

ANÁLISIS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA VEREDA LA
TRINIDAD DEL MUNICIPIO DE DUITAMA DE ACUERDO CON EL
REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
BÁSICO RAS - 2000

NICOLAS PAQUE RAMÍREZ

COD: 2090796

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2016

ANÁLISIS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA VEREDA LA
TRINIDAD DEL MUNICIPIO DE DUITAMA DE ACUERDO CON EL
REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
BÁSICO RAS - 2000

NICOLAS PAQUE RAMÍREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR:
ANDRES FELIPE MARTINEZ URREGO
INGENIERO QUIMICO Mg. EDUCACIÓN

CODIRECTOR:
MIGUEL ANGEL DÍAZ SALAS
INGENIERO TOPOGRAFICO Ms GESTION URBANA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ.D.C
2016

NOTA DE ACEPTACION

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C., 13 de junio del 2016

DEDICATORIA

El trabajo presente se lo dedico a Dios por haberme brindado las oportunidades y el bienestar para poder realizar mis metas.

A mi padre Luis Erney Paque Cano porque me apoyó en los momentos que requería de su ayuda y creyó en mí. Siempre estaré agradecido por brindarme todo lo mejor que pudo estar a su alcance.

A mi madre Aura María Ramirez Medina quien con sus consejos y virtudes me ayudaron a centrarme en mis metas, por el valor y fortaleza que me ha ayudado a dar para superar los problemas y en especial por el amor incondicional que siempre me ha brindado.

A mis hermanos Sara Viviana Paque Ramirez y John Ferney Paque Ramirez, que con su apoyo e interés en mí, me acompañaron en este trayecto como lo ha sido en otros y sé que será así en los que vendrán.

A mi novia Daniela Montaña por su apoyo incondicional y acompañamiento en esta etapa de mi vida, quien con sus palabras y actos me ayudaron a sobresalir y superar los obstáculos que se presentaron.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad, por su colaboración y al permitirme acceder a sus instalaciones e información que hicieron posible el desarrollo de la investigación. Al Señor Mario Peña, representante Legal de la Empresa y a la Señora Fanny Lara junto al personal de la planta, quienes fueron muy cordiales y colaboradores conmigo.

Al Ingeniero Miguel Ángel Díaz, quien desde un principio me brindó su ayuda, orientación y gran apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Al Ingeniero Andrés Martínez, por su asesoría en la metodología y desarrollo de la investigación presente, influyendo en que se generara un buen resultado gracias a la entrega de tiempo y disponibilidad.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	15
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
4. MARCO CONTEXTUAL	19
4.1 DESCRIPCION BIOFISICA DE LA VEREDA LA TRINIDAD	20
4.2 DESCRIPCIÓN SOCIOECONOMICA DE LA VEREDA LA TRINIDAD	25
5. MARCO TEÓRICO	28
6. MARCO CONCEPTUAL	30
7. MARCO INSTITUCIONAL.....	35
8. MARCO LEGAL	36
9. METODOLOGÍA.....	39
9.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	40
9.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	40
9.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	42
9.4 GENERACIÓN DE RESULTADOS.....	43
10. RESULTADOS.....	44

10.1 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO Y ANÁLISIS SEGÚN EL RAS - 2000	44
10.1.1 Coagulación	44
10.1.2 Floculación	47
10.1.3 Sedimentación	49
10.1.4 Filtración	51
10.1.5 Desinfección	55
11. INDICADORES DE CUMPLIMIENTO	58
11.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS	58
11.1.1 Estudios previos.....	58
11.1.2 Características del Proceso.	58
11.1.3 Parámetros de diseño.	58
11.1.4 Control del proceso y operación.	58
11.2 ANÁLISIS DE INDICADORES DE CUMPLIMIENTO.....	59
11.2.1 Estado general del sistema de potabilización.	59
11.2.2 Estado de los procesos del sistema de potabilización.	60
11.2.2.1 Coagulación.....	61
11.2.2.2 Floculación.....	63
11.2.2.3 Sedimentación.	64
11.2.2.4 Filtración.	66
11.2.2.5 Desinfección.	67
11.2.2.6 Mantenimiento	69
12. RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	71
13. CONCLUSIONES.....	74
14. RECOMENDACIONES	76
15. BIBLIOGRAFÍA.....	77

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Clasificación del Suelo del Municipio de Duitama	24
Cuadro 2. Listado de Instituciones educativas presentes en la Vereda La Trinidad	27
Cuadro 3. Características del proceso de floculación	32
Cuadro 4. Normatividad legal vigente sobre Servicios Públicos Domiciliarios y Criterios de Calidad del Agua Potable	36
Cuadro 5. Descripción de los módulos de la lista de chequeo.....	42
Cuadro 6. Comparación de los valores hidráulicos con lo definido por el RAS - 2000 y un referente teórico.....	45

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Propuesta de optimización para cada proceso	71
--	----

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Ubicación de la Vereda La Trinidad	19
Figura 2. Fases del proyecto.....	39
Figura 3. Estructura de la lista de chequeo para cada proceso	41

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1. Distribución temporal de la precipitación de la estación Surbata Bonza	21
Gráfica 2. Distribución temporal de la temperatura promedio mensual multianual de la estación Surbata Bonza	22
Gráfica 3. Distribución temporal de la evaporación promedio mensual multianual de la estación Surbata Bonza	23
Gráfica 4. Porcentaje de cumplimiento general del sistema de potabilización	59
Gráfica 5. Porcentaje de cumplimiento de los procesos del sistema de potabilización	60
Gráfica 6. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Coagulación	61
Gráfica 7. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Floculación	63
Gráfica 8. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Sedimentación	64
Gráfica 9. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Filtración	66
Gráfica 10. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Desinfección	67
Gráfica 11. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Mantenimiento	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cálculos Hidráulicos de los procesos del Sistema de Potabilización

Anexo B. Lista de chequeo de los procesos del sistema de potabilización

RESUMEN

El presente proyecto evalúa la aplicabilidad que tiene el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en su título C, en el sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la vereda La Trinidad del Municipio de Duitama - Boyacá. El estudio se enfoca en realizar el análisis de las condiciones de diseño y actividades de operación según los parámetros definidos en el título C; para ello, se realizaron visitas de campo en donde se tomó información técnica en función de las anteriores actividades y que al final permitió reflejar el estado del sistema de potabilización.

A partir de los hallazgos que refleja el estado del sistema de potabilización, se realizó una propuesta preliminar de optimización para la entidad prestadora del servicio de acueducto, que permita mejorar las condiciones técnicas y operativas que afecta la eficiencia de los procesos.

Palabras Clave: saneamiento básico, agua potable, condiciones de diseño, actividades de operación, mantenimiento, sistema de potabilización, planta de tratamiento de agua potable.

INTRODUCCIÓN

Según el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo sobre los objetivos de desarrollo del milenio para Colombia, la mortalidad infantil se ha reducido entre el año 2000 y 2013 a menos de la mitad; sin embargo, aún fallecen cerca de 8.000 niños al año, donde las mayores muertes de niños menores de un año se presentan en zonas rurales. Este hecho se relaciona en que el 25% de la población del país vive en zona rural, y de ellos el 47% no tiene acceso a agua potable [1]. Por esta razón, como lo establece la Constitución Política de Colombia, el Estado Colombiano se encuentra en la obligación de dar solución a los problemas de necesidades básicas insatisfechas como el acceso de agua potable para consumo humano mediante el abastecimiento continuo y de calidad, mejorando las condiciones higiénicas y de salud [2].

Dentro de los objetivos del presente estudio se encuentra diseñar y aplicar un instrumento de evaluación que permita realizar un diagnóstico del sistema de potabilización de una planta de tratamiento de agua potable ubicada en una zona rural, mediante la verificación de los componentes de diseño y condiciones de operación que exige la normatividad legal vigente, plasmado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Como resultado de esta evaluación, se podrá formular una propuesta preliminar de optimización encaminada a mejorar las falencias técnicas y operativas dirigidas a la persona prestadora del servicio de acueducto.

El alcance de la investigación se centra en realizar una valoración del estado de un sistema de potabilización, el cual comprende aquellas áreas de carácter de diseño y operativas de una planta de tratamiento del agua como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Por ende, no se consideran dentro de la valoración aquellas actividades de carácter administrativas que de igual manera el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 contempla en su título C sobre Sistemas de Potabilización.

Dentro del desarrollo de la investigación, se encontraron algunas limitaciones que no permitieron la medición de algunos parámetros relacionados con la falta de información de carácter técnico.

Este documento comprende una lista de chequeo como instrumento de evaluación aplicable para todos los procesos que conforma el sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la Vereda La Trinidad. En ella se tiene en cuenta las especificaciones que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 y la normatividad que esta acoge para los requerimientos técnicos y de calidad de agua.

El desarrollo de la investigación, permite generar una base mediante la cual se podría aplicar como una herramienta para evaluar el estado de cumplimiento de los sistemas de potabilización de las plantas de tratamiento de agua potable en zonas rurales y urbanas, según las exigencias técnicas que establece el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la vereda La Trinidad del Municipio de Duitama - Boyacá, fue construida entre los años 1.998 y 1.999 antes de que se aprobara la Resolución 1096 del 17 de Noviembre de 2000 emitida por el Ministerio de Desarrollo Económico; esta normatividad adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000, instaurando su aplicabilidad a nivel nacional.

Los sistemas de potabilización al ser construidas antes de la aprobación de la resolución 1096 de 2000, desconoce los requisitos técnicos que deben cumplir en el diseño y procedimientos que les permita garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad y eficiencia determinadas en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Este problema se relaciona con la falta de asesoramiento técnico y/o actualización por parte de las entidades prestadoras del servicio público domiciliario, en donde como resultado se puede estar infringiendo con los estándares de calidad del agua que se distribuye a la población beneficiada. Por esta razón, la investigación se centra en realizar el análisis de la aplicabilidad que tiene el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 en un sistema de potabilización para una zona de ámbito rural.

2. JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable es una necesidad humana básica, al mismo tiempo que un derecho humano fundamental. Sin embargo, en el mundo más de mil millones de personas se ven privadas del derecho de agua potable y 2600 millones no tienen acceso a saneamiento adecuado. Estas cifras reflejan tan solo una de las dimensiones del problema. De acuerdo al informe mundial del año 2006, el programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), cada año mueren cerca de 1,8 millones de niños como consecuencia directa de la diarrea y otras enfermedades causadas por el agua contaminada y por un saneamiento insuficiente [3].

En el año 2012 el Ministerio de Salud y Protección Social realizó un estudio a nivel nacional en donde se definió que cerca del 58.8% de la población consumía agua potable con adecuadas condiciones higiénicas. Sin embargo, el índice de riesgo de calidad del agua (IRCA) en la zona urbana es de 13,2% siendo nivel bajo y en las zonas rurales se alcanzó un nivel de 49,8%, clasificándolo en el nivel alto de riesgo de presentar enfermedades a causa del agua consumida. De acuerdo a lo anterior, es necesario fortalecer las acciones para mejorar la calidad del agua suministrada en las zonas rurales que permitan reducir el riesgo de enfermedad diarreica aguda (EDA) que afectan principalmente a los niños menores de 5 años, siendo este un factor influyente en la salud pública [4].

Evidentemente, desde la perspectiva de la salud ambiental, el acceso a agua potable y la prestación de servicios de saneamiento básico se constituyen en determinantes claves para la reducción de morbilidad [4], por lo cual es indispensable la creación de estrategias para garantizar la potabilidad del agua como es el caso de las “Plantas de Tratamiento de Agua Potable”, cuyo objetivo consiste en tratar el agua cruda para que se encuentre en condiciones aptas para el consumo humano. Por medio del Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000, se establece todos los componentes y recomendaciones para los sistemas de potabilización, hecho importante que permite mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales.

Es irrelevante realizar un diagnóstico al sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la vereda La Trinidad, dado a que su construcción se realizó antes de que se aprobara la resolución 1096 de 2.000 emitida por el Ministerio de Desarrollo Económico y al igual de que esta no cuenta con el asesoramiento adecuado e información acerca del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un diagnóstico del sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la vereda La Trinidad, en los componentes de diseño y operación acorde con las especificaciones definidas por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

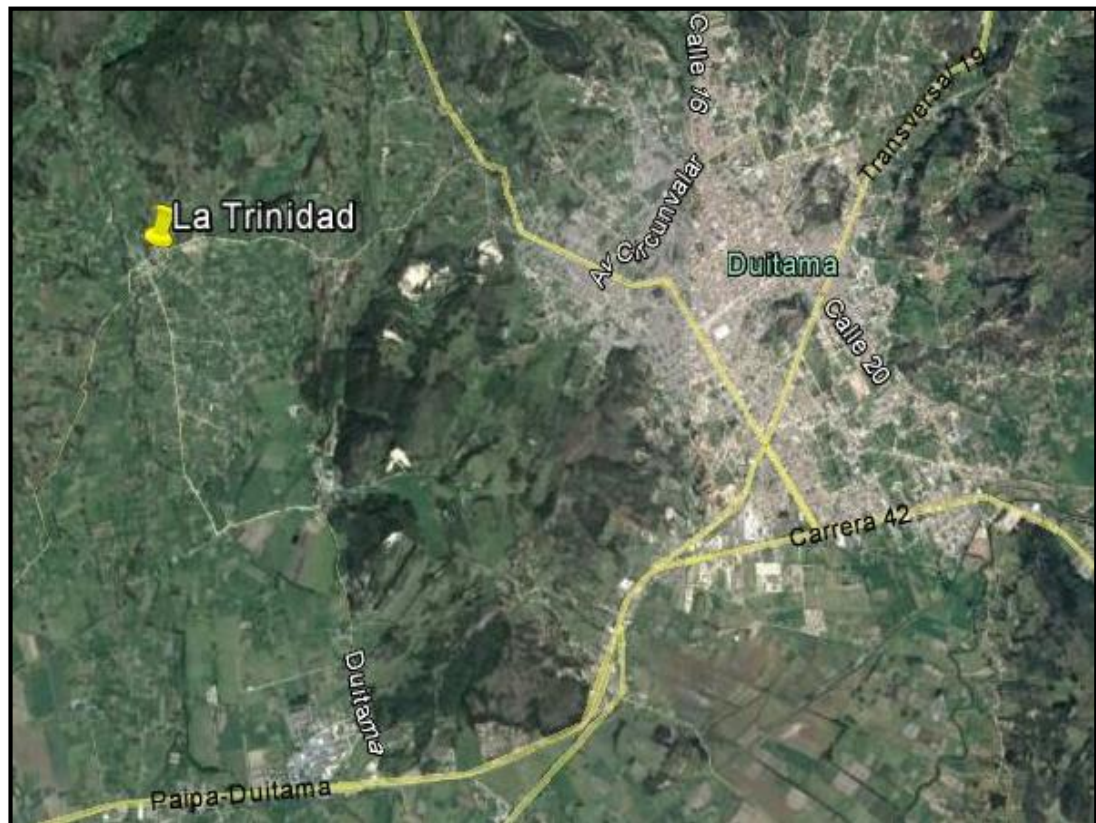
- ❖ Diseñar y aplicar un instrumento de verificación de los parámetros de diseño y condiciones operativas de cada una de las unidades de proceso del sistema de potabilización de la PTAP.
- ❖ Evaluar las condiciones de diseño e hidráulicas del sistema de potabilización de la PTAP La Trinidad, contrastándolas con el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.
- ❖ Realizar una verificación de las condiciones de operación y de mantenimiento del sistema de potabilización de la PTAP, conforme a los ítems definidos por el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.
- ❖ Formular recomendaciones de operación y mantenimiento como herramienta de optimización técnica y operativa del sistema de potabilización para la Vereda la Trinidad, que sirva como instrumento de gestión para la empresa prestadora del servicio de acueducto.

4. MARCO CONTEXTUAL

La vereda La Trinidad es una zona suburbana ubicada en el departamento de Boyacá, en el occidente del municipio de Duitama, que pertenece al corregimiento # 3 al sector del valle de Zurba y Bonza [5]. La vereda posee un centro poblado conformado por 15 manzanas, con una altura de 2500 m.s.n.m.

La planta de tratamiento de Agua Potable se encuentra a unos 200 metros de distancia respecto al centro del pueblo, donde su sede administrativa se sitúa en el segundo piso del salón comunal de la vereda. El sistema de abastecimiento del acueducto distribuye agua a las veredas La Trinidad, Vereda Surba y Bonza y San Lorenzo. Para lo anterior, la PTAP comprende dos sistemas de abastecimiento provenientes del “Rio Surba” y la “Quebrada La Zarza”; en donde para la fuente del “Rio Surba” se realiza un tratamiento convencional y para la fuente de la quebrada “La Zarza” se realiza una filtración directa.

Figura 1. Ubicación de la Vereda La Trinidad en zona rural respecto a la cabecera municipal de Duitama



Fuente: Google, CNES / Astrium [6].

Los límites de la quebrada son [7]:

LIMITE NORTE: Limita con el punto donde se encuentra la bocatoma de la empresa Empoduitama, quien presta uno de los servicios de abastecimiento de agua a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la vereda la Trinidad.

LIMITE SUR: Limita con la Ruta Nacional 55 - Troncal Central del Norte de doble calzada, la cual es la vía principal que conecta a Duitama con Paipa.

LIMITE ORIENTAL: Limita con la vereda Quebrada de Becerras por la vía Secundaria que conduce hacia Duitama y la cual pasa por el barrio Boyacá.

LIMITE OCCIDENTAL: Limita con la Vereda Rincón de Españoles la cual hace parte del Municipio de Paipa.

