante Legal - Cargo: Juan Carlos Jácome Roperó- Alcalde Municipal	Correo Electrónico: uspabrego@gmail.com	
Dirección: CALLE 14 CRA 5, PALACIO MUNICIPAL	Teléfono: 3112190235	Nombre de la Planta de Potabilización: PLANTA DE TRATAMIENTO SANTA LUCIA
Caudal de Diseño: 86	Caudal Tratado Actualmente: 80	Tipo de fuente de Abastecimiento: Rio,Quebrada
Otras plantas operadas por la P.P: PLANTA DE TRATAMIENTO CASA VIEJA	Suscriptores atendidos por la P.P: 7962	
Población atendida por la P.P: 58818	Longitud total de la red de Distribución: 11 km	

**RESULTADOS DE LOS ÍNDICES QUE EVALÚAN LA CALIDAD DEL AGUA
PARA CONSUMO HUMANO POR PERSONA PRESTADORA**

IRCApp	IRABApp	BPSpp
Inviabile Sanitariamente 80.10 A 100.00	Muy Alto 70.01 A 100.00	Riesgo Muy Alto 71 A 100
Alto 35.1 A 80.09	Alto 40.01 A 70.00	Riesgo Alto 41 A 70
Medio 14.10 A 35.09	Medio 25.01 A 40.00	Riesgo Medio 25 A 40
Bajo 5.10 A 14.09	Bajo 10.01 A 25.00	Riesgo Bajo 11 A 24
Sin Riesgo 0.00 A 5.09	Sin Riesgo 0.00 A 10.00	Sin Riesgo 0 A 10
Resultado: Sin Riesgo 0	Resultado: Alto 56	Resultado: Riesgo Medio 30

CONCEPTO SANITARIO POR PERSONA PRESTADORA

Puntaje = 0.50 x IRCApp + 0.20 x IRABApp + 0.30 x BPSpp = 20,2 Puntos
Se expide Concepto Sanitario Favorable cuando el puntaje ponderado está entre: 0.00 - 10.00
Se expide Concepto Sanitario Favorable con Requerimiento cuando el puntaje ponderado está entre: 10.01 - 40.00



INSTITUTO
NACIONAL DE
SALUD

**CERTIFICADO SANITARIO POR PERSONA PRESTADORA DEL
SERVICIO PÚBLICO DE ACUEDUCTO
GOBERNACIÓN DE NORTE DE SANTANDER - INSTITUTO
DEPARTAMENTAL DE SALUD DE NORTE DE SANTANDER**



Observaciones: El concepto sanitario se basa en los indicadores de calidad y prestación del servicio de acueducto por parte de la persona prestadora en el municipio, de acuerdo en lo establecido en la Resolución 082 de 2009 de acuerdo al Anexo No. 1.

El concepto **Favorable con Requerimientos** que la empresa prestadora de servicio debe tomar acciones correctivas al mejoramiento de la calidad del servicio en relación a los siguientes criterios: Índice de Tratamiento (IT), Índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua (IRABA) y Mejoramientos de las Buenas Prácticas Sanitarias (BPS) establecidos en la normatividad sanitaria.

Nombre y cargo del funcionario de la autoridad sanitaria que diligenció el formulario en oficina	Firma	Fecha
Julián Mauricio Sepúlveda Torrado. P.U. Coordinador Subgrupo Vigilancia y Control de Salud Pública Instituto Departamental de Salud de Norte de Santander <i>JS</i>		22 de abril de 2021

Figura 31. Certificado de concepto sanitario del servicio público de acueducto expedido por el IDS.

Anexo C: Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución realizados por el IDS.

LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL DE NORTE DE SANTANDER
PUBLIC HEALTH LABORATORY OF NORTE DE SANTANDER

IDENTIFICACIÓN			
EMPRESA SOLICITANTE: COMPANY APPLYING	OFICINA SANITARIA MUNICIPIO DE ABREGO	DIRECCIÓN: ADDRESS	CALLE 20 CON CRA 3A BARRIO SANTA BARBARA-ESE HRNO ABREGO
MUNICIPIO Y LOCALIDAD: LOCALITY	ABREGO	CONTACTO: CONTACT	3118164013
NOMBRE EMPRESA SERVICIO PUBLICO/FUENTE:	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE ABREGO		
FECHA DE MUESTREO: SAMPLING DATE	2020-08-13	HORA MUESTREO: SAMPLING TIME	11:30 h.
LUGAR DE TOMA Y DIRECCION:	CALLE 22 MANZANA 6 CASA # 3 A TRES CUADRAS DETRAS DEL HOSPITAL	PUNTO DE TOMA: SAMPLING POINT	N° 0032
FECHA DE RECEPCIÓN: RECEPTION DATE	2020-08-13	HORA DE RECEPCIÓN: RECEPTION TIME	18:15 h.
COAGULANTE:	POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO	DESINFECTANTE:	COLORO GASEOSO
FECHA DE PROCESAMIENTO FISCOQUÍMICO: PROCESSING DATE	2020-08-15	TIPO DE AGUA: SAMPLE/PRODUCT	TRATADA
FECHA DE PROCESAMIENTO MICROBIOLÓGICO:	2020-08-14	FECHA DE REPORTE: REPORT DATE	2020-08-23