4.1 DESCRIPCION BIOFISICA DE LA VEREDA LA TRINIDAD

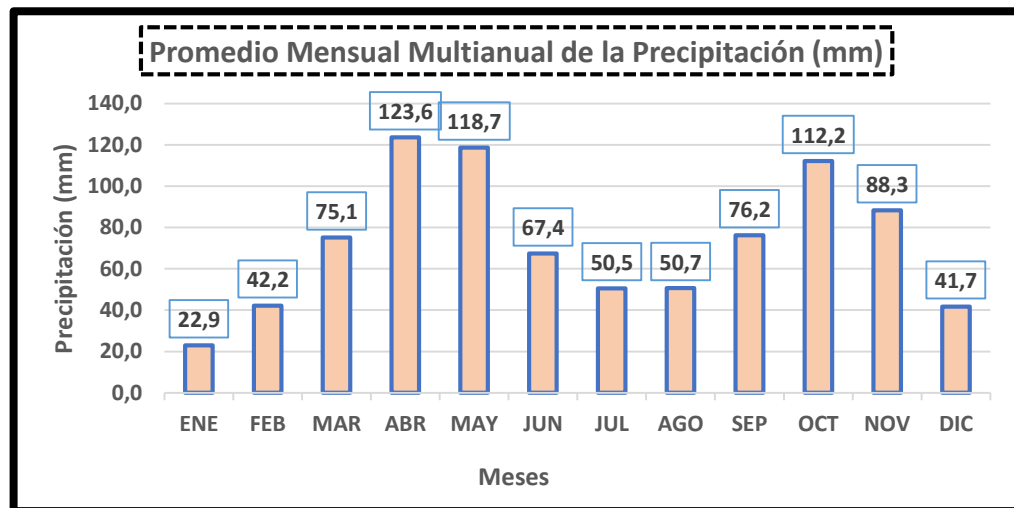
Clima

Las características climáticas de la vereda La Trinidad se analizan según la información definida en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Duitama, en donde se selecciona la información correspondiente a la estación meteorológica Surbata Bonza perteneciente a la zona del estudio y se mostrarán a continuación:

Precipitación

Según la información del IDEAM se presenta la siguiente gráfica que representa la distribución temporal de la precipitación entre los años 1981 y 2010.

Gráfica 1. Distribución temporal de la precipitación de la estación Surbata Bonza



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM [8] .

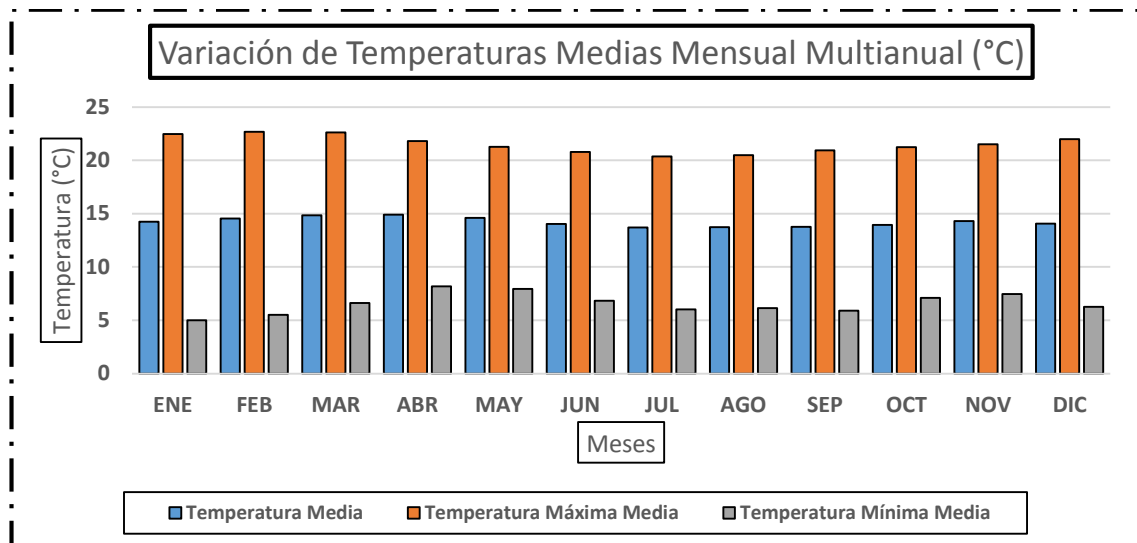
En la gráfica anterior, podemos observar que la estación Surbata Bonza representa el patrón de lluvias de la vereda La Trinidad, la cual nos indica que presenta dos periodos lluviosos intercalados por dos secos al año, donde para el primer periodo los valores máximos de precipitación se exhibe en los meses de Abril con 123,6mm y Mayo con 118,7mm; ya para el segundo periodo de lluvias, los valores máximos de precipitación se presenta en los meses de Octubre con 112,2mm y Noviembre con 88,3mm.

Finalmente, el primer periodo seco se presenta en los meses de Enero con 22,9mm y Febrero con 42,2mm. Finalmente, el segundo periodo seco se presenta en los meses de Julio con 50,5mm y Agosto con 50,7mm.

Temperatura

La temperatura presente en la vereda, se ve representada en los datos mensuales multianuales de los años 1981 - 2010 de la estación Surbata Bonza del IDEAM.

Gráfica 2. Distribución temporal de la temperatura promedio mensual multianual de la estación Surbata Bonza



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM [8].

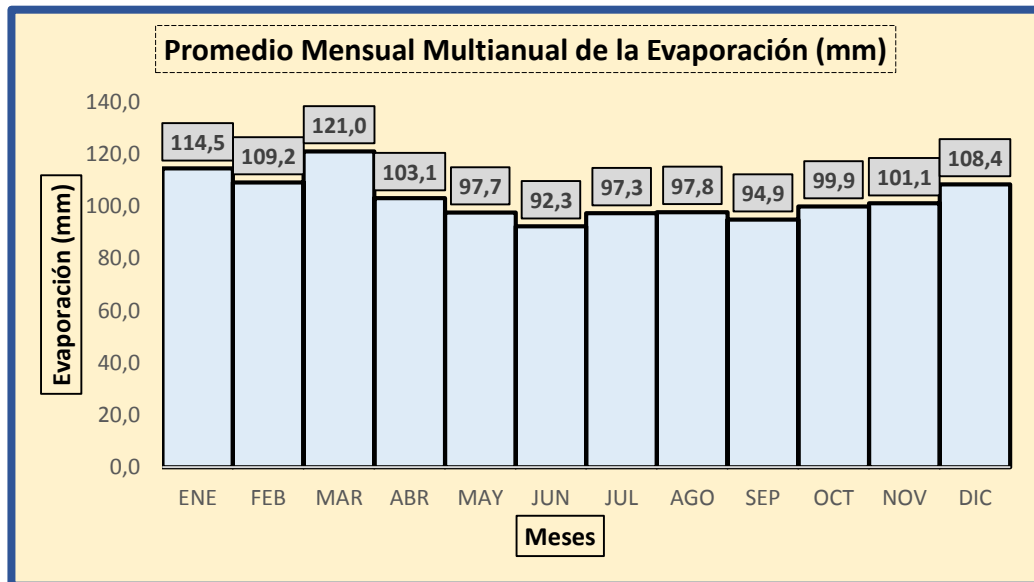
Teniendo en cuenta el promedio de las temperaturas medias, máximas y mínimas dados por la estación Surbata Bonza para cada uno de los meses del año, la gráfica anterior permitió analizar el comportamiento de la temperatura que se presenta en la zona de estudio, donde la temperatura mínima presenta una conducta igual que en la precipitación, hecho que se relaciona de manera directa ya que a mayor precipitación, la temperatura disminuye. El comportamiento de las temperaturas medias y máximas tiene una tendencia más lineal, pero también sigue las variaciones que se presenta con la temperatura mínima en los dos semestres del año.

El valor de temperatura máxima media anual se registró en el mes de Febrero con un valor de 22,7°C, y la temperatura mínima media anual se registró en el mes de Enero al presentar un valor de 5,0°C.

Evaporación

La evaporación presente en la zona de estudio, se ve en los datos mensuales multianuales de los años 1981 – 2010 de la estación Surbata Bonza del IDEAM, perteneciente a la zona de la vereda La Trinidad donde por medio de la siguiente gráfica nos permitirá interpretar las condiciones presentes en la zona:

Gráfica 3. Distribución temporal de la evaporación promedio mensual multianual de la estación Surbata Bonza



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM [8].

Se puede apreciar el comportamiento mensual de la evaporación en la estación Surbata Bonza, donde presenta un comportamiento similar a la temperatura máxima media, en donde se relacionan debido a que la temperatura es un factor que afecta en la evaporación.

El valor máximo mensual multianual registrado en la estación se presenta en el mes de Marzo al tener un valor de 121mm; y el valor mínimo mensual multianual registrado corresponde al mes de Junio, al tener un valor de 92,3mm.

Clasificación del Suelo

El área perteneciente al Municipio de Duitama, se encuentra distribuido de acuerdo a la siguiente clasificación:

Cuadro 1. Clasificación del Suelo del Municipio de Duitama

TIPO DE SUELO	EXTENSIÓN (HA)	PORCENTAJE
Suelo Urbano	1.113,7155	4,13%
Suelo Expansión Urbana	73,6117	0,27%
Suelo Suburbano	1.015,5216	3,76%
Suelo Rural	24.775,6560	91,84%
Total	26.978,5048	100%

Fuente: Secretaría de Salud – Municipio de Duitama [5].

La clasificación del suelo en la zona de la vereda Surba Bonza ocupa el plano más alto del valle de Duitama en donde se encuentra las series de suelos más parceladas dadas por las explotaciones del terreno; hecho relacionado con la fertilidad presente en la zona permitiendo la producción de alimentos de primera necesidad y cultivos comerciales en menor escala [5].

Geomorfología

La forma de la superficie terrestre del municipio se caracteriza por presentar un relieve escarpado y quebrado, formado por un conjunto de montañas ordenados que dan el origen a valles, lagunas, lagunillas y pantanos; igualmente se presentan de manera sobresaliente sierras que son cadenas montañosas de corta trayectoria y que se caracterizan por presentar vegetación de poco volumen que causan los desiertos del páramo [9].

Estas características geomorfológicas presenta zonas llamadas cuchillas o lomadas sedimentarias plegadas no erosionables y sedimentarias paleozoicas que dado a su formación permiten el escurrimiento de las aguas abastecedoras del sistema de acueducto rural de la vereda La Trinidad como lo son el Río Surba y la Quebrada La Zarza [5].

Oferta Hídrica

Las fuentes de abastecimiento Río Surba y Quebrada La Zarza son zonas de acuíferos de porosidad secundaria de gran importancia hidrológica dado a que su ubicación estratégica permite el adecuado abastecimiento de agua, surtiendo el

Acueducto Municipal de Duitama y a su paso los acueductos veredales del municipio como en la Vereda La Trinidad, donde su uso se enfoca a actividades divididas en tres grupos [5]:

- *Usos directos de abastecimiento doméstico, riego y uso agropecuario.*
- *Usos indirectos que están conformados por las funciones para el mantenimiento de hábitat acuático.*
- *Usos opcionales referidos a todas las posibilidades de uso futuro de agua.*

Sin embargo, lo definido por el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) del Municipio de Duitama, en las micro cuencas de las fuentes de abastecimiento se presenta un estado de conservación estable en el Rio Surba a comparación del estado de la quebrada la Zarza, que pese a encontrarse en un estado natural en gran parte, algunos de sus panoramas presenta zonas de factores antropogénicos relacionados con el sobre pastoreo intensivo de ganadería sin el manejo de las praderas, permitiendo al ganado desplazarse y con ello se va endureciendo y compactando el suelo; oprimiendo el espacio de la vegetación encargada de funcionar como esponjas retenedoras de humedad, acto que conlleva a la disminución de los caudales de los ríos y quebradas [9].

4.2 DESCRIPCIÓN SOCIOECONOMICA DE LA VEREDA LA TRINIDAD

Población del Sector

En el área delimitante del sector poblacional rural del Municipio de Duitama, cuenta con una cifra de alrededor de 10.357 habitantes para el año 2014, el cual representa un valor de 9,23% de la población total del municipio [10]. En la zona de la vereda La Trinidad, se presenta una mayor población de mujeres al contar con un porcentaje aproximado de 65% contra un 35% de la población aproximada de la vereda [7].

En la vereda no se presenta grados de desplazamiento por causas de violencia pero si se realiza por parte de los jóvenes con fines académicos universitarios y/o técnicos, hacia aquellas ciudades que les presta este servicio educativo [7]. Sin embargo, existe un pequeño grupo de desplazados donde según la Red de Solidaridad Social del Municipio de Duitama, este grupo de personas provienen del corregimiento de Uroría (Casanare) y de la ciudad de Mongua, llegando a representar un 3% de la población total de la vereda [9].

Servicios Públicos Básicos e Infraestructura

En la actualidad se presenta un buen servicio de energía el cual presenta la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P, el cual dado a sus actividades de empresa mercantil ha contribuido al desarrollo de las zonas urbanas y rurales pertenecientes al departamento de Boyacá mediante la comercialización de la energía y ejecución de proyectos eléctricos [11].

La Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad al ser la encargada de prestar el servicio de acueducto y alcantarillado, presenta una deficiencia en la estructura de la planta de tratamiento de agua potable, dado a que presenta grietas en todas las estructuras y el mal estado de las condiciones de su entorno [12].

Economía

Las actividades económicas de este sector al ser rural, abarcan aquellas que están relacionadas con el uso del suelo, resaltando la actividad agrícola siendo la más importante de la región, ya que en el listado de los productos de primera necesidad se puede encontrar cultivos de alimentos como: la papa, el maíz, hortalizas, cebolla cabezona, haba, frijol y en especial de lentejas; se considera que en esta zona se cosechan la mayor parte de los productos que se consumen en la ciudad de Duitama [7].

La actividad ganadera y de pastoreo se realiza de manera extensiva en donde se enfoca a la producción de leche y productos derivados de esta. También se realiza la crianza de caballos por parte del Batallón Silva Plazas ubicado entre la vereda La Trinidad y la ciudad de Duitama [7]. Cabe destacar que dada a la ubicación de la vereda siendo parte de zonas de alta montaña, genera problemas de fertilidad haciendo que esta actividad al igual que la agrícola presente bajos rendimientos dado a los limitados usos que puede tener la tierra [12].

La actividad minera tiene presencia en la vereda donde el material principal de extracción es el carbón con fines de retroalimentar el sistema de abastecimiento de la termoeléctrica ubicada en Paipa y otras actividades de la región [7].

La vereda al estar ubicada dentro de la zona rural de Municipio de Duitama, presenta los medios para realizar actividades turísticas dado al fácil acceso y contacto con la naturaleza de las zonas de alta montaña, el cual se presta para realizar servicios de eco turismo junto con los atractivos culturales de la zona [7]. Un ejemplo de ello es el Sendero Ecológico La Zarza, el cual se encuentra ubicado a 1km del parque de la vereda La Trinidad. El sendero ecológico cuenta con dos rutas que se escogen dependiendo de las condiciones físicas y de la disponibilidad de tiempo de los visitantes; al igual permite el contacto de las

actividades agropecuarias de la zona y apreciar 3 tipos de ecosistemas como el de Bosque Alto Andino, Sub Páramo y Páramo [13].

Fuentes de Empleo

La oferta laboral de la vereda se basa en establecimientos comerciales ubicadas en el mismo sector de vivienda de las personas, donde principalmente se puede encontrar negocios de internet, papelería, tiendas, helados, productos agropecuarios, entre otros [7]; sin embargo, la mayoría de las mujeres cabeza de familia realizan como fuente de empleo, actividades correspondientes a los oficios domésticos que les permite mantener una economía para ellas y sus familias [7]. Esta causa resalta una problemática económica por escasez de fuentes de empleo, de seguridad, dificultades de acceso a la zona y problemáticas agrícolas, entre otras.

Salud

En la vereda hace presencia el puesto de Salud “La Trinidad” perteneciente a la Empresa Social de Estado – E.S.E Salud Tundama, siendo la entidad prestadora del servicio de salud de baja complejidad en la vereda, orientadas al área de promoción y prevención [14].

Educación

La vereda cuenta con la presencia de instituciones educativas de primaria y secundaria, las cuales ayudan a que la comunidad de esta vereda tenga un mayor acceso a la educación dado a que evita los costos de transporte hacia la ciudad de Duitama. Estas instituciones se mencionan a continuación:

Cuadro 2. Listado de Instituciones educativas presentes en la Vereda La Trinidad

Nombre de la Institución	Promedio de Alumnos/as	Grados Ofrecidos
Instituto Técnico José Miguel Silva Plazas	410 en dos jornadas	Preescolar – Secundaria
Westminster College de Colombia	180 en jornada completa	Preescolar - Secundaria
Escuela rural San Lorenzo San Jorge de Bonza, Sede San Jorge	65 en una sola jornada	Preescolar - Primaria

Fuente: Programa Boyacá Digital [7].

5. MARCO TEÓRICO

La Constitución Política de Colombia establece como uno de los fines principales de la actividad del Estado, la solución de las necesidades básicas insatisfechas, entre las que está el acceso al servicio de agua. El agua potable es un derecho fundamental que una comunidad necesita dentro de los determinantes sociales para su desarrollo, siendo igual de importante como los derechos a la vida, a la salud, al bienestar y dignidad de las personas, ya que esta permite mejorar la salud humana [15]. Por otro lado, en situaciones donde las comunidades se encuentran dispersas y alejadas de sus centros rurales, no se cuenta con el adecuado saneamiento básico que se requiere para subsistir; como consecuencia de esto, han tomado acciones individuales que les han permitido acceder a servicios de agua potable con condiciones adecuadas de higiene en cada uno de los hogares. En el área rural se calcula que solo el 12 % (que equivale a 47 millones de personas) reciben agua tratada, las comunidades rurales dispersas y de baja densidad poblacional se caracterizan por presentar una menor cobertura [2]. A partir de aquí, surge la necesidad de aumentar la cobertura de agua potable, sin embargo, esta se ve afectada por la inadecuada gestión de las instituciones encargadas que prestan el servicio de acueducto, asociado a la falta de inversiones en proyectos sostenibles y a la generación de estrategias de intervención frente a problemas en la zonas rurales [16].

En Colombia a partir de los años ochenta, se realizó la descentralización política administrativa en donde pasó a ser responsabilidad de las administraciones municipales la provisión de agua potable y saneamiento básico de las zonas urbanas y rurales, siendo apoyadas por planes departamentales de servicios de agua y saneamiento básico [15]. Del mismo modo, en las zonas rurales, el municipio otorga un rol como garantes de los servicios de agua y saneamiento básico a organizaciones autorizadas de base comunitaria, pero que ha tenido deficiencias por problemas de capacitación de personal técnico local, herramientas de apoyo, bases administrativas y modelos sostenibles de financiamiento; trayendo consigo detrimentos en la infraestructura, operación y mantenimiento de los sistemas de potabilización [16].

La baja capacidad institucional de los municipios requiere de una mayor articulación y enfoque hacia el área rural, con actividades que permitan mejorar la regulación, la vigilancia y control a las entidades prestadoras de los servicios públicos en sus pruebas de calidad del agua y en el levantamiento y disponibilidad de información, integrando dentro de sus planes de desarrollo programas de planeación sectorial, asignación de subsidios de estratificación socioeconómica junto con iniciativas de educación sanitaria y ambiental, entre otras [15].

La calidad del agua potable es la razón de la ejecución de los procesos físico-químicos que se le realizan al agua cruda en los sistemas de potabilización, con fines de que pueda ser apta para el consumo humano y contribuya a reducir la

tasa de morbilidad y mortalidad infantil causada por enfermedades entre las cuales se presenta la diarrea y el cólera, que siguen representando un problema en la salud humana. El agua no apta para consumo genera un impacto negativo en la salud pública que según cálculos recientes desarrollado por el Departamento Nacional de Planeación, asciende aproximadamente a 1,96 billones de pesos al año, de los cuales el 70% corresponde al impacto de la morbilidad y mortalidad por enfermedades diarreicas y el 30% restante al gasto en prevención. Esta situación es más grave en las zonas rurales y de población dispersa del país. Según cálculos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el 2002, del 56% de la población rural que tiene alguna forma de abastecimiento de agua, solo el 6% cuenta con agua a la que se le da algún tratamiento para desinfectarla [2]. Igualmente, algunas empresas prestadoras del servicio de acueducto presentan dificultades para medir la calidad del agua dado a la poca capacidad económica y técnica que presentan, impidiendo poder establecer laboratorios que puedan realizar evaluaciones continuas del agua potable [2].

En el año 2002 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial realizó un estudio a nivel nacional en donde se reflejó que el 52% de los municipios analizados realizan un diagnóstico sobre la calidad del agua en el área urbana, mientras que para el área rural solo se realiza el 37% del diagnóstico de la calidad del agua [2]. De la misma manera, se resalta la observación de que los parámetros que se evaluaron en el estudio permitió catalogar que el agua que se distribuye sea apta para el consumo humano, debido a que dichos estudios carecen de información que den soporte al respecto, llegando únicamente a informar si es o no potable [2].

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 contiene los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, que adelantan las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto y alcantarillado [17]. El desarrollo del proyecto, se orienta en la aplicación del manual sobre los sistemas de potabilización comprendido en el título C del RAS – 2000, el cual comprende las normas técnicas para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable. Por consecuencia de ello, se hace imprescindible realizar un diagnóstico del sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la vereda La Trinidad del municipio de Duitama – Boyacá, dado a que su construcción se realizó antes de que se aprobara la Resolución 1096 del año 2000 emitida por el Ministerio de Desarrollo Económico la cual adopta el RAS - 2000.

6. MARCO CONCEPTUAL

Agua Cruda

El agua cruda aquella que se encuentra en las fuentes, en estado natural, es decir; no está sometida a ningún tipo de tratamiento. Se pueden identificar como fuentes de “agua cruda” a las fuentes y reservas naturales de agua superficiales y subterráneas entre ellos, cabe mencionar: los ríos, arroyos, lagos, lagunas y acuíferos, que el hombre usa como materia prima para abastecerse. También se denomina así a todo el agua que entra en las plantas de tratamiento. La composición del agua cruda suele contener de manera significativa uno o más de los siguientes contaminantes en la forma de iones, partículas u organismos vivos [18]:

- *Ácido húmico y otros ácidos complejos resultantes de la degradación de las plantas.*
- *Minerales que hacen que el agua sea dura como partículas de arcilla y limos.*
- *Microorganismos como bacterias, virus, protozoos y sus esporas.*
- *Moléculas disueltas del aire, sobre todo oxígeno.*
- *Sal, que hace que el agua sea salobre, con mayor salinidad que el agua dulce, pero no tanta como el agua del mar.*

Agua Potable

La Organización Mundial de la Salud (OMS) denomina agua potable aquella que es utilizada para los fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar [19].

El agua potable es esencial para la vida, representa el 70 % del peso del cuerpo humano, siendo importante para la salud humana. En términos generales, un déficit de agua del 4 % tiene como consecuencia dolor de cabeza, irritabilidad, somnolencia y grandes dificultades de concentración. Si se alcanza un 10% de pérdida de peso corporal se podría generar hasta la muerte conduciendo a un problema en la salud pública. Por eso es de suma importancia dado a que es un lubricante en casi todos los procesos metabólicos del cuerpo, sobre todo en la digestión, regula la temperatura y elimina las toxinas del cuerpo, transporta nutrientes, mantiene la musculatura en buen estado, actúa refrigerando o calentando el cuerpo y ayuda a transportar el oxígeno entre las células de nuestro cuerpo [20]. Dado que el agua es un componente importante en la fisiología del cuerpo, se debe tener en cuenta tanto la cantidad como la calidad del agua y para ello, se debe garantizar que el agua sea siempre potable, limpia y libre de contaminantes.

Saneamiento Básico

Según [19], el saneamiento básico es una tecnología de bajo costo que permite eliminar de manera aséptica las excretas y aguas residuales permitiendo tener un ambiente limpio y sano en las viviendas, promoviendo y mejorando las condiciones de vida urbana y rural.

El Doctor Lee Jong- wook Director General de la Organización Mundial de la Salud, define que "El agua y el saneamiento son uno de los principales motores de la salud pública, lo que significa que en cuanto se pueda garantizar el acceso al agua salubre y a instalaciones sanitarias adecuadas para todos, independientemente de la diferencia de sus condiciones de vida, se habrá ganado una importante batalla contra todo tipo de enfermedades" [21].

Con el acceso de toda la población a servicios de saneamiento básico, se disminuyen los riesgos de morbilidad y mortalidad por enfermedades relacionadas con el contacto con aguas residuales, tales como diarrea, paludismo, esquistosomiasis, hepatitis A, entre otras [21]. Es necesario que los departamentos y municipios se esfuercen para garantizar que el mayor número de personas tengan acceso a servicios de eliminación de aguas residuales seguros y saludables.

Planta de Tratamiento de Agua Potable

Hace referencia a la instalación donde se hallan las estructuras, equipos y materiales para acondicionar y entregar agua potable a los habitantes de la localidad para satisfacer las necesidades de la población [22]. Cada planta de tratamiento de agua potable se debe diseñar en función a las características del agua a tratar y la trazabilidad que se requiera para las etapas de tratamiento; al igual se consideran las características administrativas como parte de la integridad del sistema componiendo un proceso dinámico que contempla los componentes físicos, técnicos y económicos (también el capital social), permitiendo que el servicio sea coordinado para que su operación se elabore bajo criterios de calidad y eficiencia [22].

Sistema de Potabilización

Un sistema de potabilización es donde se realiza el tratamiento al agua mediante un conjunto de procesos y operaciones para que pueda ser apta para el consumo humano, ya que las aguas crudas o sin proceso que provienen de fuentes superficiales o subterráneas están contaminadas con materia orgánica de origen natural y principalmente por las aguas residuales municipales que transportan

virus, bacterias y otros tipos de agentes biológicos que provienen de las heces fecales y causan enfermedades a la población [23].

Procesos del Sistema de Potabilización

El concepto del tratamiento que realiza un sistema de potabilización consiste en corregir las características químicas y microbiológicas del agua cruda por medio de un sistema de procesos consecutivos, eliminando de manera progresiva los elementos contaminantes que puedan causar daño a la salud humana. A continuación se mencionan los procesos que se realiza en el tratamiento de agua potable:

Coagulación: El proceso de coagulación se realiza para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, neutralizando las fuerzas que las separa y que estas se puedan juntar, llegando a eliminar la materia orgánica y los microorganismos presentes en el agua mediante los procedimientos posteriores de sedimentación y filtración [24].

Floculación: La etapa de Floculación permite el contacto y tamaño entre los flóculos, eliminando la turbiedad y el color del agua. La velocidad del agua en este proceso es importante ya que permite una mezcla lenta y va juntando poco a poco los flóculos, que junto a unas pantallas aumentan la distancia recorrida haciendo que valla de ida y vuelta alrededor de las mismas y permiten un mayor tiempo de contacto [24]. De igual manera, las características físicas que se le atribuyen al proceso de floculación, son las siguientes:

Cuadro 3. Características del proceso de floculación

Floculación Orto cinética	Se da por el tipo de floculador utilizado
Gradiente de Velocidad	Energía necesaria para producir la mezcla
Número de Colisiones	Choque entre microflóculos
Tiempo de Retención	Tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación
Volumen de Lodos	Los flóculos no deben de sedimentarse en la unidad de floculación

Fuente: Sedapal [24].

Sedimentación: La sedimentación es un proceso físico que permite asentar con la influencia de la gravedad, los sólidos suspendidos presentes en el agua al fondo de los tanques de sedimentación. Este proceso es continuo de la coagulación y de la floculación, donde sus procesos consisten en la formación del floc y estas

puedan asentarse si se cumple alguna de estas dos condiciones que dependen del tipo de flujo [25]:

- *Si el flujo es vertical, la velocidad del agua que asciende debe ser inferior que la velocidad límite de sedimentación de una partícula.*
- *Si el flujo es horizontal, la simetría de la longitud del tanque a la altura de la partícula es más alta que la proporción de la velocidad de agua a la velocidad límite de sedimentación.*

Filtración: El proceso de la filtración consiste en hacer pasar el agua por un medio poroso (arena, antracita, entre otros) en donde actúan mecanismos de remoción y que su eficiencia depende de las características del medio poroso. Los dos tipos de procesos de filtración que se aplican en los sistemas de potabilización y que se implementan teniendo en cuenta la tecnología usada en el proyecto son la filtración rápida y filtración lenta.

- *Filtración Rápida:* Su nombre se debe a que operan con velocidades altas y su eficiencia depende de las características del agua, el medio filtrante, y de los recursos de operación y mantenimiento, ya que a causa de sus altas velocidades de operación, se colmatan con un periodo de 40 – 50 horas, requiriendo de un lavado de la unidad para devolverle sus porosidades y pueda reanudar con la operación de la unidad [26].

- *Filtración Lenta:* El proceso de filtración lenta simula los procesos de tratamiento físicos y biológicos que se presentan en la naturaleza, al percolar el agua proveniente de las lluvias, ríos, etc. por medio de las estratificaciones de la corteza terrestre, atravesando las capas de arena, grava y arcilla hasta donde se acumulan generando los acuíferos y/o ríos subterráneos. Este proceso opera con velocidades o tasas de filtración mucho menores que las velocidades o tasas promedio en los filtros rápidos, de ahí proviene el nombre que tienen [26].

Desinfección: La desinfección es el último proceso que se realiza en el sistema de potabilización el cual permite garantizar la eliminación de los microorganismos que los procesos anteriores no atrapan, asegurando que el agua suministrada sea segura y apta para el consumo humano. Para la desinfección el método más común es la aplicación de cloro dado a su efecto bactericida que ha sido comprobado durante su uso en acueductos por los últimos 130 años; al igual que su costo de operación es bajo dado a que el equipo para su dosificación no es sofisticado ni complejo y seguro [27]. La aceptación del cloro se debe a 2 factores:

- *Su capacidad de oxidas sustancias inorgánicas que causan el mal sabor, corrosión y deterioro de las líneas de transmisión del agua.*
- *Su acción microbiana como algicida, bactericida y virucida.*

Criterios de Diseño Hidráulico

Los criterios de diseño hidráulico permiten definir las condiciones básicas para el periodo de diseño del proyecto, teniendo en cuenta la capacidad para atender la demanda futura en función del desarrollo de la población beneficiada. Así mismo, se debe de tomar en cuenta el dimensionamiento que permita su construcción por etapas y que la operación de estas sea eficiente y económica.

Los parámetros hidráulicos se diseñan en función de la calidad del agua a tratar y deben tener en cuenta las características del fluido para que se presente un flujo uniforme (profundidad, área mojada, velocidad, diámetros y caudal en las secciones de cada proceso y las líneas de energía, entre otras) dado a que permite obtener un buen comportamiento hidráulico asegurando el adecuado funcionamiento del sistema de potabilización [28].

Sistema Operativo de una Planta de Tratamiento de Agua Potable

Las etapas que componen el sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable requieren de controles operativos continuos resaltando las variables más importantes para el proceso como lo son la Turbiedad, el color, pH, cloro residual, entre otros; permitiendo realizar los controles de garantía de calidad y verificar la eficiencia de cada proceso que se realiza, en especial a las etapas de sedimentación, filtración y desinfección [29].

7. MARCO INSTITUCIONAL

La Planta de Tratamiento de Agua Potable la Trinidad es una entidad sin ánimo de lucro, fue certificada el 16 de febrero de 1999 en la Gobernación de Boyacá por la Cámara de Comercio de Duitama reglamentada en el Decreto 2150 de 1995 y Decreto 427 de 1996, la cual fue inscrita bajo el nombre de “**Junta Administrativa del Acueducto Regional Trinidad del valle de Zurba y Bonza**” cuya actividad principal era la captación, tratamiento y distribución del agua [30].

El 22 de Junio de 1999 la entidad cambio su nombre a “**Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad**”. El objeto de la entidad es ser un grupo autónomo encargado de la administración, operación, mantenimiento, ensanche y fortalecimiento de las obras existentes, y dar una mayor utilización de los recursos naturales y financieros del acueducto regional de la población del valle de Zurba y Bonza [30].

Actualmente la Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado de la Trinidad, se encuentra en espera de una nueva concesión de agua de las fuentes denominadas “Rio Surba y Quebrada la Zarza”, ya que beneficiaría a 1000 usuarios distribuidos entre habitantes permanentes y habitantes transitorios [12].

8. MARCO LEGAL

La normatividad aplicada para la elaboración del diagnóstico del sistema de potabilización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Vereda La Trinidad, se basó en la normatividad establecida por la República de Colombia sobre los servicios públicos domiciliarios y los criterios de calidad del agua potable.

Si bien existen normatividad que modifica parcialmente la Resolución 1096 la cual acoge el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000, estas no realizan modificaciones dentro de los párrafos correspondientes al título C sobre los Sistemas de Potabilización. Dado lo anterior, esta normatividad no es incluida dentro del marco legal.

Cuadro 4. Normatividad legal vigente sobre Servicios Públicos Domiciliarios y Criterios de Calidad del Agua Potable

Normatividad	Título	Descripción
Ley No. 0142 del 11 de Julio de 1994	Régimen de servicios públicos domiciliarios	Define las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos domiciliarios en el sector rural, las intervenciones en regulación, control y vigilancia del estado y las competencias de los municipios y departamentos para la prestación de los servicios públicos; al igual define los sistemas de información de las empresas y el régimen tarifario de los servicios públicos, entre otras.
Ley No. 0286 del 3 de Julio de 1996	Modifica parcialmente la ley 0142 de 1994	Define sobre las entidades descentralizadas, entidades territoriales y aquellas empresas que presten los servicios deberán transformasen en empresas de servicios públicos a alcanzar progresivamente los límites que define la Ley 0142 de 1994 en materia de factores de contribución, tarifas y subsidios.
Ley No. 0489 del 29 de Diciembre de 1998	Se dictan las normas sobre la organización y funcionamiento de las entidades del orden nacional.	Define las sujeciones de las empresas oficiales de servicios públicos domiciliarios a la Ley 0142 de 1994 y a las normas que las complementen, sustituyan o adicionen.
Ley No. 0505 del 25 de Junio de 1999	Se fijan los términos para la realización, adopción y aplicación de la estratificación contemplada para la ley 0142 de 1994.	Define las obligaciones de los municipios y distritos para adoptar las estratificaciones y las garantías de la expansión de la cobertura de los servicios públicos domiciliarios en las zonas rurales, asumiendo las responsabilidades de los perjuicios que ocasionen a los usuarios por la aplicación indirecta de la adopción de las estratificaciones.
Ley No. 0632 del 29 de Diciembre de 2000	Modifica parcialmente la Ley 0142 de 1994	Define los subsidios y contribuciones para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, ajustándose al porcentaje necesario que asegure un monto para que los subsidios se apliquen y se mantenga en equilibrio; destinando dichos recursos para los usuarios atendidos por la entidad.
Ley No. 0689 del 28 de Agosto de 2001	Modifica parcialmente la Ley 0142 de 1994	Define los controles y vigilancia del estado en los servicios públicos domiciliarios por medio de los Comités de Desarrollo y Control Social de los Servicios Públicos Domiciliarios el cual se podrá conformar por usuarios, suscriptores o suscriptores potenciales.