1. CONDICIONES AMBIENTALES:
ENVIRONMENTAL CONDITIONS

	ÁREA FISCOQUÍMICA DE AGUAS	ÁREA MICROBIOLOGÍA DE AGUAS
TEMPERATURA [° C] TEMPERATURE	25	23
HUMEDAD RELATIVA MEDIA [%] RELATIVE HUMIDITY	50	60

2. RESULTADOS OBTENIDOS:
RESULTS OBTAINED

ANÁLISIS FISCOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGUN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Color P Pt-Co(UPC)	0	<=15	ESPECTROFOTOMÉTRICO SM 2120C
Olor y Sabor	---	ACEPTABLE	--
Turbidez UTN	---	<=2	TURBIDIMÉTRICO SM 2130B
Cl Residual In Situ mg/L	1,5	0,3 - 2,0	--
CL Residual mg/L	0,4	0,3 - 2,0	COLORIMÉTRICO DPD SM 4550 Cl G
pH	7,7	6,5 - 9,0	ELECTROMÉTRICO SM 4500 H+B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGUN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Coliformes Totales: NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUBSTRATO ENZIMÁTICO SM-R223B
<i>Escherichia coli</i> NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUBSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Giardia</i> (Quistes/10L)	---	0	MÉTODO EPA 1623.1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER
<i>Cryptosporidium</i> (Ooquistes/10L)	---	0	MÉTODO EPA 1623.1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER

PRUEBAS COMPLEMENTARIAS POR MAPA DE RIESGO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGUN DECRETO 1579 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Hierro mg/L Fe	---	0,3	COLORIMETRICO SM 3500 Fe B
Conductividad umhos/cm	---	50-1000	ELECTROMETRICO SM 2510 B
Fluoruros mg/L F-	---	1	---
Sulfatos mg/L SO4	---	250	TURBIDIMETRICO SM 4500-SO4 E
Dureza Total mg/L CaCO3	39,6	300	VOLUMETRICO EDTA SM 2340 C
Fosfatos mg/L PO4	0,03	0,5	COLORIMETRICO SM 4500 P D
Nitritos mg/L NO2	---	0,1	COLORIMETRICO SM 4500 NO2 B
Alcalinidad f. mg/L CaCO3	---	---	TITULACION SM 2320 B
Alcalinidad t. mg/L CaCO3	---	200	TITULACION SM 2320 B
Cloruros mg/L Cl	2	250	COLORIMETRICO SM 4500 C-D
CONCEPTO			
PORCENTAJE IRCA:	0,00%	NIVEL DE RIESGO:	SIN RIESGO

3. OBSERVACIONES
OBSERVATIONS

Temperatura en recepción: 2.7°C

Analista Físicoquímico
Physicochemical Analyst

AMA-0.26 

Revisó
Revised

AMA-0.20 

Analista Microbiológico
Microbiological Analyst

AMA-0.22 

Revisó
Revised


P.E. Coordinadora Laboratorio de Salud Pública
Specialized Professional Coordinator Public Health Laboratory

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

Figura 32. Resultados análisis físicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en agosto del 2020.

LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL DE NORTE DE SANTANDER
PUBLIC HEALTH LABORATORY OF NORTE DE SANTANDER

IDENTIFICACIÓN			
EMPRESA SOLICITANTE: COMPANY APPLYING	OFICINA SANITARIA MUNICIPIO DE ABREGO	DIRECCIÓN: ADDRESS	CALLE 20 CON CRA 3A B.SANTA BARBARA- ESE HRNO ABREGO.
MUNICIPIO Y LOCALIDAD: LOCALITY	ABREGO	CONTACTO: CONTACT	320271-4480
NOMBRE EMPRESA SERVICIO PUBLICO/FUENTE:	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE ABREGO		
FECHA DE MUESTREO: SAMPLING DATE	2020-11-30	HORA MUESTREO: SAMPLING TIME	17:30 h.
LUGAR DE TOMA Y DIRECCION:	CRA 6 # 3-43 BARRIO LA PIÑUELA	PUNTO DE TOMA: SAMPLING POINT	No.0031
FECHA DE RECEPCIÓN: RECEPTION DATE	2020-12-01	HORA DE RECEPCIÓN: RECEPTION TIME	15:45 h.
COAGULANTE:	POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO	DESINFECTANTE:	CLORO GASEOSO
FECHA DE PROCESAMIENTO FISCOQUÍMICO: PROCESSING DATE	2020-12-03	TIPO DE AGUA: SAMPLE/PRODUCT	TRATADA
FECHA DE PROCESAMIENTO MICROBIOLÓGICO:	2020-12-01	FECHA DE REPORTE: REPORT DATE	2020-12-09

1. CONDICIONES AMBIENTALES:

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

	ÁREA FISCOQUÍMICA DE AGUAS	ÁREA MICROBIOLOGÍA DE AGUAS
TEMPERATURA [° C]: TEMPERATURE	20	23
HUMEDAD RELATIVA MEDIA [%]: RELATIVE HUMIDITY	38	56