Cuadro 4. (Continuación)

Normatividad	Título	Descripción
Ley No. 0715 del 21 de Diciembre de 2001	Dicta las disposiciones para organizar la prestación de los servicios de educación y salud, entre otro.	Define las categorías de asignación de los recursos de los municipios según su categoría para el desarrollo y ejecución de actividades relacionadas con agua potable y saneamiento básico, específicamente en inversiones en infraestructura y el cubrimiento de los subsidios establecidos en la Ley 0142 de 1994.
Ley No. 0732 del 25 de Enero de 2002	Establece los plazos para realizar, adoptar y aplicar las estratificaciones socioeconómicas urbanas y rurales y los mecanismos de control y atención de reclamos por el estrato asignado.	Define la obligación de las empresas de servicios públicos domiciliarios para que tomen medidas necesarias e implementen controles y vigilancia permanente que permitan dar garantía de cumplimiento de las estratificaciones, siendo la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios la entidad controladora y que podrá sancionar a las empresas de servicios públicos domiciliarios.
Ley No. 0812 del 26 de Junio de 2003	Aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003 – 2006, hacia un Estado Comunitario.	Se definen medidas en los servicios públicos domiciliarios en agua potable y saneamiento básico que permitan aumentar la eficiencia y calidad del servicio por medio del esquema tarifario y del subsidio, para incentivar la inversión en esquemas regionales dada a las garantías de recuperación de costos. Estas se entregan bajo las condiciones que se definen en el numeral 87,9 del Art. 87 de la Ley 0142 de 1994 y cumplan con algunos de los criterios definidos en el artículo 93 de la presente ley.
Ley No. 1151 del 24 de Julio de 2007	Se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010	Define los medios en los cuales las empresas de servicios públicos domiciliarios podrán acceder y ejecutar proyectos de obras de infraestructuras del sector de agua potable y saneamiento básico que los permitan acceder a los recursos de apoyo por parte de la nación, de las Corporaciones Autónomas Regionales.
Ley No. 1450 del 16 de Junio de 2011	Se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014	Define las actividades de monitoreo, seguimiento y control de los recursos para las participaciones de agua potable y saneamiento básico encargados por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Define la intervención de la nación en los casos donde las características técnicas y económicas de los servicios de agua potable y saneamiento básico lo requieran por medio de esquemas eficientes y sostenibles en la estructura financiera de los Planes Departamentales Para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA), incluyendo las zonas rurales.
Decreto No. 0421 del 08 de Marzo de 2000	Reglamenta el numeral 4 del artículo 15 de la Ley 0142 de 1994.	Permite asegurar la participación de las comunidades organizadas en la prestación y administración de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y aseo.
Decreto No. 0891 del 07 de Mayo de 2002	Reglamenta el Artículo 9 de la Ley 0632 de 2000.	Define las competencias del municipio en asegurar que la prestación del servicio domiciliario por medio de empresas de servicios públicos domiciliarios de carácter oficial, privado o mixto, se realice de manera eficiente a los habitantes

Cuadro 4. (Continuación)

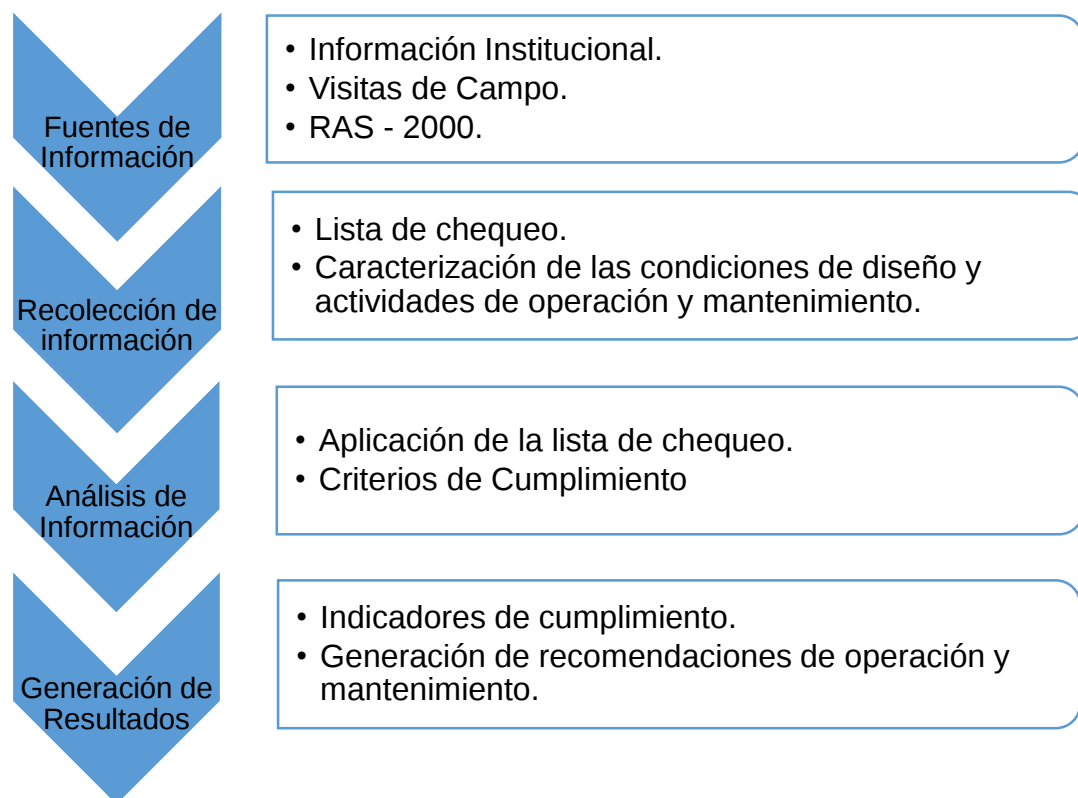
Normatividad	Título	Descripción
Decreto No. 1040 del 18 de Mayo de 2012	Reglamenta la Ley 1450 de 2011 en las actividades de monitoreo, seguimiento y control integral para el agua potable y saneamiento básico.	Define las actividades y responsables del monitoreo, seguimiento y control de los recursos del sistema general de participaciones en el sector de agua potable y saneamiento básico en la recopilación sistemática de información, análisis y verificación para el cálculo de indicadores específicos y estratégicos del sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución No. 1096 del 17 de Noviembre de 2000	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.	Define los requisitos técnicos con los que deben de cumplir los diseños, obras, procedimientos y/o actividades de operación y mantenimiento correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico que presentan las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales.
Resolución No. 2115 del 22 de Junio de 2007	Normas técnicas de control y vigilancia de calidad del agua para consumo humano.	Define los valores admisibles de las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua para consumo humano. También define los instrumentos básicos para la medición de la calidad del agua, las frecuencias y número de muestras de control y vigilancia; al igual recalca las obligaciones de quienes presentan el servicio de suministro de agua potable.

Fuente: Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico [17].

9. METODOLOGÍA

Durante la realización del proyecto, los métodos y técnicas que se utilizaron se basaron en las fases definidas en el anteproyecto junto con algunas modificaciones de la misma, de tal manera que permitieran describir el proceso de diseño y elaboración del instrumento de evaluación, el cual se centra en la lista de chequeo aplicada en cada uno de los procesos del sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable de la Vereda La Trinidad. A continuación se mencionan las fases de elaboración del proyecto junto con la descripción de cada una de ellas.

Figura 2. Fases del proyecto.



Fuente: Elaboración Propia

9.1 FUENTES DE INFORMACIÓN:

Las fuentes de información son de origen primario, donde se realizaron visitas de campo que permitieron identificar los procesos y operaciones que conforma el sistema de potabilización. La información de las condiciones de diseño se encuentran plasmados en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama” en formato tradicional impreso. Esta información fue otorgada por la Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad. En este proyecto se evalúa el estado del sistema de tratamiento a partir de las condiciones de diseño, operación y mantenimiento definidas en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000, reglamentado por la Resolución 1096 del año 2000, por lo cual no fue considerada la realización de ensayos de caracterización del agua, que si bien brindan información sobre las condiciones del proceso y su eficiencia no constituían el enfoque de este proyecto.

9.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de la información se realizó a partir de la lista de chequeo debido a que se diseñó para que permitiera consignar la información de interés del sistema de potabilización y poder ser contrastados con las características y condiciones que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 en el título C, correspondientes a los procesos de: Coagulación – Mezcla Rápida, Floculación, Sedimentación, Filtración, Desinfección y Actividades de Mantenimiento de los procesos.

A continuación se muestra un prototipo estructural de la lista de chequeo y la descripción técnica de los módulos que la conforma.

Figura 3. Estructura de la lista de chequeo para cada proceso

Criterios de Cumplimiento		Bueno	>= 80 % - 100 %	
		Regular	<80 % - >= 60 %	
		Crítico	< 60 %	

PROCESO						
Categoría	Estándares a Verificar	Descripción	Criterios de Evaluación		Porcentaje de cumplimiento	Observaciones
			Cumple	No Cumple		
		Total			Porcentaje de cumplimiento del proceso	Criterio

Fuente: Elaboración Propia.

La información de los parámetros de diseño, se adquirió del documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama”, ya que contiene las características y condiciones hidráulicas definidas por el diseñador para poder ser contrastadas con los ítems que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C, para cada tipo de proceso identificado que conforma el sistema de potabilización.

La información de las actividades de operación y de mantenimiento que se realiza en el sistema de potabilización, se obtuvieron mediante la observación realizada en las visitas de campo y examinando las actividades que realiza el fontanero de turno acompañado de una serie de preguntas, en relación a los ítems definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C.

El siguiente cuadro presenta una descripción detallada de los módulos que conforma la lista de chequeo.

Cuadro 5. Descripción de los módulos de la lista de chequeo

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Categoría	Permite citar el capítulo del proceso a evaluar dentro del orden definido en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.
Estándares a Verificar	Hace referencia al tema seleccionado dentro de lo definido en el subcapítulo perteneciente al proceso evaluado.
Descripción	En este espacio se cita la descripción e importancia de su evaluación que tiene en el proceso evaluado.
Criterios de Evaluación	Es el espacio en donde se valora el criterio de cumplimiento del ítem evaluado, indicado por medio del número uno “1” el estado de cumplimiento y el “0” el estado de incumplimiento. Para el ítem cuya evaluación no se pudo realizar, se expresa mediante el símbolo “-“, el cual indica que se tuvo en cuenta en la evaluación de proceso pero que cuya valoración no se pudo realizar y no genera una intervención en la valoración del % de cumplimiento del proceso; su justificación se define en el espacio del ítem “Observaciones”.
Porcentaje de Cumplimiento	Representa el valor de cumplimiento que tiene el ítem evaluado en relación a lo definido por la columna “Categoría”.
Observaciones	Permite realizar comentarios respecto al ítem evaluado y/o justificar la valoración tomada para el ítem evaluado.

Fuente: Elaboración Propia.

9.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los porcentajes de valoración de los criterios evaluados son de definición propia en función del análisis realizado sobre la lista de chequeo, donde se consideró que un sistema de potabilización debe presentar un alto grado de cumplimiento para que garantice la eficiencia de los procesos y conserve un buen estado del propio sistema. Por ello, se definió que valores por debajo de 80% conducen a la presencia de falencias que pueden atentar contra el buen estado del sistema de potabilización y tener afectaciones en la calidad del agua que se incorpora a la red de distribución para entregarla en cada hogar.

Considerando lo anterior, para la revisión del estado de cada una de las unidades del sistema de potabilización se definieron las siguientes categorías de acuerdo con su porcentaje:

Bueno: Mayor o igual del 80% de cumplimiento del proceso.

Regular: Mayor o igual del 60% pero menor que el 80% de cumplimiento del proceso.

Crítico: Menor del 60% de cumplimiento del proceso.

El porcentaje de cumplimiento de cada proceso, se expresó en el ítem “Porcentaje de cumplimiento” al hallar el promedio de los criterios de evaluación que cumplieron con las descripciones que se definieron en las categorías “estudios previos, características del proceso, parámetros de diseño y control del proceso y operación” en función de los parámetros de diseño y actividades de operación y mantenimiento, permitiendo identificar las secciones que presentan falencias en el proceso.

Como resultado de lo anterior, el porcentaje de cumplimiento general del sistema de potabilización se expresó mediante el promedio de los criterios de cumplimiento total que presentó cada proceso que conforma el sistema de potabilización.

9.4 GENERACIÓN DE RESULTADOS

El resultado del análisis de la información, son expresados mediante gráficas que reflejó el estado de cumplimiento a nivel general del sistema de potabilización y también de cada uno de los procesos que la conforma, teniendo en cuenta los criterios definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C.

Por otra parte, a raíz de los resultados del análisis de la información de los procesos, se realizó una propuesta preliminar de optimización de aquellas falencias de carácter técnico y operativo, identificadas en el sistema de potabilización para que la PTAP pueda dar cumplimiento con las especificaciones que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.

10. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis de la lista de chequeo, corresponde a los criterios evaluados de los parámetros de diseño, operación y de mantenimiento realizadas en cada uno de los procesos que conforma el sistema de potabilización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Vereda La Trinidad, según los ítems definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C.

10.1 EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO Y ANÁLISIS SEGÚN EL RAS - 2000

A continuación se describen las condiciones de diseño y operación de los procesos del sistema de potabilización, en contraste con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Cabe destacar que el análisis teórico de los criterios de diseño, se basaron de acuerdo a [32]; permitiendo interpretar los resultados obtenidos y sus efectos en el proceso.

Los cálculos hidráulicos de diseño de los procesos, fueron rescatados del documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama” (Véase el Anexo A).

10.1.1 Coagulación

Condiciones de Diseño y Operación

En el diseño de la dosificación, se evidenció que no cumple con las exigencias del RAS – 2000, al no definir la dosis óptima de la concentración del coagulante mediante la prueba de jarras de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 3903; a pesar de que tienen el equipo, no lo utilizan porque el fontanero no cuenta con las aptitudes para su aplicación y no tienen un laboratorio para poder realizar su aplicación diaria.

El siguiente cuadro contempla los datos hidráulicos de diseño junto los valores definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 y algunos dados por Jorge Arboleda Valencia en su texto “Teoría y Práctica de la Purificación del agua”. Estos datos posteriormente fueron validados a través de mediciones en planta; por ejemplo, para los cálculos de velocidad mínima de garganta se consideró el rango de altura de la lámina de agua y las dimensiones de la canaleta para verificar estos valores.

Cuadro 6. Comparación de los valores hidráulicos con lo definido por el RAS - 2000 y otros referentes

Mezcladores Hidráulicos	Valor de operación	RAS - 2000	Arboleda Valencia
Velocidad mínima de garganta	1,66 m/s	2 m/s	
Velocidad del efluente	0,39 m/s	0,75 m/s	
Número de Froude	1,88	1,75 – 2,5 y 4,5 – 9,0	
Ha/W	2,06	0,4 – 0,8	
Valor máximo de Sumergencia	0,14		< 0,6
Gradiente Medio Óptimo	699,63s ⁻¹	>1000s ⁻¹	1000-3000s ⁻¹

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede analizar en la tabla anterior, la canaleta Parshall presenta una deficiencia de velocidades tanto en la garganta como en la salida, incumpliendo los valores mínimos permisibles que define el RAS – 2000. Es importante aclarar aquí que si bien algunos referentes plantean la posibilidad de operar la canaleta a condiciones más bajas de velocidades y gradientes, el objetivo del proyecto es abordar dicho análisis en relación al reglamento técnico RAS y evaluar su cumplimiento en relación a éste. Según Arboleda Valencia [31], la condición que presenta esta canaleta puede traducirse en una mala dispersión de los coagulantes en la masa de agua; adicional a esto, en la planta no verifican que la aplicación del coagulante se realice en el punto de mayor turbulencia, por lo cual no se garantiza la mejor condición de mezcla.

El número de Froude cumplió con el valor requerido por el RAS – 2000. De acuerdo con esto, al cumplir con esta condición se garantiza que se presente un resalto estable y permite una buena aplicación del coagulante. No obstante, cabe resaltar que en las visitas de campo no se evidenció la presencia del resalto hidráulico que se necesita para la distribución adecuada del coagulante, como lo expresa la teoría de Mezcladores de Flujo de Pistón.

Para la relación de Ha/W, no cumplió con el rango definido por el RAS – 2000 en donde obtiene un valor muy superior, indicando que no se genera alguna turbulencia en la zona del resalto hidráulico y como resultado no se realiza una buena mezcla del coagulante, dado a que no penetra con buena profundidad la agitación en la masa de agua [31].

El nivel de sumergencia en la canaleta Parshall presentó un valor de 0,14, hecho que demuestra que trabaja con descarga libre (no trabaja ahogada); donde según Arboleda [31], la canaleta sirve como mezclador dado a que su valor máximo

permisible para un ancho de garganta de 3" (0,08m) es de 0,60; sin embargo, como se demuestra en la relación Ha/W , no se presenta turbulencia en la zona del resalto hidráulico, afectando la eficiencia del proceso al no realizar una adecuada mezcla.

En cuanto a la operación de la canaleta Parshall, en lo observado en las visitas de campo, la dosificación del coagulante se confirma mediante la verificación del eyector; sin embargo, no se cumple con las condiciones de seguridad y almacenamiento para el sulfato de aluminio que define la Norma Técnica Colombiana NTC 531 (Rev.5), al no utilizar elementos de protección personal para la manipulación del coagulante y no almacenarlos sobre estibas.

Las condiciones de operación hidráulicas de la canaleta Parshall son deficientes, ya que no se realizan alguna actividad de control al no verificar, corregir ni determinar las condiciones hidráulicas en el resalto ni que la aplicación del coagulante se esté realizando en el punto de máxima turbulencia (inicio del resalto), evitando que la mezcla del coagulante se realice de la forma más adecuada. Otra falencia a resaltar en la operación es que no determinan el tiempo óptimo de reacción entre el coagulante y la masa de agua, el gradiente medio de velocidad, ni tienen en cuenta la relación estequiométrica entre la dosis del coagulante y la concentración de coloides, ya que una sobredosis puede llegar a perturbar la formación del flóculo y re estabilizar las partículas, teniendo como consecuencia una mala eficiencia en la mezcla rápida del coagulante.

La estructura de la canaleta Parshall presenta problemas de infiltración del agua reportadas por el fontanero y carece de compuertas deslizantes aguas abajo; donde Arboleda [31], resalta su importancia porque éstas permiten controlar la posición y formación del resalto en todas las condiciones de operación.

Como lo plantea el RAS 2000 [29], cabe destacar que la eficiencia de la coagulación es de suma importancia debido a que de este proceso depende el correcto funcionamiento de los tratamientos posteriores como en la floculación, sedimentación, filtración y desinfección; hecho que resalta la importancia de su análisis y condiciones de operación.

Condiciones de Mantenimiento de la Canaleta

Las condiciones de mantenimiento del mezclador hidráulico, presentó falencias debido a que se evidenció que no cumplen con algunas de las condiciones que define el RAS – 2000 al no realizan actividades de reacondicionamiento ni de limpieza, ya que se observó la presencia de pequeños escombros de concreto desprendido y problemas de humedad, relacionadas a la infiltración que se

presenta en el proceso y que fue reportado por el fontanero al realizar la inspección.

Las actividades de revisión de válvulas y compuertas son aceptables al revisar las compuertas de entrada del agua hacia la canaleta Parshall, que se el ingreso del agua al sistema de potabilización pasa por una cámara de aquietamiento con el fin de romper la turbulencia y uniformar el flujo de entrada a la canaleta Parshall.

Finalmente, no se realiza recolección de datos del proceso de coagulación ni tampoco definen los valores diarios en algún documento. Igualmente tampoco se realiza un reporte escrito de las condiciones estructurales ni de operación – mantenimiento de la canaleta Parshall.

10.1.2 Floculación

Condiciones de Diseño y Operación

El parámetro de diseño hidráulico gradiente medio de velocidad presenta un valor de $57,34 \text{ s}^{-1}$, cumpliendo con las condiciones que define el RAS - 2000 al recomendar que los valores se encuentren entre $20 - 70 \text{ s}^{-1}$; donde según Pérez [32], esto permite asegurar que no se utilice valores menores a 20 s^{-1} porque no generaría una agitación adecuada para que se formen los flocs, y mayores a 70 s^{-1} los desestabilizaría, haciendo que se rompan y no ganarían masa para que se puedan sedimentar. Otros referentes pueden plantear valores fuera del rango que aquí se presenta pero debe reconocerse una vez más que este estudio se enmarca en el RAS 2000 como referente técnico y la validez en la operación de la planta en relación con dicho reglamento.

Seguidamente, el tiempo de detención de diseño en el floculador es de 15 min, incumpliendo con lo definido por el RAS - 2000 al sugerir que este sea de 20 – 30 min; esto conlleva a que el tiempo para la formación del floc sea insuficiente para que alcancen el tamaño y peso adecuado, ya que según [24], entre más pequeña sea la partícula es mayor el tiempo de caída, afectando los procesos posteriores al generar una sobrecarga en el trabajo de los tratamientos posteriores.

De acuerdo con las condiciones asumidas del diseñador, la velocidad del agua a través del tanque, resulta del promedio de las tres secciones, presentando un valor de 0,48 m/s, cumpliendo con los valores permisibles que define el RAS - 2000 de 0,20 – 0,60 m/s. Según Arboleda [31], este rango se maneja debido a que una velocidad menor de 0,10 m/s sedimentaría el floc y mayores de 0,60 m/s generarían un rompimiento del mismo.

Por su parte, la operación del floculador y el control del proceso evidenciado en las visitas de campo son ineficientes, debido a que el fontanero no verifica ni controla las condiciones hidráulicas que la mezcla rápida requiere para que opere adecuadamente, ya que según como lo define el RAS - 2000 estos deben ir en concordancia con la prueba de jarras dado que esto permitiría garantizar que los flóculos alcancen el tamaño y peso adecuado.

La dosificación al igual que el nivel del agua en las cámaras la revisan diariamente, pero no revisan el tamaño del flóculo en la salida del floculador ni realizan la prueba de jarras como lo define el RAS – 2000, por el hecho de que no cuentan con un laboratorio en las instalaciones para poder realizar un control adecuado; además que los controles de la calidad del agua lo realizan únicamente en el agua tratada al final del sistema de potabilización.

Condiciones de Mantenimiento del Floculador

En las condiciones de mantenimiento para el floculador hidráulico, se observó que realizan actividades de inspección de fugas y limpieza del mezclador una vez a la semana (sábados), aplicando una cantidad de cloro en las paredes, pantallas y el fondo del floculador; sin embargo, cabe destacar que no se cuenta con el espacio adecuado en algunas zonas, debido a que el diseño de las pantallas como se evidenció en las visitas de campo son onduladas, permitiendo el acceso en algunas zonas pero en otras al ser tan estrechas dificulta su acción de limpieza. El agua derivada de la limpieza se evacúa por la válvula de purga ubicada en el fondo del floculador.

Finalmente, la limpieza del mezclador se realiza una vez a la semana (sábados) aplicando una cantidad de cloro en las paredes, pantallas y el fondo del floculador. Cabe destacar que no se cuenta con el espacio adecuado en dichas zonas, debido a que el diseño de las pantallas como se evidenció en las visitas de campo son onduladas, permitiendo el acceso en algunas zonas pero en otras al ser tan estrechas dificulta su acción de limpieza. El agua derivada de la limpieza se evacúa por la válvula de purga ubicada en el fondo del floculador.

De igual manera, se evidenció que realizan la revisión pertinente de la válvula de purga ubicada en el fondo del floculador, el cual se acciona en el momento de realizar el mantenimiento al proceso; sin embargo, para ello se accionan otras válvulas como la de la cámara de aquietamiento para evitar el paso del agua y poder evacuar completamente el floculador. De manera general, al realizar dichas acciones de mantenimiento están cumpliendo con las definiciones del RAS - 2000.

Por su parte, el operador nos recolecta datos del proceso de floculación ni tampoco definen los valores diarios en algún documento; igualmente tampoco se

realiza un reporte escrito de las condiciones estructurales ni de operación – mantenimiento del floculador, hecho que incumple con lo definido por el RAS - 2000.

10.1.3 Sedimentación

Condiciones de Diseño y Operación

A continuación se definen las condiciones de diseño y operación en contraste con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.

El tiempo de detención de diseño para el sedimentador de alta tasa cuenta con un valor de 24 min, incumpliendo con el rango definido por el RAS - 2000 al indicar que este valor sea de 10 – 15 min; demostrando que se necesita de un tiempo alto para que la partícula suspendida pueda llegar al fondo del tanque. Según [32], el tiempo de detención es directamente dependiente de la profundidad del tanque, ya que a menor profundidad, menor será el tiempo en el que la partícula de diseño se podrá recolectar en el fondo del tanque. Es por esto que el RAS – 2000 define que la profundidad del tanque debe estar entre 4m – 5,5m; hecho que se cumple al verificar que la profundidad del tanque sedimentador de alta tasa cuenta con 4,5m de profundidad.

Por otra parte, la carga superficial o velocidad de sedimentación crítica de diseño para el sedimentador de alta tasa cuenta con un valor de $62,16 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$, incumpliendo con los valores que define el RAS - 2000 donde la carga superficial para placas angostas debe estar entre $120 - 185 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$. La carga superficial baja que presenta el sedimentador, se relaciona con el tiempo de detención, ya que como lo menciona [32], también es afectada por la profundidad del tanque, dando a entender que el sedimentador trabaja con una carga superficial baja y con un tiempo de retención alto, pero este hecho no representa algún riesgo al estado del proceso.

El Número de Reynolds de diseño para el sedimentador de alta tasa, presentó un valor de 98,47 cumpliendo con el valor definido por el RAS - 2000 de que $Re < 250$. Según [32], al cumplir con esta condición, se garantiza que al recorrer una cierta distancia, se establece las condiciones de un régimen laminar (flujo estable) en una región entre las placas con una capa uniforme.

Como se puede evidenciar en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama” del sistema de potabilización, las condiciones de diseño de las placas en el

sedimentador presenta un ángulo de inclinación de 60° respecto a la horizontal y el espaciamiento entre las placas es de 0,05m (5cm), cumpliendo con los valores permisibles del RAS – 2000 al establecer que el ángulo de inclinación entre placas debe estar entre $55 - 60^\circ$ respecto la horizontal y con un espaciamiento entre placas de 5cm. El ángulo de inclinación es de suma importancia como lo menciona [32], ya que para un ángulo $> 60^\circ$ se disminuiría la eficiencia del proceso y un ángulo $< 40^\circ$ haría dificultoso el deslizamiento de los lodos. Así mismo, la PTAP cuenta con las dos unidades de sedimentación que especifica el RAS - 2000, hecho que se exige debido a que cuando se saque una de servicio, ya sea para lavado o reparación, se pueda seguir trabajando con la otra; pero, actualmente se encuentran suspendidas al presentar problemas infiltración en la estructural del proceso.

La extracción de lodos no se realiza de manera continua como lo especifica el RAS - 2000, realizándolo una vez por semana (sábados) en donde se evacúa por medio de la válvula de descarga y se dispone el agua para utilizarse en el sistema de riego en algunos cultivos presentes en la zona.

En lo que respecta a las actividades de operación, el RAS - 2000 define que para una adecuada operación se debe de llenar la unidad hasta el nivel de operación y dejarse en reposo mínimo 30 minutos antes de la operación normal; sin embargo, en lo evidenciado en la visitas de campo, este proceso no se lleva a cabo, donde la actividad realizada consiste en el llenado y operación de manera instantánea, teniendo repercusiones en el estado del proceso al arrastrar el floc en la zona de la salida del sedimentador y reduciendo la eficiencia en la remoción de la turbiedad. Así mismo, tampoco se realiza los análisis y ensayos de control del agua sedimentada como lo define el RAS - 2000 para la salida del sedimentador, indicando que para un nivel de complejidad medio se debe de determinar la turbiedad 6/día y el color 1/día, ni tampoco el ensayo de jarras en base a la Norma Técnica Colombiana NTC 3903, debido a que no realizan este proceso de control. La actividad de drenaje sólo se realiza una vez al día por medio de la válvula de purga, pero el RAS – 2000 describe que para su operación correcta se debe realizar varias veces por día, con el fin de evitar la compactación de los lodos y la producción de gases que pueden hacer flotar los lodos.

Finalmente dentro de las actividades de control y operación, no se realiza los ensayos de eficiencia y análisis de los datos de operación, hecho que según [29], perjudica el estado del sedimentador dado a que estos controles permiten verificar el correcto funcionamiento de la unidad junto con el control de los datos estadísticos de la turbiedad del agua cruda y sedimentada que funciona como medio de seguimiento.

Condiciones de Mantenimiento del Sedimentador

Las condiciones de mantenimiento realizadas para el sedimentador de alta tasa, se observó que presenta falencias en sus actividades al no realizar labores de limpieza de manera correcta, al evidenciarse en la sección de las placas planas la presencia de un ladrillo y fragmentos de asbesto – cemento proveniente de la estructura de las canaletas de recolección de agua sedimentada.

Simultáneamente, se evidenció que realizan actividades de verificación de la estructura, ya que el fontanero ha reportado problemas de infiltración en uno de los sedimentadores y múltiples fisuras en toda la estructura.

La remoción de lodos y de partículas sedimentadas presenta falencias debido a que no cumple con las recomendaciones del RAS – 2000 al no ser continuas, debido a que se evidenció que se realiza una vez por semana (todos los sábados) al mismo tiempo que se realiza el lavado para todos los procesos; revisando el accionamiento de las válvulas para evacuar el agua con lodos hacia el canal general de vertimientos.

En último lugar, se evidenció que el fontanero no recolecta datos del proceso de sedimentación, ni tampoco definen los valores diarios en algún documento; al igual que tampoco se realiza un reporte escrito de las condiciones estructurales ni de operación – mantenimiento del sedimentador, hecho que incumple con lo definido por el RAS - 2000.

10.1.4 Filtración

Condiciones de Diseño y Operación

A continuación se definen las condiciones de diseño y operación en contraste con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.

Se expone que la composición de los lechos filtrantes de los filtros rápidos, cumplen con las características que define el RAS - 2000 para lechos mezclados de arena y antracita, según se indica en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama” otorgada por la Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad. El análisis de soporte del medio filtrante, no se pudo efectuar debido a que la PTAP no posee información puntual sobre las características físicas y químicas de la grava, hecho que de manera directa se asume que esta no cumple con los requisitos que define la Norma Técnica

Colombiana NTC 2572 al no tener conocimiento alguno de las especificaciones técnicas que esta norma exige.

De igual manera, la velocidad o tasa de filtración de diseño cuenta con un valor de $300\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{día})$, cumpliendo con el valor definido por el RAS - 2000 el cual define que para los lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la velocidad máxima de filtración debe ser de $300\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$. No obstante, este valor depende de la calidad del agua, de las características de la filtración y de los recursos de operación y control, hecho que para el proceso de filtración como se evidenció en las visitas de campo, no se tienen en cuenta porque no realizan un control de la calidad del agua a filtrar y actualmente se encuentra un filtro suspendido por problemas de infiltración, comprometiendo aún más la eficiencia del proceso.

El valor de diseño de la pérdida de carga total durante el proceso de filtración, cuenta con un valor de 0,80m proveniente de la sumatoria de los descensos de nivel que ocurren en su operación, incumpliendo con lo definido por el RAS - 2000 al requerir que la hidráulica del filtro se debe de diseñar para que pueda disponer de como mínimo 2m de pérdida de carga durante la filtración. Al contar con una pérdida de carga tan baja, genera un impacto negativo en la operación del filtro, ya que aumenta los periodos de lavado porque el área de paso del flujo se disminuye en tiempos más cortos.

Seguidamente, el RAS – 2000 especifica que en el diseño hidráulico la altura del agua sobre el lecho filtrante no debe ser inferior de 0,5m. Sin embargo, esta evaluación no se pudo realizar debido a que la PTAP no tiene información relacionada con este criterio, pero en lo evidenciado en las visitas de campo, se observa que trabaja con una altura superior de lo definido por el parámetro de diseño para este tipo de filtración.

Por su parte, el sistema de lavado que se define en los parámetros de diseño en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama” otorgada por la Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad, es un sistema auto-lavante en donde su falencia se centra al no contar dentro de su diseño con 4 unidades de filtros que se requiere; ya que su importancia radica en que para un sistema auto-lavante viene la necesidad de que el caudal de lavado pueda ser suministrado por los demás.

Las actividades de operación y consideraciones en la limpieza para el medio filtrante, el RAS - 2000 en el ítem C.7.6.1.1 menciona (formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante) [29]. Para ello, se evidenció que la actividad de limpieza se realiza con precaución, haciendo que el agua pase de manera gradual por el medio filtrante de manera ascendente para desprender los sólidos suspendidos que atrapan los granos del lecho.

En la operación de los filtros, se observó que el fontanero evita la generación de turbulencias y agitación de la arena en el llenado del filtro, gracias a que la estructura de la entrada de vertedero el cual al ingresar al canal de cada filtro, se llena primero para luego ingresar a la caja de lechos filtrantes.

En referencia a los cálculos de la filtración plasmados en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama” del sistema de potabilización, define que está diseñado para operar con una pérdida de carga en el efluente del filtro de un valor de 0,73m siendo un valor positivo, pero no se determina su valor en operación junto con la turbiedad ni color.

Por su parte, la mecánica de lavado que utilizan en el proceso de filtración, consiste en el llenado del canal de recolección de agua de lavado hasta la altura de 3m donde se utiliza dicha cantidad de agua para lavar cada uno de los tres filtros. Esta actividad no se realiza mediante un seguimiento hidráulico si no ya en distribución de lo que defina el fontanero; hecho que no cumple con las actividades adecuadas que permita asegurar una adecuada operación del filtro, ya que no tienen en cuenta las mediciones hidráulicas pertinentes como el control de la pérdida de carga máxima permitida y la medición de las velocidades de filtración.

Según el RAS [29], los periodos de lavado del filtro se deben realizar cada vez que la pérdida de carga es igual a la presión estática sobre el fondo del lecho o la calidad del efluente desmejore. Sin embargo, el lavado de los filtros se realiza todos los días pero no se realiza algún control de la calidad del agua que permita tener los criterios de periodos de lavado. Por ende, este mecanismo de operación incumple con los criterios definidos por el RAS - 2000 porque ni realizan algún control de la calidad del agua ni tienen en cuenta los valores de las pérdidas de cargas para realizar los lavados que se define en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama”.

Finalmente, las actividades de control de la calidad Como menciona [29], deben estar enfocadas en la determinación de las características físicas del afluente y las químicas en función de la dosis óptima y eficiencia del filtro. Sin embargo, se evidencia que estas actividades de operación no se realizan debido a que carecen de los equipos y aptitudes para desarrollar los controles de calidad de manera adecuada, hecho que manifiesta que carecen de información que les permita interpretar el comportamiento de los filtros.

Condiciones de Mantenimiento de los Filtros

Las actividades de mantenimiento para filtros rápidos, presentan buenas condiciones al evidenciarse que se realiza la revisión y limpieza general del filtro diariamente, permitiendo identificar algunos hechos presente en los filtros.

El lavado del filtro se realiza en función de la temporada de lluvias pero no tienen en cuenta la distribución temporal de las precipitaciones de la estación SURBATA BONZA; pero generalmente, se lava todos los días o día de por medio. Sin embargo, esta condición de lavado no es la adecuada dado a que no cumple con los criterios a tener en cuenta para el lavado del filtro que define el RAS - 2000 sobre las condiciones hidráulicas o las recomendaciones del diseñador.

Dentro de las actividades de las visitas de campo, el fontanero comentó que no se realiza la reposición del material filtrante por un tiempo aproximado de dos años, dando a entender que no cuentan con controles para los periodos de cambio.

Además, el fontanero mencionó sobre el reporte que habían realizado del problema de infiltración del agua en la estructura de los filtros, hecho que tiene suspendido uno de los tres con lo que cuenta. Actualmente, se encuentra en fase de estudio sobre los arreglos que se deben de realizar en el proceso de filtración y en los restantes del sistema de potabilización que presentan problemas estructurales.

La revisión de las compuertas y válvulas cada vez que se realiza la actividad de limpieza de filtro. Se observa que las válvulas y compuertas cuentan con una pintura de revestimiento azul pero cabe señalar que la escalera de acceso al vertedero de agua filtrada se encuentra en condiciones de oxidación que pueden comprometer la seguridad del operario.

Finalmente, se evidenció que el fontanero no recoleta datos del proceso de filtración ni tampoco define los valores diarios en algún documento; igualmente tampoco se realiza un reporte escrito de las condiciones estructurales ni de operación – mantenimiento del proceso, hecho que incumple con lo definido por el RAS - 2000.

10.1.5 Desinfección

Condiciones de Diseño y Operación

A continuación se definen las condiciones de diseño y operación en contraste con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000.

El proceso de potabilización en su proceso de diseño, se elaboró en principio un sistema de desinfección convencional con dosificador de cabeza constante. Pero en el año 2011, la planta recibió por parte de la empresa Coca – Cola una planta de cloración “MIOX” la cual para la producción de salmuera, se necesita cloruro de sodio, agua y energía. Sin embargo, esta máquina requiere de un proceso de calibración y mantenimiento que los fontaneros no pueden realizar, y en caso de suspensión se implementa nuevamente el sistema primario convencional. Por este hecho, el análisis del proceso de desinfección se realizó en base al sistema convencional de desinfección ya que también las especificaciones del RAS - 2000 contemplan los procesos convencionales.

Según el RAS-2000 [29], la determinación de la dosis del desinfectante se debe realizar por medio del método concentración-tiempo, teniendo en cuenta la eficiencia de los procesos de sedimentación y filtración para conocer el grado de remoción de los coliformes totales y de la turbiedad. Sin embargo, estas condiciones no se cumplen en la operación diaria de la planta pues se sigue la recomendación dada en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama”, donde se indica que la dosis óptima del desinfectante no se define mediante ensayos de laboratorio; en vez de ello, se encuentra definida la dosis de hipoclorito de sodio comercial a aplicar en un día y su medición en planta sólo se realiza en un recipiente con una marca que indica la cantidad de dosis fija a mezclar para verter en el tanque dosificador de cabeza constante.