2. RESULTADOS OBTENIDOS:

RESULTS OBTAINED

ANÁLISIS FISCOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Color P Pt-Co(UPC)	14,1	<=15	ESPECTROFOTOMÉTRICO SM 2120C
Olor y Sabor	---	ACEPTABLE	-
Turbidez UTN	---	<=2	TURBIDIMÉTRICO SM 2130B
Cl Residual In Situ mg/L	1,5	0,3 - 2,0	-
CL Residual mg/L	1	0,3 - 2,0	COLORIMÉTRICO DPD SM 4500 Cl G
pH	7,61	6,5 - 9,0	ELECTROMÉTRICO SM 4500 H+B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Coliformes Totales: NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUBSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Escherichia coli</i> NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUBSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Giardia</i> (Quistes/10L)	---	0	METODO EPA 1623.1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER
<i>Cryptosporidium</i> (Cooquistes/10L)	---	0	METODO EPA 1623.1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER

	SALUD PÚBLICA	Código: CMU-02-F-02
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha Aprobación:
	FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS	2017-02-03
		Versión: 0
		Página: 2 de 2

Numero
Number 2020-716

PRUEBAS COMPLEMENTARIAS POR MAPA DE RIESGO ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGÚN DECRETO 1875 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Hierro mg/L Fe	—	0,3	COLORIMETRICO SM 3500 Fe B
Conductividad umhos/cm	—	50-1000	ELECTROMETRICO SM 2510 B
Fluoruros mg/L F-	—	1	—
Sulfatos mg/L SO4	—	250	TURBIDIMETRICO SM 4500-SO4 E
Dureza Total mg/L CaCO3	44,43	300	VOLUMETRICO EDTA SM 2340 C
Fosfatos mg/L PO4	0	0,5	COLORIMETRICO SM 4500 P D
Nitritos mg/L NO2	—	0,1	COLORIMETRICO SM 4500 NO2 B
Alcalinidad f. mg/L CaCO3	—	—	TITULACION SM 2320 B
Alcalinidad t. mg/L CaCO3	—	200	TITULACION SM 2320 B
Cloruros mg/L Cl	4,37	250	COLORIMETRICO SM 4500 C-D
CONCEPTO			
PORCENTAJE IRCA:	0,00%	NIVEL DE RIESGO:	SIN RIESGO

3. OBSERVACIONES
OBSERVATIONS

Temperatura en recepción: 7.2 °C

Analista Físicoquímico
Physicochemical Analyst

AMA-0.26 

Revisó
Revised

AMA-0.20 

Analista Microbiológico
Microbiological Analyst

AMA-0.22 

Revisó
Revised

AMA-0.27 


P.E Coordinadora Laboratorio de Salud Pública
Specialized Professional Coordinator Public Health Laboratory

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

Figura 33. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en noviembre del 2020.

LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL DE NORTE DE SANTANDER
PUBLIC HEALTH LABORATORY OF NORTE DE SANTANDER

IDENTIFICACIÓN			
EMPRESA SOLICITANTE: COMPANY APPLYING	OFICINA SANITARIA MUNICIPIO DE ABREGO	DIRECCIÓN: ADRESS	CALLE 20 CON CRA 3A B. SANTA BARBARA- ESE HRNO ABREGO
MUNICIPIO Y LOCALIDAD: LOCALITY	ABREGO	CONTACTO: CONTACT	320271 4480
NOMBRE EMPRESA SERVICIO PUBLICO/FUENTE:	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE ABREGO		
FECHA DE MUESTREO: SAMPLING DATE	2020-12-14	HORA MUESTREO: SAMPLING TIME	16:00 h.
LUGAR DE TOMA Y DIRECCION:	CRA 6 # 3-43 BARRIO LA PIÑUELA.	PUNTO DE TOMA: SAMPLING POINT	No.0031
FECHA DE RECEPCIÓN: RECEPTION DATE	2020-12-15	HORA DE RECEPCIÓN: RECEPTION TIME	14:25 h.
COAGULANTE:	POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO	DESINFECTANTE:	CLORO GASESO
FECHA DE PROCESAMIENTO FÍSICOQUÍMICO: PROCESSING DATE	2020-12-17	TIPO DE AGUA: SAMPLE/PRODUCT	TRATADA
FECHA DE PROCESAMIENTO MICROBIOLÓGICO:	2020-12-15	FECHA DE REPORTE: REPORT DATE	2020-12-21

1. CONDICIONES AMBIENTALES:

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

	ÁREA FÍSICOQUÍMICA DE AGUAS	ÁREA MICROBIOLOGÍA DE AGUAS
TEMPERATURA [° C]: TEMPERATURE	23	23
HUMEDAD RELATIVA MEDIA [%]: RELATIVE HUMIDITY	44	58

2. RESULTADOS OBTENIDOS:

RESULTS OBTAINED

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGUN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Color P Pt-Co(UPC)	0	<=15	ESPECTROFOTOMÉTRICO SM 2120C
Olor y Sabor	---	ACEPTABLE	-
Turbidez UTN	---	<=2	TURBIDIMÉTRICO SM 2130B
Cl Residual In Situ mg/L	1,3	0,3 - 2,0	-
CL Residual mg/L	1,6	0,3 - 2,0	COLORIMÉTRICO DPD SM 4500 CL C
pH	7,15	6,5 - 9,0	ELECTROMÉTRICO SM 4500 H-B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGUN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Coliformes Totales: NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUBSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Escherichia coli</i> NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUBSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Giardia</i> (Quistes/10L)	---	0	METODO EPA 1623.1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER
<i>Cryptosporidium</i> (Ooquistes/10L)	---	0	METODO EPA 1623.1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER

	SALUD PÚBLICA	Código: CMU-02-F-02
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha Aprobación:
	FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS	2017-02-03
		Versión: 0
		Página: 2 de 2

Numero
Number 2020-779

PRUEBAS COMPLEMENTARIAS POR MAPA DE RIESGO ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGUN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Hierro mg/L Fe	---	0,3	COLORIMETRICO SM 3500 Fe B
Conductividad umhos/cm	---	50-1000	ELECTROMETRICO SM 2510 B
Fluoruros mg/L F-	---	1	---
Sulfatos mg/L SO4	---	250	TURBIDIMETRICO SM 4500-SO4 E
Dureza Total mg/L CaCO3	45,3	300	VOLUMETRICO EDTA SM 2340 C
Fosfatos mg/L PO4	0	0,5	COLORIMETRICO SM 4500 P D
Nitritos mg/L NO2	---	0,1	COLORIMETRICO SM 4500 NO2 B
Alcalinidad f. mg/L CaCO3	---	---	TITULACION SM 2330 B
Alcalinidad t. mg/L CaCO3	---	200	TITULACION SM 2320 B
Cloruros mg/L Cl	6,56	250	COLORIMETRICO SM 4500 Cl-D
CONCEPTO			
PORCENTAJE IRCA:	0,00%	NIVEL DE RIESGO:	SIN RIESGO

3. OBSERVACIONES
OBSERVATIONS

Temperatura en recepción: 7.6°C.

Analista Fisicoquímico
Physicochemical Analyst

AMA-0.26 

Revisó
Revised

AMA-0.20 

Analista Microbiológico
Microbiological Analyst

AMA-0.22 

Revisó
Revised

AMA-0.27 


P.E Coordinadora Laboratorio de Salud Pública
Specialized Professional Coordinator Public Health Laboratory

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

Figura 34. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en diciembre del 2020.

	SALUD PÚBLICA		Código: CMU-02-F-02
	INFORME DE RESULTADOS		Fecha de Aprobación:
	FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS		2017-02-03
			Version: 0
			Página: 1 de 2

Numero
Number 2020-006

LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL DE NORTE DE SANTANDER

PLATAFORMA TECNOLÓGICA PARA LA CALIDAD

IDENTIFICACIÓN			
EMPRESA SOLICITANTE: SERVIDOR PÚBLICO	OFICINA SANITARIA MUNICIPIO DE ABREGO	DIRECCION: ABREGO	CALLE 20 CON CRA 3A B. STA BARBARA- ESE HRNO ABREGO
MUNICIPIO Y LOCALIDAD: ABREGO	ABREGO	CONTACTO: SERVIDOR PÚBLICO	3202714480
UNIDAD SERVIDOR PÚBLICO PUNTO DE TOMA	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE ABREGO		
FECHA DE MUESTREO: SERVIDOR PÚBLICO	2020-01-28	HORA MUESTREO: SERVIDOR PÚBLICO	10.00 h.
LUGAR DE TOMA Y DIRECCION:	CRA 5 # 3-43 BARRIO LA PIÑUELA	PUNTO DE TOMA: SERVIDOR PÚBLICO	Nº 0031
FECHA DE RECEPCION: RECEPCION	2020-01-29	HORA DE RECEPCION: RECEPCION	08:45 h.
COAGULANTE:	POLIHIDRÓXICLORURO DE ALUMINIO	DESINFECTANTE:	CLORO GASEOSO
FECHA DE PROCESAMIENTO LABORATORIO RECEPCION	2020-01-29	TIPO DE AGUA: SAMPLE/PRODUCT	TRATADA
FECHA DE REPORTE LABORATORIO RECEPCION	2020-01-29	FECHA DE REPORTE: RECEPCION	2020-01-31

1. CONDICIONES AMBIENTALES:

RECEPCION

	AREA FISICOQUÍMICA DE AGUAS	AREA MICROBIOLOGÍA DE AGUAS
TEMPERATURA [°C]: RECEPCION	23.3	21
TEMPERATURA [°C]: RECEPCION	38	32

2. RESULTADOS OBTENIDOS:

RECEPCION

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PARAMETROS BASICOS	RESULTADOS	REQUISITO DE LA NORMATIVA DEBIDA DEL MUNICIPIO DE ABREGO	METODO
Color P Pt-Co(UPC)	0	≤15	5220A-10-01-01-01-01-01
Olor y Sabor	---	ACEPTABLE	5220A-10-01-01-01-01-01
Turbidez UTN	---	≤2	5220A-10-01-01-01-01-01
Cl Residual In Situ mg/L	1.2	0.3 - 2.0	5220A-10-01-01-01-01-01
CL Residual mg/L	0.1	0.3 - 2.0	5220A-10-01-01-01-01-01
pH	8.04	6.5 - 9.0	5220A-10-01-01-01-01-01
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
PARAMETROS BASICOS	RESULTADOS	REQUISITO DE LA NORMATIVA DEBIDA DEL MUNICIPIO DE ABREGO	METODO
Coliformes Totales: NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	5220A-10-01-01-01-01-01
<i>Escherichia coli</i> NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	5220A-10-01-01-01-01-01
<i>Giardia</i> (Quistes/10L)	---	0	5220A-10-01-01-01-01-01
<i>Cryptosporidium</i> (Coquistes/10L)	---	0	5220A-10-01-01-01-01-01