Si en este caso se aplicará la curva de demanda de cloro y el método concentración tiempo se podría determinar con precisión la cantidad de cloro que se requiere para eliminar los residuales obtenidos de los procesos preliminares, indicando el número y la capacidad de los cloradores a emplear junto con el tipo de desinfectante. Dado lo anterior, se define que en el proceso no se garantiza una adecuada desinfección debido a que no cuentan con la información pertinente que les permita llevar un control sobre la dosis de cloro requerida para destruir el compuesto orgánico indeseado y garantice la aparición del residual libre que proteja el agua hasta el final de la red de distribución.

En cuanto a la concentración de cloro residual libre que puede estar en el sistema de distribución, esta se encuentra definida por la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, indicando que su valor debe estar entre 0,3 a 2,0 mg/l. Para ello, la PTAP al no contar con su propio laboratorio, contrata un laboratorio externo llamado “Análisis Laboratorio”, el cual realiza una muestra de control mensual de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sólo del agua tratada, siguiendo los métodos y procedimientos que aseguran su calidad, teniendo como resultado de este parámetro, un valor de 1,8mg/l que se encuentra dentro del rango permisible.

Según el RAS-2000 [29], se define que todos los niveles de complejidad deben contar como mínimo con dos tanques de contacto del desinfectante o en caso excepcional utilizar la tubería de conducción entre la planta y la red de distribución. Sin embargo, este proceso se realiza utilizando el tanque de almacenamiento como de contacto, lo cual no es aceptable debido a que como se explica en el capítulo C.8.5.5, el nivel del tanque se encuentra en constante cambio de nivel y por tanto no siempre retiene el flujo durante el tiempo; esto refleja una mala condición de diseño el cual compromete la eficiencia de la desinfección.

En cuanto a los factores de operación y control del proceso de desinfección, presenta grandes falencias debido a que en el sistema de dosificación no determinan la dosis óptima mediante pruebas de laboratorio ni realizan un adecuado suministro al no contar con un control eficiente, exacto y continuo que les permita efectuar una mezcla completa entre el cloro y el agua a tratar.

La dosificación no presenta algún tipo de control hidráulico, al evidenciarse que no verifican el tiempo de contacto ni el valor del pH antes de aplicar el desinfectante, siendo de importancia ya que estos parámetros influyen en la eficiencia del proceso. Además, el valor de la turbiedad se determina con base a los resultados del informe de laboratorio que se realiza mensual para verificar que cumple con los requisitos de la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de evitar una contaminación patógena en la red de distribución hasta la zona de extremo; evidenciando que se cumple con un valor de 0,00 UNT estando dentro del valor admisible (<2,0). Sin embargo, es de importancia resaltar que en el informe de laboratorio no contempla el análisis de Trihalometanos (THMs), aún considerando la importancia de realizar su control debido a que su presencia en altas concentraciones puede ser perjudicial para la comunidad al representar un factor de riesgo para la salud pública asociado a enfermedades cancerígenas.

Según el RAS 2000 [29], la dosificación se debe realizar en un clorador con un rotámetro para cuantificar la dosificación; en vez de ello, se utiliza un tanque de PVC con un flotador que evita el rebose del agua. Además, las condiciones de seguridad en el proceso no son apropiadas, ya que se evidenció en las visitas de campo que el fontanero utiliza una escalera de madera sin ninguna condición de

seguridad para la aplicación del cloro, ni la implementación de los elementos de protección personal (EPP) que la empresa les otorga y que son requeridos por la ficha técnica del producto para la manipulación del desinfectante; hecho que se presenta al no realizar las actividades definidas en el Manual de Seguridad y Salud Ocupacional de la empresa, generando un alto riesgo de incidente laboral. La medición del cloro residual libre no se realiza en los tiempos mínimos definidos pero si cumplen con las características que se exigen en el proceso de la medición de la concentración del cloro residual.

Condiciones de Mantenimiento en la Desinfección

Las actividades de mantenimiento para los dosificadores, presenta pésimas condiciones debido a que no cumple con las actividades exigidas por el RAS – 2000 al comprobarse que no realizan la limpieza y revisión del tanque dosificador utilizados en los procesos de floculación y desinfección, presentando parches producto del rebose de agua.

Para continuar, se observó que el fontanero sólo verifica la revisión de la válvula de dosificación del coagulante luego de haber preparado la mezcla, pero la limpieza y calibración la realizan cuando el equipo la requiera, y para cuando sucede eso se contactan con la empresa que les distribuyó el dosificador para la coagulación; en cambio la dosificación de la desinfección se realiza manualmente.

Finalmente, se observó que no realizan pruebas de asilamiento para identificar la presencia de fugas ni recolectan datos del proceso de desinfección en algún documento; igualmente tampoco se realiza un reporte escrito de las condiciones estructurales ni de operación – mantenimiento de la desinfección, hecho que incumple con lo definido por el RAS - 2000.

11. INDICADORES DE CUMPLIMIENTO

11.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CRITERIOS

Para definir los indicadores de cumplimiento de la lista de chequeo, se establecieron cuatro categorías contempladas en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 en el Título C. Cabe resaltar que las categorías “Estudios Previos” y “Características del Proceso” se tuvieron en cuenta debido a que en ellas se encuentran definidas algunas condiciones y valores involucrados en los parámetros de diseño y de operación, complementando el entendimiento y análisis de cada uno de los procesos. La descripción de las categorías se mostrará a continuación:

11.1.1 Estudios previos. Hace referencia a todos los estudios, mediciones y análisis que se deben de realizar para determinar los parámetros de diseño y las condiciones adecuadas de operación. Sin embargo, como lo menciona [29], en el caso de que no se haya realizado algún ensayo previo de las unidades, el RAS – 2000 en el título C define unos criterios de diseño y condiciones de operación mínimas para cada proceso del sistema de potabilización de las plantas de tratamiento de agua potable.

11.1.2 Características del Proceso. Esta categoría se encarga de realizar la descripción de las características y actividades apropiadas de cada uno de los procesos que el RAS – 2000 en el título C, define para los sistemas de potabilización de las plantas de tratamiento de agua potable.

11.1.3 Parámetros de diseño. Esta categoría permite realizar la descripción de los criterios que define el RAS - 2000 en el título C, que deben estar presentes en los parámetros de diseño relacionado a los datos hidráulicos y de los componentes de cada uno de los dispositivos utilizados en los procesos que conforma el sistema de potabilización de las plantas de tratamiento de agua potable.

11.1.4 Control del proceso y operación. Puntualiza algunos controles de vigilancia para las condiciones de operación, que permiten garantizar la eficiencia de los procesos que se realizan en los sistemas de potabilización definidos por el RAS – 2000 en el título C para las plantas de tratamiento de agua potable.

11.2 ANÁLISIS DE INDICADORES DE CUMPLIMIENTO

El resultado del análisis que permite realizar la lista de chequeo para cada uno de los procesos respecto a lo que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 en el título C, se verán reflejados por medio de las gráficas provenientes de los criterios de cumplimiento del estado general del sistema de potabilización y de cada uno de los procesos, las cuales se mostrarán a continuación:

11.2.1 Estado general del sistema de potabilización.

Gráfica 4. Porcentaje de cumplimiento general del sistema de potabilización

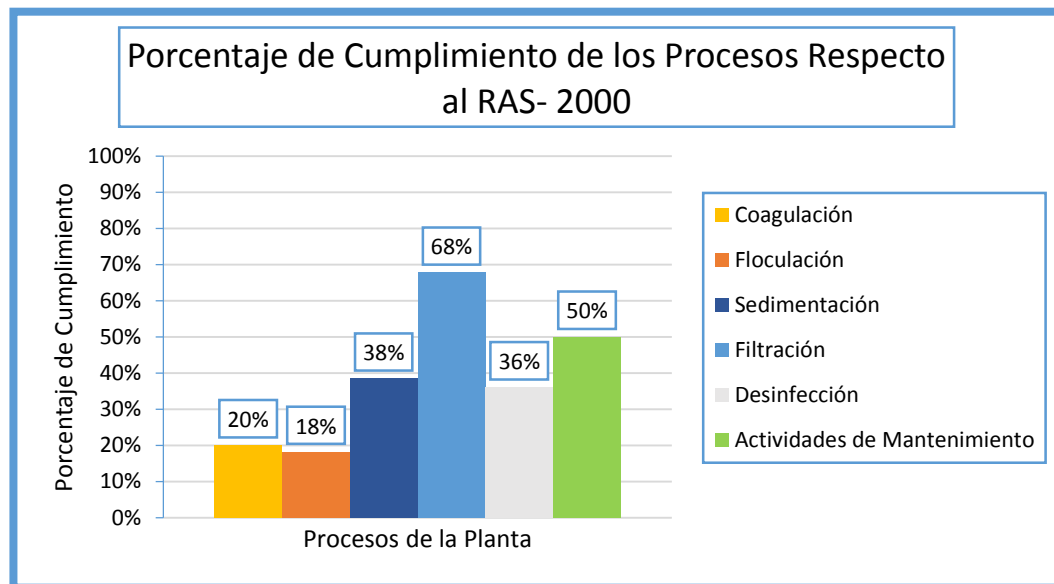


Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede evidenciar en la gráfica 4, el sistema de potabilización presentó un porcentaje de cumplimiento general del 38% respecto a los criterios que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C. Teniendo en cuenta el valor de los criterios de evaluación escogidos para el análisis, el sistema presenta un estado crítico, resultado de las malas condiciones de diseño y actividades de operación que se presenta en todos los procesos del sistema de potabilización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Vereda La Trinidad. El análisis de cada unidad se presenta en los subcapítulos siguientes.

11.2.2 Estado de los procesos del sistema de potabilización. El resultado del análisis realizado por la lista de chequeo para cada uno de los procesos, permitió obtener el porcentaje de cumplimiento de los criterios que define el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 en el título C, que se mostrarán a continuación.

Gráfica 5. Porcentaje de cumplimiento de los procesos del sistema de potabilización



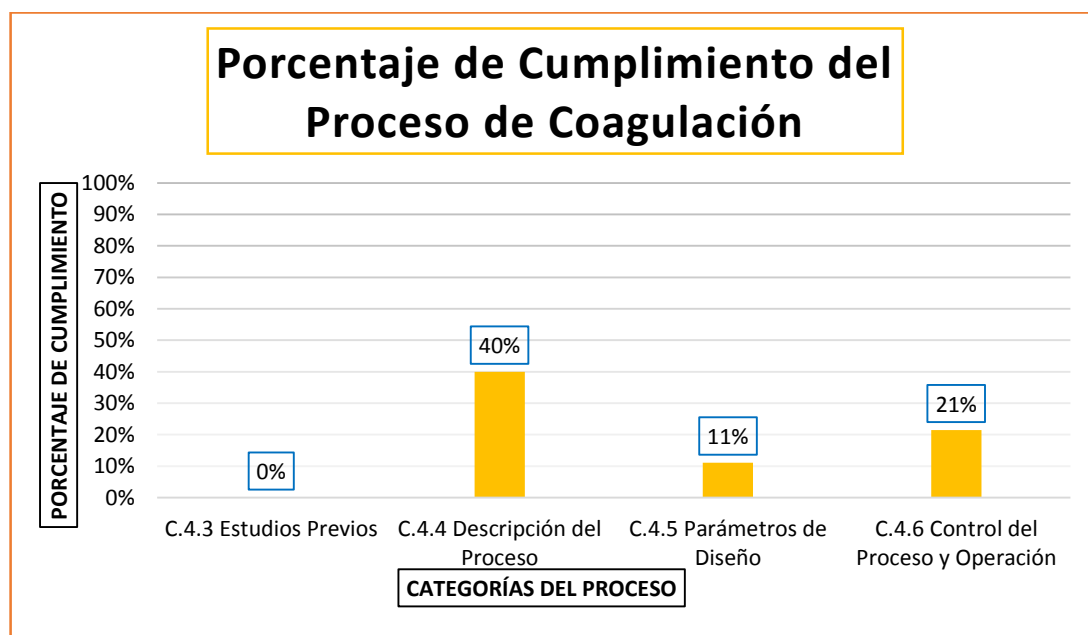
Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior, permite observar que ninguno de los procesos presenta un nivel de cumplimiento superior del 80%, debido a que las condiciones de diseño y actividades de operación son deficientes en cada una de ellas, resaltando que la eficiencia del proceso de coagulación es muy bajo al cumplir sólo con el 20% de los requisitos que exige el RAS - 2000, afectando el rendimiento de los procesos posteriores y la calidad del agua. Sin embargo, en los informes de laboratorio que realizan mensualmente, se observó que la calidad del agua cumple con los valores permisibles de la Resolución 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y con el porcentaje del IRCA, hecho que se presenta a la buena calidad del agua cruda a tratar, permitiendo que las acciones que realiza cada uno de los proceso, pueda llegar a cumplir con las características fisicoquímicas para que el agua sea apta para consumo humano.

A continuación se expone el porcentaje cumplimiento de cada uno de los procesos que conforma el sistema de potabilización en función de las categorías de evaluación. Estos porcentajes son el resultado de la razón entre los parámetros de diseño, operación y mantenimiento que cumplen los criterios establecidos en el RAS en relación con el total de parámetros evaluados.

11.2.2.1 Coagulación.

Gráfica 6. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Coagulación



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior permite observar el porcentaje de cumplimiento de las categorías que conforma el proceso de Coagulación, donde para la categoría “Estudios Previos” presentó un valor de cumplimiento de 0% siendo crítico, debido a que no se realiza la actividad definida por ella, relacionada con la actividad de pruebas de jarra para la determinación del tipo de coagulante, la dosis y condiciones óptimas de operación.

La categoría “Características del Proceso” presentó un valor de cumplimiento de 40% siendo crítico, el cual se debe a que incumple con los estándares de verificación como la relación estequiométrica a tener en cuenta para el coagulante, ensayos de laboratorio y en el número mínimo de unidades para la dosificación. Por otro lado, en las visitas de campo no se evidenció la presencia del resalto

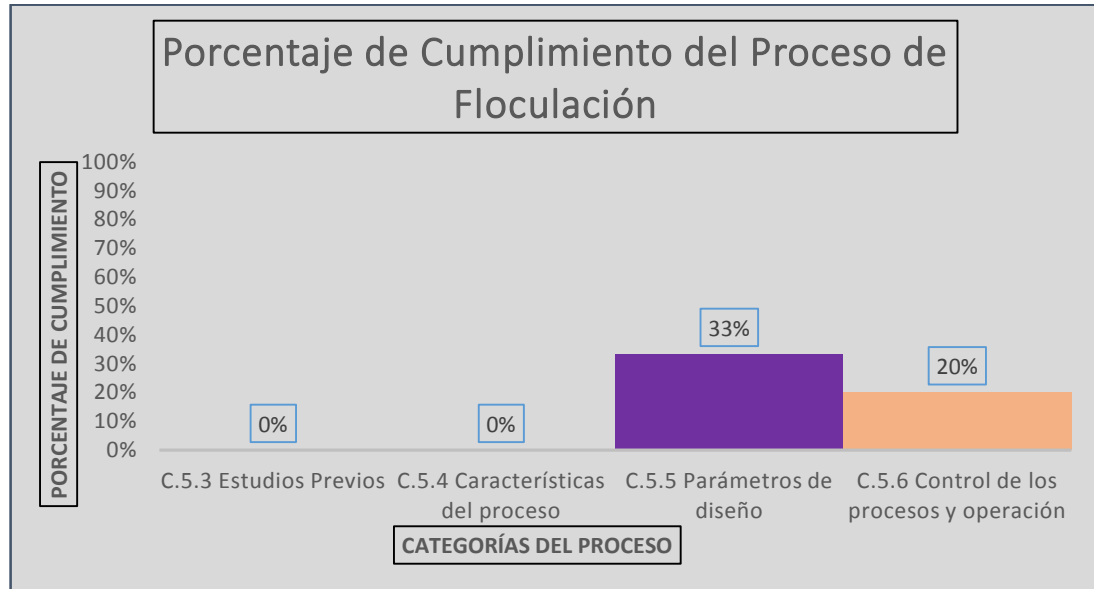
hidráulico en la garganta, pero los datos de diseño hidráulico expresa que la canaleta Parshall no trabaja ahogada al no sobrepasar el nivel máximo de sumergencia permitido para la dimensión de la canaleta Parshall que se usa en el proceso.

La categoría “Parámetros de Diseño” contempla la verificación de la dosificación en función del coagulante utilizado que es el Sulfato de Aluminio tipo A y de los mezcladores hidráulicos como la canaleta Parshall, que como resultado del análisis, presentó un nivel de cumplimiento del 11% clasificándose como crítico. Este hecho se presenta al no cumplir con las condiciones para el tanque de disolución, con la ficha técnica en relación a la manipulación y almacenamiento del coagulante, y no determinar la dosis óptima mediante pruebas de jarras. En la mezcla rápida, la canaleta Parshall presenta problemas de diseño al no cumplir con las condiciones hidráulicas (salvo el número de Froude) y estructural, al no contar con un dispositivo aguas abajo como unas compuertas deslizantes que les permita corregir la posición del resalto.

En la categoría “Control del proceso y operación” presentó un valor de cumplimiento de 21% siendo crítico, debido a que no se realiza ninguna actividad de control y seguimiento de las condiciones hidráulicas y de la calidad del agua en la canaleta Parshall como lo exige el RAS – 2000, al no tener los equipos necesarios para su medición además de que el fontanero no cuenta con los conocimientos necesarios para la interpretación hidráulica que se requiere; por otra parte, se evidenció que la operación se limita sólo en fijar la dosis del coagulante mediante una cubeta con una marca que indica la cantidad de coagulante a llenar, y en verificar que se esté realizando la dosificación del coagulante por el eyector. El resultado de las falencias encontradas en la operación y control tiene un alto grado importancia, ya que estas actividades están enfocadas en garantizar el buen funcionamiento y eficiencia del proceso de coagulación, ya que de este proceso depende el rendimiento de los tratamientos continuos.

11.2.2.2 Floculación.

Gráfica 7. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Floculación



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior permite observar el porcentaje de cumplimiento de las categorías que conforma el proceso de Floculación, donde la categoría “Estudios previos” cuenta con un valor de cumplimiento de 0% siendo crítico, debido a que no se realiza la elaboración de pruebas de jarras que les permita definir las condiciones óptimas de operación.

La categoría “Características del Proceso” presentó un valor de cumplimiento de 0% siendo crítico, debido a que las pantallas en el tanque del floculador no cuenta con el espacio suficiente para realizar una adecuada limpieza, ya que como se evidenció en las visitas de campo, el fontanero no alcanza a limpiar todos los espacios entre los canales debido a que existen algunos espacios muy reducidos que no permite el paso de la escobilla. Además, tampoco se determinan las características hidráulicas como el tiempo de detención y gradiente óptimo por medio de la prueba de jarras.