	SALUD PUBLICA	Código: CMU-02-F-02
	INFORME DE RESULTADOS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUAS	Fecha de Aprobación: 2017-02-03
		Version: 0
		Página: 2 de 2

Número 2020-005

PRUEBAS COMPLEMENTARIAS POR MAPA DE RIESGO ANALISIS FISICOQUIMICO			
PARAMETROS BASICOS	RESULTADOS	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007	METODO
Hierro mg/L Fe	---	0.3	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Conductividad umhos/cm	---	50-1000	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Fluoruros mg/L F-	---	1	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Sulfatos mg/L SO4	---	250	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Dureza Total mg/L CaCO3	43.04	300	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Fosfatos mg/L PO4	0.05	0.5	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Nitritos mg/L NO2	---	0.1	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Alcalinidad f. mg/L CaCO3	---	---	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Alcalinidad t. mg/L CaCO3	---	200	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
Cloruros mg/L Cl	1.41	250	COEFICIENTE DE EFECTUACION DE LOS DECRETOS 1875 DEL 2007 Y 1876 DEL 2008 DEL 2007
CONCEPTO			
PORCENTAJE IRCA:	0.00%	NIVEL DE RIESGO:	SIN RIESGO

3. OBSERVACIONES

1. Temperatura en recepción: 7.1 °C

Analista Fisicoquimico

AMA-0.26

Analista Microbiológico

AMA-0.22

Revisó

AMA-0.10

Temperatura en recepción: 7.1 °C

AMA-0.26 

AMA-0.22 

AMA-0.10 

P.U. Coordinadora Laboratorio de Salud Pública
Carrera 7ª No. 13-15, Bogotá, D.C.

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

Figura 35. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en enero del 2021.

	SALUD PÚBLICA		Código: CMU-02-F-02
	INFORME DE RESULTADOS FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS		Fecha Aprobación: 2017-02-03
			Versión: 0
			Página: 1 de 2

Número
Number 2021-18

LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DEPARTAMENTAL DE NORTE DE SANTANDER
PUBLIC HEALTH LABORATORY OF NORTE DE SANTANDER

IDENTIFICACIÓN			
EMPRESA SOLICITANTE: COMPANY APPLYING	OFICINA SANITARIA MUNICIPIO DE ABREGO	DIRECCIÓN: ADDRESS	CALLE 20 CON CRA 3A BARRIO SANTA BARBARA-ESE HRNO ABREGO
MUNICIPIO Y LOCALIDAD: LOCALITY	ABREGO	CONTACTO: CONTACT	3202714480
NOMBRE EMPRESA SERVICIO PUBLICO/FUENTE:	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DEL MUNICIPIO DE ABREGO-USPA		
FECHA DE MUESTREO: SAMPLING DATE	2021-03-17	HORA MUESTREO: SAMPLING TIME	11:45 h.
LUGAR DE TOMA Y DIRECCION:	CARRERA 6 # 3-43 BARRIO LA PIÑUELA.	PUNTO DE TOMA: SAMPLING POINT	No.0031
FECHA DE RECEPCIÓN: RECEPTION DATE	2021-03-18	HORA DE RECEPCIÓN: RECEPTION TIME	08:30 h.
COAGULANTE:	POLIHIDROXICLORURO DE ALUMINIO	DESINFECTANTE:	CLORO GASEOSO
FECHA DE PROCESAMIENTO FISICOQUÍMICO: PROCESSING DATE	2021-03-18	TIPO DE AGUA: SAMPLE/PRODUCT	TRATADA
FECHA DE PROCESAMIENTO MICROBIOLÓGICO:	2021-03-18	FECHA DE REPORTE: REPORT DATE	2021-03-19

1. CONDICIONES AMBIENTALES:
ENVIRONMENTAL CONDITIONS

	ÁREA FISICOQUÍMICA DE AGUAS	ÁREA MICROBIOLOGÍA DE AGUAS
TEMPERATURA [° C]: TEMPERATURE	20	23
HUMEDAD RELATIVA MEDIA [%]: RELATIVE HUMIDITY	47	57

2. RESULTADOS OBTENIDOS:
RESULTS OBTAINED

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Color P Pt-Co(UPC)	0	≤15	ESPECTROFOTOMÉTRICO SM 2120C
Olor y Sabor	---	ACEPTABLE	-
Turbidez UTN	---	≤2	TURBIDIMÉTRICO SM 2130B
Cl Residual In Situ mg/L	1,4	0,3 - 2,0	-
Cl Residual mg/L	2,4	0,3 - 2,0	COLORIMÉTRICO DPO SM 4500 Cl G
pH	7,84	6,5 - 9,0	ELECTROMÉTRICO SM 4500 H+B
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Coliformes Totales: NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Escherichia coli</i> NMP/100 cm ³ (mL)	<1	<1	SUSTRATO ENZIMÁTICO SM-9223B
<i>Giardia</i> (Quistes/10L)	---	0	METODO EPA 1623,1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER
<i>Cryptosporidium</i> (Ooquistes/10L)	---	0	METODO EPA 1623,1 CRYPTOSPORIDIUM AND GIARDIA AND WATER

	SALUD PÚBLICA	Código: CMU-02-F-02.
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha Aprobación:
	FISICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS	2017-02-03
		Versión: 0
		Página: 2 de 2

Número
Number 2021-18

PRUEBAS COMPLEMENTARIAS POR MAPA DE RIESGO ANÁLISIS FISICOQUÍMICO			
PÁRAMETROS BÁSICOS	RESULTADOS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007 Y RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÉTODO METHOD
Hierro mg/L Fe	---	0,3	COLORIMETRICO SM 3500 Fe B
Conductividad umhos/cm	---	50-1000	ELECTROMETRICO SM 2510 B
Fluoruros mg/L F-	---	1	---
Sulfatos mg/L SO4	---	250	TURBIDIMETRICO SM 4500-SO4 E
Dureza Total mg/L CaCO3	48,79	300	VOLUMETRICO EDTA SM 2340 C
Fosfatos mg/L PO4	0,01	0,5	COLORIMETRICO SM 4500 P D
Nitritos mg/L NO2	---	0,1	COLORIMETRICO SM 4500 NO2 B
Alcalinidad f. mg/L CaCO3	---	---	TITULACION SM 2320 B
Alcalinidad t. mg/L CaCO3	---	200	TITULACION SM 2320 B
Cloruros mg/L Cl	3,88	250	COLORIMETRICO SM 4500 C-D
CONCEPTO			
PORCENTAJE IRCA:	0,00%	NIVEL DE RIESGO:	SIN RIESGO

3. OBSERVACIONES

OBSERVATIONS

Temperatura en recepción: 3,8°C

Analista Fisicoquímico
Physicochemical Analyst

AMA-0.26 

Revisó
Revised

AMA-0.20 

Analista Microbiológico
Microbiological Analyst

AMA-0.22 

Revisó
Revised

AMA-0.27 


P.E Coordinadora Laboratorio de Salud Pública
Specialized Professional Coordinator Public Health Laboratory

FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

Figura 36. Resultados análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la red de distribución en marzo del 2021.

10. Bibliografía

- Addy, K., Green, L., & Herron, E. (2004). pH and Alkalinity. *Kingston: University of Rhode Island*.
- AKC. (2021). *Plantas de Tratamiento*. <https://akc.com.co/akcword/plantas-de-tratamiento>
- Alvarado, R., & Roberto, B. (2016). *Impacto De La Configuración Hidráulica Del Mezclador Parshall Y Su Eficiencia En Los Gradientes De Coagulación Caso De Estudio Planta De Tratamiento De Agua Potable Atahualpa*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. In *Colombia: Ed. Mc Graw Hill*. <http://fing.uncu.edu.ar/catedras/sanitaria/archivos/libros-arboleda-valencia/Teoria y Practica de la Purificacion del H2O - Tomo 1 - Arboleda Valencia.pdf>
- Arteaga Benavides, B. E. (2019). Evaluación de la Operación Hidráulica de la planta de Potabilización de Agua del municipio de Marmato, Caldas. *Departamento de Ingeniería Química*.
- Baird, R. B. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd*. Water Environment Federation, American Public Health Association, American
- Benito Velásquez, A. C., & Valbuena Pascuas, Y. Y. (2015). *Evaluación Técnica y Operativa de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de Chocontá, Cundinamarca*.
- Bernal Useche, T. L. (2018). *Propuesta de un sistema de potabilización del agua para la vereda Zumbe ubicada en Útica, Cundinamarca* [Universidad El Bosque]. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/3435>
- Buitrago Méndez, J. C. (2015). *Gestión comunitaria en la prestación del servicio público de agua potable y saneamiento básico caso del municipio de Macanal - Boyacá*. <http://hdl.handle.net/10554/19032>
- Caicedo Cardenas, H. L., & Suarez Cruz, E. M. (2018). Propuesta de mejora para el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto Veredal Coovesur Ltda. E.S.P. del municipio de Fusagasugá-Cundinamarca (Trabajo de grado). *Fundación Universidad de América*, 162.
- Campos, A. C. E., & Vargas, P. A. A. (2019). Análisis técnico y ambiental de una planta de tratamiento compacta de agua potable en Villarrica-tolima. *Boletín*

Semillas Ambientales, 13(1), 40–51.

- Carrillo, M. K. (2011). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua superficial para potabilización, proveniente del río mopán, petén, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Clarke, R., Peyton, D., Healy, M. G., Fenton, O., & Cummins, E. (2017). A quantitative microbial risk assessment model for total coliforms and *E. coli* in surface runoff following application of biosolids to grassland. *Environmental Pollution*, 224, 739–750. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.025>
- Comisión nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México.
- Cruz Rico, M. C., & Samacá Sanabria, L. (2019). *Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá*.
- De Sousa, C., Correia, A., & Colmenares, M. C. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control . In *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* (Vol. 50, pp. 187–196). scielon .
- Echeverría Molina, J., & Anaya Morales, S. (2018). El derecho humano al agua potable en Colombia: Decisiones del Estado y de los particulares. *Vniversitas*, 67(136), 1–14. <https://doi.org/10.11144/javeriana.vj136.dhap>
- Fandiño Piamonte, J. S., & Camargo Arcila, C. E. (2013). *Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento de Tolima*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1101>
- Fatemeh, D., Reza, Z. M., Mohammad, A., Salomeh, K., Reza, A. G., Hossein, S., Maryam, S., Azam, A., Mana, S., Negin, N., Reza, K. A., & Saeed, F. (2014). Rapid detection of coliforms in drinking water of Arak city using multiplex PCR method in comparison with the standard method of culture (Most Probably Number). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4(5), 404–409. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C896>
- Flórez Sánchez, J. A., Rengifo Hernández, H. F., & Ospina Zúñiga, O. E. (2015). *Análisis experimental de la distribución de caudal en los sedimentadores de una planta de tratamiento de agua potable*.
- García Bautista, B. H., & Correa Bellido, L. (2018). *Diagnóstico y propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de La Palma - departamento Cundinamarca- Colombia*.
- Gobernación de Norte de Santander. (2014a). *Informe de diagnóstico-municipio de*