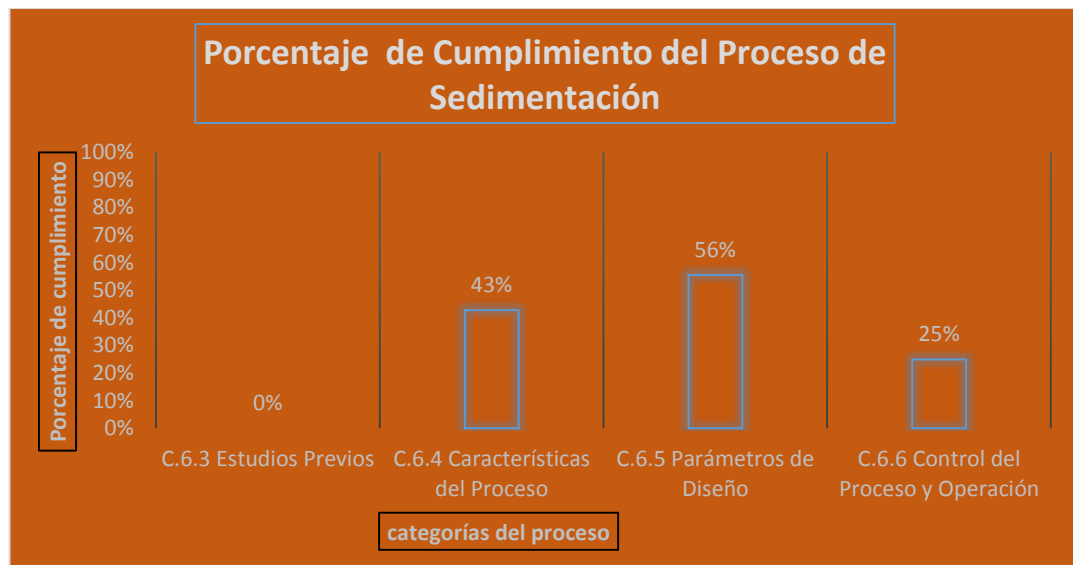
Para la categoría “Parámetros de diseño” presentó un porcentaje de cumplimiento del 33% siendo crítico, que se atribuyen al incumplimiento de las condiciones hidráulicas, al evidenciar en los cálculos definidos en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio

de Duitama”, sólo cumple con el gradiente medio de velocidad, pero el tiempo de detención y velocidad del agua a través del tanque presenta valores muy bajos a lo estipulado por el RAS – 2000.

En la categoría “Control del proceso y operación” enuncia un valor de cumplimiento crítico del 20% de las actividades que exige el RAS - 2000, donde se resalta que en la operación sólo se verifica el nivel del agua entre las cámaras, omitiendo las otras actividades relacionadas a la comprobación de la correcta dosificación y mezcla rápida. Las inspecciones de las condiciones hidráulicas y de calidad de agua decantada en función de la prueba de jarras no se llevan a cabo, afectando la eficiencia del proceso al no realizar un control adecuado que les permita identificar las condiciones óptimas de operación.

11.2.2.3 Sedimentación.

Gráfica 8. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Sedimentación



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior permite observar el porcentaje de cumplimiento de las categorías que conforma el proceso de Sedimentación, donde la categoría “Estudios previos” presentó un valor de cumplimiento de 0%; esto sucede porque no tienen en cuenta la prueba de jarras que les permita determinar la eficiencia del proceso, ni cuentan con estudios estadísticos de la calidad del agua para un periodo de lluvias ni periodos secos.

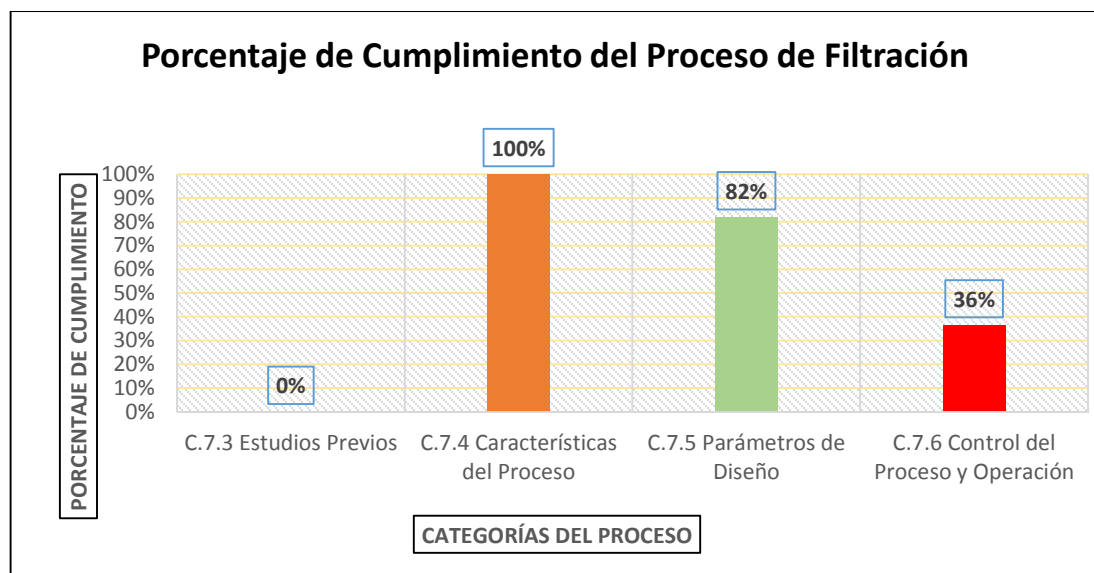
La categoría “Características del Proceso” presentó un valor de cumplimiento de 43% siendo crítico, debido a que se presenta falencias en los dispositivos de recolección de agua sedimentada y en el acceso a la unidad, al no contar con ningún espacio para ingresar al fondo del sedimentador ni las barandas perimetrales en las zonas de paso como lo requiere el RAS – 2000. Las condiciones estructurales de diseño cumplen con las dimensiones definidas para placas angostas.

En la categoría “Parámetros de diseño” para sedimentadores de alta tasa, presentó un nivel de cumplimiento de 56% siendo crítico, dado a que presenta sólo presenta falencias en los valores hidráulicos de diseño como el tiempo de detención y en la carga superficial; ya en las condiciones de diseño estructural, se evidenció que cumple con todos los requisitos exigidos como en la inclinación de placas, pandeo, entre otras.

Para la categoría “Control del proceso y operación”, presentó un nivel de cumplimiento de 25% estando en estado crítico, al observar que no se realizan las actividades de operación pertinente al no verificar ni controlar las condiciones hidráulicas, realizando cambios bruscos de flujo al momento de realizar la limpieza del proceso. Tampoco realizan actividades de control de operación en función de los datos estadísticos de la calidad de agua cruda y sedimentada que les permita verificar la eficiencia del proceso y dar un concepto sobre el correcto funcionamiento de la unidad.

11.2.2.4 Filtración.

Gráfica 9. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Filtración



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior permite observar el porcentaje de cumplimiento de las categorías que conforma el proceso de Filtración, donde la categoría “Estudios previos” presentó un estado de cumplimiento crítico de 0% debido a que no realizan ningún control de calidad del agua al ingreso de los filtros.

La categoría “Características del Proceso” presentó un valor de cumplimiento de 100% siendo bueno, ya que el método aplicado para controlar el flujo es apropiado y la ubicación de los lechos filtrantes ofrece una buena visibilidad al operador, sin embargo, no cuenta con la escalera de acceso para cada filtro al haberse oxidado. Finalmente, cumple con los componentes estructurales de diseño requeridos para para cada unidad que compone los filtros rápidos de flujo descendente.

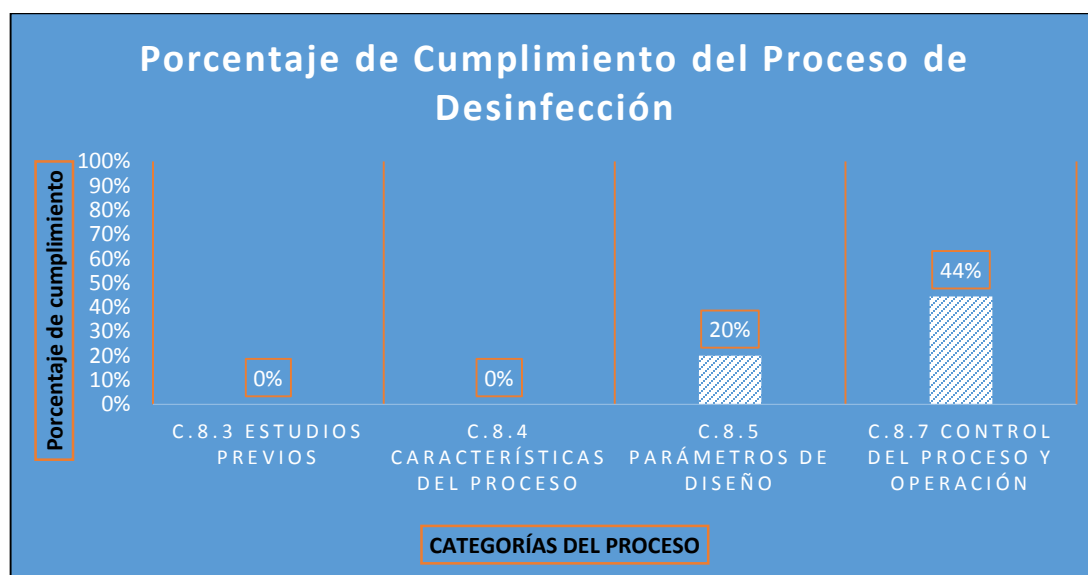
A pesar de la relación entre la anterior categoría y la referente a “Parámetros de diseño”, en esta última se presentó un valor de cumplimiento de 82% al no considerar algunos detalles propios del diseño como el número de unidades. Este porcentaje principalmente se debe a lo evidenciado en el documento “Planta de Tratamiento de Agua Potable para el Acueducto de Vereda La Trinidad Municipio de Duitama”, donde se confirma que la composición de los lechos filtrantes cumple con las condicionales exigidas, aunque cabe resaltar que algunos valores no se pudieron evaluar debido a que la planta carece de información sobre las características de la graba, en la altura e interface entre los dos lechos. En los parámetros de diseño hidráulico sólo cumple con la velocidad de filtración y en la velocidad de ascenso en el lavado, en donde el documento expresa un nivel de

pérdida de carga muy baja a lo recomendado por el RAS – 2000. El sistema de lavado cumple con las condiciones de diseño requeridas para el lavado procedente de otras unidades de filtración (sistema autolavante), exceptuando en que no cuenta con las 4 unidades que se recomienda, si no contar con 3 unidades y una de ellas suspendida por problemas de infiltración.

La categoría “Control del proceso y operación” presentó un valor de cumplimiento de 36% siendo crítico debido a que los controles en el proceso son inexistentes porque no realizan pruebas fisicoquímicas de los parámetros que les permita realizar un seguimiento de la calidad del proceso. En cambio, las actividades de operación del filtro presenta buenos resultados al evitar el taponamiento del medio filtrante realizando diariamente el lavado con especial cuidado para no generar problemas en el medio filtrante; sin embargo, el periodo de lavado no se realiza según las recomendaciones del RAS – 2000 al no tener en cuenta la pérdida de carga en el lecho ni controlar este parámetro, hecho que se hace en función de la experiencia adquirida por el fontanero.

11.2.2.5 Desinfección.

Gráfica 10. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Desinfección



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior permite observar el porcentaje de cumplimiento de las categorías que conforma el proceso de Desinfección, donde la categoría “Estudios previos” al contar con un valor de cumplimiento de 0% presenta un estado crítico,

debido a que no se realiza los ensayos previos que se requiere para determinar la dosis óptima del desinfectante y controlar la producción de trihalometanos (THMs).

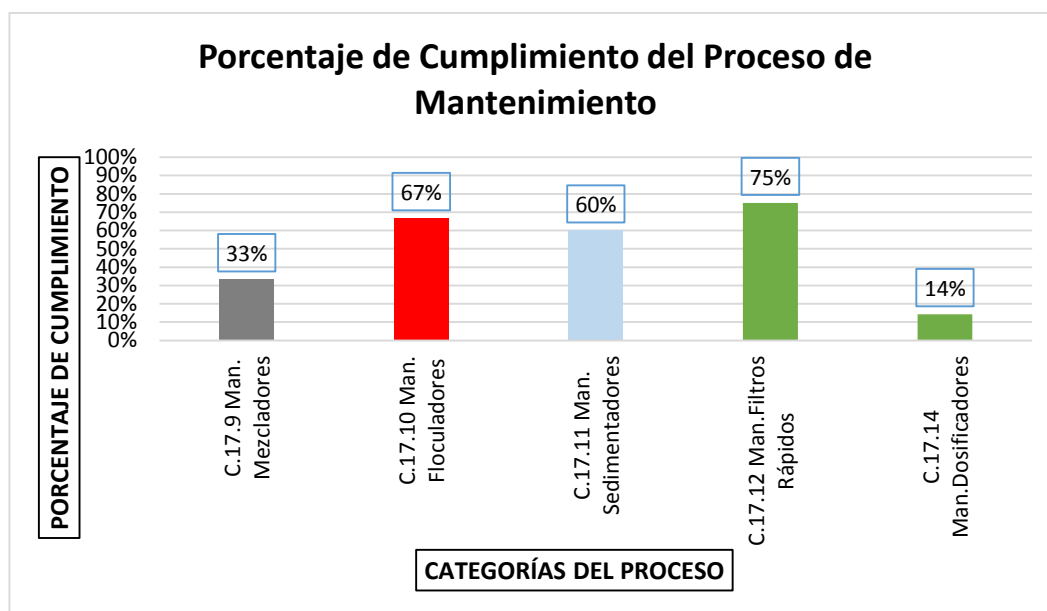
La categoría “Características del Proceso” presentó un valor de cumplimiento de 0% siendo crítico, debido a que la empresa no cumple con algunas condiciones de la ficha de seguridad del producto otorgada por la empresa Quiminsa que contempla el uso de protectores para los ojos, guantes de hule para químicos y máscara con prefiltros. Cabe destacar que no se pudo evaluar el estado de cumplimiento de los requisitos técnicos de la cloración en relación a la Norma Técnica Colombiana NTC 1847(Rev.3).

La categoría “Parámetro de diseño” tiene un valor de cumplimiento de 20% presentando un estado crítico, debido a que no determinan la dosis del desinfectante mediante el método concentración-tiempo ni contempla la curva de demanda de cloro. El diseño del proceso no contempla tanques de contacto como lo exige el RAS - 2000 para asegurar un tiempo máximo de contacto entre el cloro y el agua.

La categoría “Control del proceso y operación” presentó un valor de cumplimiento de 44%, aún a pesar del cumplimiento del cloro residual en la red de distribución. Este porcentaje se presenta debido a que no se realizan las actividades de control y operación en la dosificación que permita garantizar una completa, exacta y eficiente desinfección, por lo cual no se puede asegurar siempre el cumplimiento del parámetro de acuerdo con la Res. 2115. Además, los controles hidráulicos para el pH y turbiedad que se requiere para la dosificación del desinfectante no se realizan al no contar con los equipos y conocimientos por parte del fontanero; por otro lado, se evidenció que cumple con todas las actividades encaminadas a la revisión de la concentración residual de cloro en todo el trayecto de la red de suministro, pero no realizan un manejo seguro del compuesto y de los equipos utilizados para la cloración, violando los requisitos definidos por el RAS – 2000.

11.2.2.6 Mantenimiento

Gráfica 11. Porcentaje de cumplimiento del proceso de Mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica anterior permite observar el porcentaje de cumplimiento de las actividades de mantenimiento realizadas en el sistema de potabilización, donde la actividad de mantenimiento del mezclador hidráulico presentó un valor de cumplimiento de 33% siendo crítico, debido a que no realizan actividades de inspección ni reacondicionamiento del mezclador, al igual que tampoco recolectan información que les permita llevar una hoja de vida del equipo y puedan realizar el control del mantenimiento de manera adecuada.

En la actividad de mantenimiento del floculador hidráulico, presentó un valor de cumplimiento de 67% siendo regular, al cumplir con las actividades de inspección, revisión y limpieza del mezclador; sin embargo, no cuentan con la hoja de vida del equipo que se requiere para el control de mantenimiento.

Por otro lado, la actividad de mantenimiento del sedimentador de alta tasa presentó un valor de cumplimiento de 60% siendo regular, debido a que se evidenció escombros pertenecientes a la canaleta de recolección de agua sedimentada y un ladrillo en la zona de las placas. El fontanero realiza la revisión de la estructura, donde se reportó la fisura y problema de infiltración en una de las unidades de sedimentación; además, no se recolecta información que permita

poder llevar una hoja de vida del equipo y un control del mantenimiento de manera adecuada.

En cambio, el mantenimiento de los filtros rápidos presentó un valor de cumplimiento de 75% siendo bueno, en donde evidenció que realizan todas las actividades que se requiere para el mantenimiento como revisiones, lavado y limpieza del filtro, entre otros. Sin embargo, no se recolecta información para poder llevar una hoja de vida del equipo y permita un control del mantenimiento de manera adecuada.

Finalmente, el mantenimiento de los dosificadores presenta un valor de cumplimiento de 14% siendo crítico, debido a que se verifica la válvula por donde se realiza la dosificación, pero no se realiza actividades de limpieza y reacondicionamiento, donde se observa que los tanques de los dosificadores se encuentran sucios ni protegidos correctamente. Finalmente, tampoco se recolecta información del equipo dosificador para poder llevar una hoja de vida del equipo y permita un control del mantenimiento de manera adecuada.

12. RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

De acuerdo con los resultados encontrados al revisar cada uno de los criterios de diseño, operación y mantenimiento de las unidades de tratamiento de la planta y con el fin de dejar el proyecto abierto a nuevas iniciativas de diagnóstico y optimización del proceso, se mencionan aquí de forma preliminar algunas actividades que se recomienda seguir con el fin de mejorar el desempeño propio de la planta

Tabla 1. Recomendaciones de operación y mantenimiento

COAGULACIÓN
▪ Realizar pruebas de jarras teniendo en cuenta la relación estequiométrica para definir la dosis óptima del coagulante y las condiciones de operación según la NTC 3903. ▪ Verificar que el sulfato de aluminio cumple con la norma NTC 531, de lo contrario cambiar de producto. ▪ Contar con 2 tanques para la preparación del coagulante de concreto revestido con pintura bituminosa o epóxica, capaces de funcionar entre 8 a 12 horas con la dosis media. ▪ Mejorar las condiciones hidráulicas que permita la formación del resalto hidráulico en la garganta de la canaleta Parshall. ▪ Controlar el nivel de sumergencia para que trabaje con descarga libre. ▪ Controlar las velocidades en la zona de garganta y de salida. ▪ Verificar la relación Ha/W para observar las condiciones de mezcla con la turbulencia. ▪ Verificar y controlar el gradiente medio óptimo de velocidad. ▪ Implementar pantallas deslizantes aguas abajo para controlar la posición del resalto para diferentes condiciones de operación. ▪ Verificar la aplicación del coagulante en el punto de mayor turbulencia. ▪ Controlar la producción de caídas luego de la aplicación de la sustancia química, eliminando la rampa e introducir un canal de aproximación con velocidades bajas para evitar el rompimiento del microfloc. ▪ Verificar el valor del pH antes y después de la coagulación. ▪ Verificar el tiempo de reacción. ▪ Controlar la concentración residual de aluminio acorde a los valores máximos aceptables permitidos.

Tabla 1. (Continuación)

FLOCULACIÓN
- Realizar la prueba de jarras teniendo en cuenta la NTC 3903 para definir las condiciones de operación. - Verificar y controlar el tamaño del flóculo y turbiedad residual en la salida del floculador y compararlos con los parámetros de la prueba de jarras. - Verificar que la dosificación y la mezcla rápida se realiza adecuadamente. - Determinar y controlar los parámetros hidráulicos como el gradiente de velocidad y tiempo de detención a través de la prueba de jarras.
SEDIMENTACIÓN
- Realizar estudio estadístico de los datos de turbiedad de agua cruda y sedimentada para contar con información del funcionamiento del proceso bajo diferentes concentraciones. - Realizar el control de la eficiencia del proceso para verificar el correcto funcionamiento de la unidad. - Implementar escaleras o escalones laterales para acceder al sedimentador y tener acceso al fondo del tanque por debajo de las placas. - Verificar y controlar las condiciones hidráulicas. Corregir la carga superficial y tiempo de detención. - En el llenado del sedimentador dejar en reposo por 30 minutos antes de la operación normal. - Comprobar si por el efluente hay salida de flóculos por medio de pruebas de laboratorio. - Determinar la turbiedad 6/día y color del agua sedimentada 1/día. - Realizar la extracción de lodos de manera continua drenando varias veces por día por medio de la válvula de purga.
FILTRACIÓN
- Verificar que la turbiedad de ingreso a los filtros no sea mayor de 8 UNT y el color no sea mayor de 20 UC. - Verificar y controlar las condiciones hidráulicas del proceso como la velocidad de filtración y corregir la pérdida de carga para que pueda disponer de mínimo 2m de pérdida de carga durante la carrera de filtración. - Verificar y controlar la turbiedad, color y pérdida de carga en el efluente del filtro. - Lavar el filtro con las condiciones hidráulicas de la pérdida de carga que definió el diseñador. - Realizar los controles de calidad del proceso (características físicas y químicas del agua filtrada) - Determinar y controlar la eficiencia de la filtración de la unidad. - Controlar la variación de la concentración de aluminio residual en el efluente.

Tabla 1. (Continuación)

DESINFECCIÓN
▪ Tener en cuenta la eficiencia de los procesos de sedimentación y filtración para la determinación de la dosis óptima. ▪ Determinar la dosis óptima del desinfectante mediante pruebas de laboratorio por medio del método concentración – tiempo y tener en cuenta la producción de trihalometanos (THMs). ▪ Revisar si el hipoclorito de calcio aplicado cumple con la norma NTC 1847 (Rev.3). En caso de que no cumpla, cambiar de surtidor. ▪ Implementar y utilizar la gráfica de curva de demanda de cloro contra residuales obtenidos. ▪ Implementar 2 unidades de tanque de contacto, o utilizar la conducción entre la planta y la red de suministro para obtener el tiempo de contacto, teniendo en cuenta que no puede haber una derivación del suministro sin antes de que el flujo complete el tiempo de contacto requerido. ▪ Verificar que la mezcla entre el cloro y el agua sean rápida, uniforme y eficiente. ▪ Revisar y controlar que la cantidad de trihalometanos (THMs) sea menor a lo indicado por la norma y la no presencia de patógenos en la red de distribución. ▪ Analizar y controlar de manera continua, que el pH del agua se encuentre entre 6 -7. De igual manera, alcalinizar el agua después de la cloración. ▪ Realizar un control eficiente y exacto de la dosificación teniendo en cuenta los valores definidos por la prueba de laboratorio. ▪ Realizar un control eficiente, continuo y exacto de la dosificación. ▪ Realizar la medición de cloro residual libre cada hora mínimo cada hora. ▪ Realizar un manejo seguro del compuesto y de los equipos.
MANTENIMIENTO
▪ Realizar las actividades de inspección, reacondicionamiento y limpieza del mezclador hidráulico. ▪ Realizar el reacondicionamiento del sedimentador como en la pintura externa y actividades de conservación del estado del proceso. ▪ Realizar la revisión y reacondicionamiento de la dosificación. ▪ Implementar un registro de datos diarios para formar la hoja de vida del equipo para los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y dosificaciones que se realiza en la mezcla rápida y desinfección.

Fuente: Elaboración Propia.

13. CONCLUSIONES

El diagnóstico del sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda La Trinidad, presentó un estado de cumplimiento crítico a nivel general en relación a los detalles que especifica el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000; debido a que incumple en muchas de las condiciones de diseño y actividades de operación que se deben de realizar en los procesos evaluados, afectando el estado y funcionamiento adecuado de la PTAP.

La lista de chequeo funcionó adecuadamente como instrumento de verificación, permitiendo evaluar el porcentaje de cumplimiento general del sistema de potabilización y de cada uno de los procesos que la conforma, al haber evaluado sus condiciones de diseño y operación y poder contrastarlos con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.

Como resultado de lo anterior, el porcentaje de cumplimiento de las condiciones de diseño para los procesos que conforma el sistema de potabilización, presentó deficiencias exceptuando en algunos componentes de la filtración, hecho que se relaciona con la antigüedad del sistema al haber sido diseñado tiempo atrás de la publicación de la resolución 1096 del Ministerio de Desarrollo Económico que adopta al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000, ya que esta define los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños para garantizar la eficiencia, funcionamiento y calidad del sistema para los diferentes niveles de complejidad.

Las actividades de operación y control de los procesos presentaron muchas falencias al evidenciar que no realizan la mayoría de actividades de operación que define el RAS - 2000, ya que el fontanero sólo realiza la limpieza del medio filtrante, la dosificación del coagulante y desinfectante diariamente; cabe agregar, que tampoco realizan controles de las condiciones hidráulicas ni de calidad del agua en ninguno de los procesos, salvo en la desinfección al revisar solamente la concentración de cloro residual diariamente. Por otro lado, las actividades de mantenimiento que se realizan para cada proceso, presenta eventualidades pero cumple de manera regular con los requisitos del RAS – 2000; excepto en las actividades de los mezcladores hidráulicos y en los dosificadores, donde se presentan las falencias, ya que en los otros procesos la mayoría de los inconvenientes están relacionados en que no cuentan con una hoja de vida de los equipos para su adecuado control.

Por todo lo dicho, el estado del sistema de potabilización no funciona de manera eficiente; sin embargo, la calidad del agua tratada cumple con las características fisicoquímicas y con el índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano – IRCA de la Resolución 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, según los resultados del informe de laboratorio que realizan mensualmente por medio de un laboratorio externo .

Finalmente, la propuesta preliminar de optimización contiene una serie de consideraciones técnicas y operativas que parten de los problemas hallados en cada uno de los procesos, encaminadas a orientar a la persona prestadora del servicio de acueducto sobre las actividades que tendría que realizar, para mejorar la eficiencia del sistema de potabilización y dar cumplimiento con los requisitos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000.

Cabe resaltar que el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 no contiene la verdad absoluta sobre los valores con los que se pueden diseñar, ya que hay autores que para el mismo proceso diseñan con diferentes valores y rangos permisibles. Sin embargo, la República de Colombia adopta este manual de buenas prácticas de ingeniería conocidas como RAS, por medio del Ministerio de Desarrollo Económico con el fin de integrar el desarrollo de los sectores productivos del agua potable y saneamiento básico y poder dar cumplimiento de sus funciones mediante algunos actos administrativos.

La evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable se podría extrapolar a diferentes plantas de cabezas municipales, ya que su estructura permite modificarla e incluir los distintos métodos y equipos que se pueden usar para cada proceso junto aquellos valores de carácter administrativos, para realizar un estudio más integral de las plantas de tratamiento de agua potable permitiendo demostrar a las empresas prestadoras de servicio público, el estado actual de la planta respecto a las recomendaciones técnicas que define el Estado Colombiano, por lo que puede llegar a tener una acogida para su ejecución a nivel nacional. Sus resultados permitirían abonar información a las entidades gubernamentales encargadas del control y seguimiento de la calidad del agua, para que de esta manera, la administración pública pueda promover proyectos que fortalezcan la gestión urbana – rural y que contribuyan al cumplimiento de uno de los objetivos del milenio y favorecer la calidad de vida de las comunidades.

La empresa comunitaria de acueducto y alcantarillado La Trinidad, no realiza las actividades administrativas pertinentes para que el sistema de potabilización cuente con los requerimientos técnicos necesarios; con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia para cada uno de los procesos.

14. RECOMENDACIONES

Como resultado de lo evidenciado en el desarrollo de la investigación, se invita a que la Empresa Comunitaria de Servicio Públicos Domiciliarios de la Vereda La Trinidad, realice las actividades pertinentes descritas en la propuesta preliminar de optimización, para dar solución a las falencias encontradas para cada uno de los procesos.

Revisar las condiciones hidráulicas de diseño, ya que se trabaja con caudales impresos al no contar con un medidor de caudal, afectando la eficiencia desde el proceso de coagulación, y esta a su vez, compromete el correcto funcionamiento de los procesos posteriores.

Implementar un laboratorio para poder realizar los análisis y ensayos de agua con las frecuencias recomendadas por el RAS - 2000 para controlar la calidad en los diferentes procesos de la planta de tratamiento.

La PTAP debe de implementar sistemas de instrumentación primaria, que contribuyan a llevar un control de los parámetros hidráulicos y de calidad del agua como del pH, aluminio residual, medidores de flujo, medidores de nivel, entre otros.

Del mismo modo, la PTAP debe contemplar las recomendaciones de los aspectos de operación que define el RAS – 2000, indicando las labores a realizar del fontanero relacionadas con la toma de muestras, el análisis y ensayos de agua, haciendo énfasis en la aplicación del ensayo de jarras, ya que este permite analizar varios aspectos de calidad y define algunos criterios de operación inicial para cada proceso, generándoles un punto de control de las condiciones hidráulicas y de la calidad; ya que durante la operación de la planta se debe de realizar análisis como de la turbiedad, color, pH, alcalinidad, concentración de aluminio, cloro residual con la frecuencia indicada para el nivel de complejidad del sistema.

Se recomienda a la PTAP solucionar los problemas de infiltración de agua que presenta en los procesos identificados por el fontanero, ya que su prolongación afecta la durabilidad, funcionalidad y seguridad estructural de los procesos afectados.

Finalmente, se invita a que la Empresa Comunitaria de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado La Trinidad dentro de sus condiciones administrativas, realicen actividades de gestión con base a las recomendaciones que realiza el RAS – 2000, que permitan mejorar las condiciones técnicas y operativas que se requiere para cada uno de los procesos del sistema de potabilización.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, «Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo,» 28 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODM/undp-co-odsinformedoc-2015.pdf>. [Último acceso: 06 Junio 2016].
- [2] Unicef, «Unicef,» [En línea]. Available: <http://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>. [Último acceso: 29 Febrero 2016].
- [3] S. Barón López, «Documento Técnico Línea de Intervencion Calidad de Agua y Saneamiento Básico,» Noviembre 2011. [En línea]. Available: http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=17817255-1588-4942-ba6a-27dfa217ef29&groupId=55886. [Último acceso: 8 Junio 2015].
- [4] MINISTERIO DE SALUD, «Colombia trabaja para mejorar acceso a agua potable y saneamiento básico en zonas rurales,» 20 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-trabaja-para-mejorar-acceso-a-agua-potable-y-saneamiento-b%C3%A1sico-en-zonas-rurales.aspx>. [Último acceso: 20 Junio 2015].
- [5] Secretaria de Salud - Municipio de Duitama, «Alcaldía de Duitama - Boyacá,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.duitama-boyaca.gov.co/apc-aa-files/62653261643164376130336162613534/diagnostico-de-situacion-de-salud-2011.2012.pdf>. [Último acceso: 17 Enero 2016].
- [6] Google, CNES / Astrium, «Ubicación Vereda La Trinidad,» Duitama, 2014.
- [7] Boyacá Digital, «Red de redes,» Diciembre 2009. [En línea]. Available: http://viejo.telecentros.org.co/apc-aa-files/bbbaf93985ec601a3c599829fabe1ac1/Caracterizaci_n_la_trinidad.pdf. [Último acceso: 12 Enero 2016].
- [8] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM, «Promedios Climatológicos 1981 - 2010».
- [9] Alcaldía Municipal de Duitama Boyacá, «Sistema de Documentación E Información Municipal,» 2002. [En línea]. Available: http://cdim.esap.edu.co/BancoConocimiento/D/duitama_-_boyaca_-_pot_-_2001_-_2010/duitama_-_boyaca_-_pot_-_2001_-_2010.asp. [Último acceso: 2016 Febrero 28].
- [10] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, «Tablas Poblacionales de Duitama,» 2005. [En línea]. Available: <http://duitama-boyaca.gov.co/apc->

aa-files/62653261643164376130336162613534/tablas-de-informacion-poblacional-2014.pdf. [Último acceso: 15 Febrero 2016].

- [11] Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P, «EBSA,» Empresa de Energía de Boyacá E.S.P, [En línea]. Available: <http://www.ebsa.com.co/nue/his/SitePages/Inicio.aspx>. [Último acceso: 11 02 2016].
- [12] Secretaria de Salud de Duitama, «Gobernación de Boyacá,» 2014. [En línea]. Available: http://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud_Publica/Ano_2014/AGUA_CONSUMO_HUMANO/MAPAS%20DE%20RIESGO%20DE%20LA%20CALIDAD%20DE%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO%20DE%20LA%20VEREDA%20LA%20TRINIDAD%20Y%20LA%20VEREDA%20TOCOGUA%20MUNICIPIO%20DE%20. [Último acceso: 15 Enero 2016].
- [13] Alcaldía de Duitama, «Alcaldía de Duitama - Boyacá,» 11 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://www.duitama-boyaca.gov.co/turismo.shtml>. [Último acceso: 15 Enero 2016].
- [14] Alcaldía de Duitama - Boyacá, «Alcaldía de Duitama - Boyacá,» ESE Salud Tundama, 21 Enero 2016. [En línea]. Available: http://www.duitama-boyaca.gov.co/Entidades_descentralizadas.shtml?apc=lbxx-1-&x=2997417. [Último acceso: 18 Febrero 2016].
- [15] Departamento Nacional de Planeación, «Minvivienda,» 3 Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810%20-%202014.pdf>. [Último acceso: 28 Febrero 2016].
- [16] C. Useche Melo, «Banco Interoamericano de Desarrollo,» Enero 2012. [En línea]. Available: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36662445>. [Último acceso: 28 Febrero 2016].
- [17] Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, «Minvivienda,» Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 13 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/normativa-agua/leyes>. [Último acceso: 13 Abril 2016].
- [18] D. Rios, Riesgos biológicos y subproductos de la desinfección en el agua de bebida, Panamericana, 2006, p. 201.
- [19] Organización Mundial de la Salud, «Organización Mundial de la Salud,» OMS, 2016. [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/. [Último acceso: 26 Marzo 2016].

- [20] «La Importancia del Agua como influye en los seres vivos,» 2005. [En línea]. Available: <http://importanciadelagua.biz/importancia-del-agua-para-el-ser-humano/>. [Último acceso: 26 Marzo 2016].
- [21] Organización Mundial de la Salud, «Organizaicón Mundial de la Salud,» Noviembre 2004. [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/WSHFact-Spanish.pdf?ua=1. [Último acceso: 05 Abril 2016].
- [22] Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, «Sistema de Bibliotecas SENA,» 1999. [En línea]. Available: http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/17651/operacion_potabilizacion/pdf/OPERACION%20Y%20MANTENIMIENTO%20DE%20PLANTAS.pdf. [Último acceso: 08 Abril 2016].
- [23] J. M. Jiménez Terán, «civilgeeks,» Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>. [Último acceso: 26 Marzo 2016].
- [24] Y. Andía Cárdenas, «Sedapal,» Abril 2000. [En línea]. Available: <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2016].
- [25] Arqhys, «Arqhys,» [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/articulos/sedimentacion.html>. [Último acceso: 24 Marzo 2016].
- [26] Organización Panamericana de la Salud, «Oganización Panamerica de la Salud,» [En línea]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/tres.pdf>. [Último acceso: 21 Marzo 2016].
- [27] H. G. Manrique Ramirez y M. S. Roa Ramirez, 2014. [En línea]. Available: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2686/1/7232279.pdf>. [Último acceso: 24 Marzo 2016].
- [28] Empresa Pública de Medellín, «EPM,» 2009. [En línea]. Available: https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf. [Último acceso: 17 Marzo 2016].
- [29] Ministerio de Desarrollo Económico, «Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000,» de *Sistema de Potabilización*, Bogotá D.C, 2000.
- [30] Cámara de Comercio de Duitama, «Certificado de Inscripción al Registro de Entidades Sin Ánimo de Lucro,» Cámara de Comercio, Duitama, 2016.

- [31] J. Arboleda Valencia, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Bogotá D.C: Mc. Graw Hill, 2000.
- [32] J. A. Perez Parra, Manual de Potabilización del Agua, Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 1997.