- Abrego. http://www.pdanortedesantander.com/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGNÓSTICO_ABREGO.pdf
- Gobernación de Norte de Santander. (2014b). *Informe de diagnóstico-municipio de Ocaña*. http://www.pdanortedesantander.com/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGNÓSTICO_OCAÑA.pdf
- Gobernación de Norte de Santander. (2014c). *Informe de diagnóstico-municipio de Pamplona*. http://www.pdanortedesantander.com/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGNÓSTICO_PAMPLONA-2014-05-20.pdf
- Goyal, R. V., & Patel, H. M. (2015). Analysis of residual chlorine in simple drinking water distribution system with intermittent water supply. *Applied Water Science*, 5(3), 311–319. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0193-7>
- Guerrero Arengas, N. F., & Muñoz Avendano, K. J. (2017). *Propuesta de optimización, para el mejoramiento del sistema de acueducto del municipio de San Calixto, norte de Santander*.
- Guzmán-Barragán, B. L., Días Bevilacqua, P., & Nava-Tovar, G. (2015). Contextos locales de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano: Brasil y Colombia. *Revista de Salud Pública*, 17(6), 961–972. <https://doi.org/10.15446/rsap.v17n6.40977>
- Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 35(2), 177–190.
- Haldar, D., Duarah, P., & Purkait, M. K. (2020). MOFs for the treatment of arsenic, fluoride and iron contaminated drinking water: A review. *Chemosphere*, 251, 126388. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126388>
- Hashempour, Y., Nasser, M., Mohseni-Bandpei, A., Motesaddi, S., & Eslamizadeh, M. (2020). Assessing vulnerability to climate change for total organic carbon in a system of drinking water supply. *Sustainable Cities and Society*, 53(August 2019), 101904. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101904>
- Hashim, K. S., Shaw, A., Al Khaddar, R., Pedrola, M. O., & Phipps, D. (2017). Iron removal, energy consumption and operating cost of electrocoagulation of drinking water using a new flow column reactor. *Journal of Environmental Management*, 189, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.035>
- Instituto Nacional de Salud. (2018). *Estado de Vigilancia de la Calidad del Agua para el Consumo Humano en Colombia, 2018*.

<https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-calidad-agua-2018.pdf>

- Lagger, J. R., Mata, H. T., Pechin, G. H., Larrea, A. T., Otrsky, R. N., Cesan, R. O., Caimier, A. G., & Meglia, G. E. (2000). La importancia de la calidad del agua en producción lechera. *Veterinaria Argentina*, 27(165), 346–354.
- Li, H., Zhu, X., & Ni, J. (2011). Comparison of electrochemical method with ozonation, chlorination and monochloramination in drinking water disinfection. *Electrochimica Acta*, 56(27), 9789–9796. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.08.053>
- Ma, J., Wang, R., Wang, X., Zhang, H., Zhu, B., Lian, L., & Lou, D. (2019). Drinking water treatment by stepwise flocculation using polysilicate aluminum magnesium and cationic polyacrylamide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103049. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103049>
- Malakootian, M., Mansoorian, H. J., & Moosazadeh, M. (2010). Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination*, 255(1–3), 67–71. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.01.015>
- Martínez-García, J., Jaramillo-Colorado, B. E., & Fernández-Maestre, R. (2019). Water quality of five rural Caribbean towns in Colombia. *Environmental Earth Sciences*, 78(18), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8580-x>
- Martínková, E., Křžek, T., & Coufal, P. (2014). Determination of nitrites and nitrates in drinking water using capillary electrophoresis. *Chemical Papers*, 68(8), 1008–1014. <https://doi.org/10.2478/s11696-014-0548-4>
- Ministerio de la protección social. (2007). *Resolución 2115 de 2007* (p. 23). https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Ministerio de la protección social. (2009). *Resolución 00082 del 2009*. [https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin SIVICAP/2009 Resolución 082 Buenas prácticas sanitarias.pdf](https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2009%20Resoluci%20n%20082%20Buenas%20pr%20cticas%20sanitarias.pdf)
- Ministerio de Salud y Protección Social, & Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2016). *Protocolo Autocontrol persona prestadora del servicio público de acueducto y los procesos de supervisión por parte de la Autoridad Sanitaria*. 1–32.
- Ministerio de Vivienda. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Título C: Sistemas de potabilización*.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017* (p. 182). [http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf)

- Monroy, M. (2010). Medidores de flujo en canales abiertos. *Biblioteca. Usac. Edu. Gt*, 1–119.
- Navarro, L. V., & Castellanos, Y. C. (2019). Evaluar la operación de la planta de tratamiento de agua potable número dos de Chiquinquirá para elaborar una propuesta técnico – económica de mejoramiento. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/775
- OMS. (2019). *Agua*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ospina Gómez, D. F., & Orjuela Barrero, A. F. (2019). *Propuesta de un sistema de potabilización de agua subterránea para la finca Las Brisas en Nemocón, Cundinamarca* [Fundación Universidad América]. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7433>
- Palacio, D. (2019). *Formulación de alternativas para el mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua potable a través de la evaluación a los procesos de potabilización en el municipio de ábrego, norte de santander*. 88. https://www.academia.edu/31615930/BOMBAS_CENTRIFUGAS_CONECTA_DAS_EN_SERIE_Y_EN_PARALELO
- Panhwar, A. H., Kazi, T. G., Afridi, H. I., Arain, S. A., Arain, M. S., Brahaman, K. D., Naeemullah, & Arain, S. S. (2016). Correlation of cadmium and aluminum in blood samples of kidney disorder patients with drinking water and tobacco smoking: related health risk. *Environmental Geochemistry and Health*, 38(1), 265–274. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9715-y>
- Pavlovska, G., Stafilov, T., & Čundeveva, K. (2015). Determination of iron in drinking water after its flotation concentration by two new dithiocarbamate collectors. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 50(13), 1386–1392. <https://doi.org/10.1080/10934529.2015.1064285>
- Perea-Torres, L. M., Torres-Lozada, P., Cruz-Vélez, C. H., & Escobar-Rivera, J. C. (2013). Influencia de la configuración del medio filtrante sobre el proceso de filtración a tasa constante del agua clarificada del río Cauca. *Revista de Ingeniería*, 38, 38–44.
- Pérez López, J. E. (2010). *Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de yopal* [Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133761.pdf>
- Pulido Sanchez, P. C., & Alonso Rios, J. L. (2017). *Propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa fertilizantes colombianos s.a*. Fundación Universidad de América.

- Quiros, F. R. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Técnica Industrial*, 260, 55.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rezaei, H., Jafari, A., Kamarehie, B., Fakhri, Y., Ghaderpoury, A., Karami, M. A., Ghaderpoori, M., Shams, M., Bidarpoor, F., & Salimi, M. (2019). Health-risk assessment related to the fluoride, nitrate, and nitrite in the drinking water in the Sanandaj, Kurdistan County, Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(5), 1242–1250. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1463510>
- Rivas, W. A. L., & Bravo, G. L. (2016). *Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia.
- Rojas, H. (2015). *Tratamiento de agua lluvia*. <http://hernanrojasenriquez.blogspot.com/2015/05/tratamiento-de-agua-lluvia.html>
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. Alfaomega.
- Santa Cruz Alarcón, J. F. (2016). *Influencia del pH en la eficiencia del proceso de coagulación–floculación en el tratamiento de agua potable para la ciudad de Moyobamba*.
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), & Ministerio de Desarrollo Económico. (1999). *Calidad del agua : curso básico*. <https://hdl.handle.net/11404/1306>
- Silva, E., Villarreal, M. E., Cárdenas, O., Cristancho, C. A., Murillo, C., Salgado, M. A., & Nava, G. (2015). Inspección preliminar de algunas características de toxicidad en el agua potable domiciliaria, Bogotá y Soacha, 2012. *Biomédica*, 35(2), 152–166.
- Tambi, A., Brighu, U., & Gupta, A. B. (2016). A sensitive presence/absence test kit for detection of coliforms in drinking water. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(5), 1320–1326. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.055>
- Tar, G. (2016). *Tratamiento de Potabilización de agua*. Sevilla: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE SEVILLA.
- Valencia Cuesta, A. T. (2016). *Evaluación de la calidad de agua para consumo, en la cabecera municipal de Riosucio departamento del Chocó-Colombia* [Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3138?show=full>
- Valverde Valenzuela, L. J. (2018). “Evaluación del sistema de agua potable en el centro poblado de Shansha – 2017 – propuesta de mejoramiento.” *Universidad*

César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26320#.YE-ZhU2hV5A.mendeley>

- van den Brand, A. D., Beukers, M., Niekerk, M., van Donkersgoed, G., van der Aa, M., van de Ven, B., Bulder, A., van der Voet, H., & Sprong, C. R. (2020). Assessment of the combined nitrate and nitrite exposure from food and drinking water: application of uncertainty around the nitrate to nitrite conversion factor. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 37(4), 568–582. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1707294>
- Van Dyke, N., Yenugadhati, N., Birkett, N. J., Lindsay, J., Turner, M. C., Willhite, C. C., & Krewski, D. (2021). Association between aluminum in drinking water and incident Alzheimer’s disease in the Canadian Study of Health and Aging cohort. *NeuroToxicology*, 83, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.002>
- World Health Organization. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*.
- Zhang, Z., Wang, J., Liu, D., Li, J., Wang, X., Song, B., Yue, B., Zhao, K., & Song, Y. (2017). Hydrolysis of polyaluminum chloride prior to coagulation: Effects on coagulation behavior and implications for improving coagulation performance. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 57, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.10.014>
- Zhao, Y., Anichina, J., Lu, X., Bull, R. J., Krasner, S. W., Hrudey, S. E., & Li, X. F. (2012). Occurrence and formation of chloro- and bromo-benzoquinones during drinking water disinfection. *Water Research*, 46(14), 4351–4360. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.032>