

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA EL ACUEDUCTO
RURAL DEL CORREGIMIENTO DE SANTA ANA GUÁTICA PARA CONSUMO
HUMANO

Nathalia Castaño Valencia
1088304722

Yesica Alejandra Gil Correa
1089719995

Universidad tecnológica de Pereira
Facultad de tecnologías
Escuela de Química
Pereira 2016

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA EL ACUEDUCTO
RURAL DEL CORREGIMIENTO DE SANTA ANA GUÁTICA PARA CONSUMO
HUMANO

Nathalia Castaño Valencia
1088304722

Yesica Alejandra Gil Correa
1089719995

Trabajo para optar al título de Química Industrial

Director de tesis:
Ing. Alcira Socarras

Universidad tecnológica de Pereira
Facultad de tecnologías
Escuela de Química
Pereira 2016

NOTA DE ACEPTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

Estudio de alternativas de tratamiento para el acueducto rural del corregimiento de Santa Ana Guática para consumo humano

Presentado por:

Nathalia Castaño Valencia
Yesica Alejandra Gil Correa

Los suscritos director y jurado del presente trabajo de grado, una vez realizada la versión escrita, decidimos otorgar la nota de:

Con la connotación:

Para constancia firmamos en la ciudad de Pereira hoy:

Director:

Ing. ALCIRA SOCARRAS

Jurado:

Firma

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por sembrar sentimientos de paz y alimentar cada día de pensamientos bonitos para proyectar nuestra luz al mundo.

A nuestros padres, gracias infinitas por darle color a nuestra vida. Por confiar siempre en nosotras y ayudar a encontrar el camino y nuestra razón de ser.

A todos aquellos maravillosos seres que han compartido junto a nosotras sus enseñanzas y logros en estos años, así como quienes han estado para dar una voz de aliento en los momentos difíciles.

A la comunidad del corregimiento de Santa Ana por su disposición para trabajar con nosotros y abrirnos amablemente las puertas de sus casas.

A nuestra directora Alcira Socarrás por las enseñanzas propuestas, por el apoyo incondicional en este proceso de formación y su dedicación para con nuestro proyecto.

A Felipe Arcila codirector y evaluador del proyecto por la disponibilidad de tiempo, por compartir su experiencia y conocimiento para lograr los objetivos propuestos y por su paciencia y colaboración en este largo y provechoso camino.

A la vida por permitirnos llegar a este punto, fin de una etapa más pero comienzo de otra nueva que viviremos con mayor intensidad. Este logro ha sido posible gracias a la colaboración y el apoyo de muchas personas especiales, cuya buena disposición aportó un granito de arena en la realización y culminación de este proceso, el cual no habría sido lo mismo sin ellos, no habríamos gozado de tantos triunfos, alegrías y satisfacciones. Su presencia ha constituido el mayor aporte en esta etapa de nuestra vida, cuyos recuerdos perdurarán en nosotras como la savia en el árbol que crece fuerte y seguro.

Nathalia Castaño Valencia.

Yesica Alejandra Gil Correa.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
TABLA DE CONTENIDO	5
Pag.....	5
INDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE GRAFICAS	10
INDICE DE IMAGENES.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUCCIÓN.....	14
2 JUSTIFICACIÓN	16
3 OBJETIVOS.....	17
4 GENERALIDADES Y ANTECEDENTES	18
5 MARCO TEÓRICO	22
5.1 EL AGUA COMO RECURSO NATURAL.....	22
5.2 DERECHO HUMANO AL AGUA	23
5.3 AGUA POTABLE	23
5.4 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE	24
5.4.1 Características físicas	25
5.4.2 Características químicas.....	25
5.4.3 Características biológicas.....	26
5.5 CALIDAD DEL AGUA.....	27
5.5.1 Calidad microbiológica del agua	27
5.5.2 Calidad química del agua	28
5.6 TRATAMIENTOS DEL AGUA.....	29
5.6.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO	30
• Pretratamiento.....	30

• Tratamiento primario o tratamiento físico-químico.....	30
• Tratamiento secundario o tratamiento biológico.....	30
• Tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico.....	30
• Desinfección.....	31
5.6.2 TIPOS DE TRATAMIENTO.....	32
• Los componentes o impurezas a eliminar:	32
• Parámetros de calidad:	32
• Grado de tratamiento:	32
5.6.3 MÉTODOS DE DESINFECCIÓN.....	33
5.7 MARCO LEGAL Y CONSTITUCIONAL	38
5.7.1 Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007.....	38
5.7.2 Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000).....	40
5.7.3 NTC- ISO 813	40
6 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	41
6.1 Recolección y análisis de información	41
6.2 Etapa experimental.....	42
6.2.1 Identificación de técnicas Físicoquímicas y microbiológicas a analizar	42
6.2.2 Preparación de muestreo	42
6.2.3 Toma de muestras (Recolección).....	43
6.2.4 Análisis físico-químicos	44
6.2.5 Análisis microbiológicos.....	46
6.3 Análisis de datos	46
6.4 Tratamiento estadístico de los datos.....	46
6.4.1 Análisis de riesgos	47
6.4.2 Calificación del agua.....	47
6.5 Formulación de alternativa de tratamiento.....	47
7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
7.1 Determinación pH.....	48
7.2 Color.....	49
7.3 Determinación conductividad.....	51

7.4	Turbidez	53
7.5	Determinación de alcalinidad	55
7.6	Acidez.....	57
7.7	Determinación dureza	58
7.8	Determinación de Sulfatos.....	60
7.9	Determinación de Nitratos (Método espectrométrico ultravioleta selectivo).....	61
7.10	Determinación de Nitritos (Método colorimétrico)	62
7.11	Determinación de Fosfatos (Método del ácido ascórbico).....	64
7.12	Sólidos totales.....	65
7.13	Análisis de metales pesados.	67
7.13.1	Determinación Cadmio	67
7.13.2	Determinación Plomo	69
7.13.3	Determinación de Cobre	71
7.13.4	Determinación Magnesio.....	72
7.13.5	Determinación Zinc	73
7.13.6	Determinación Hierro	74
7.13.7	Determinación Cromo.....	75
7.14	Demanda de Cloro y Cloro residual	76
7.15	Resultados microbiológicos	77
7.15.1	Filtración por membrana	77
8	CALIFICACIÓN AGUA CORREGIMIENTO DE SANTA ANA GUÁTICA	81
9	ANALISIS IRCA DEL AGUA ANALIZADA	82
10	ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO.....	84
10.1	Sistema multichorro.....	85
10.2	Electrocoagulador	86
10.3	Sistema de adsorción filtro carbón activado	86
10.4	Dosificador de cloro	87
10.4.1	Determinación del Cloro a dosificar.....	87
10.4.2	Preparación de la soluciones de los productos no gaseosos – Por dilución.....	88
10.4.3	Instalación de dosificación.....	88

10.4.4	Ubicación del dosificador de cloro en el sistema de abastecimiento de agua	89
10.5	ALTERNATIVA I	89
10.6	ALTERNATIVA II	89
10.7	Recomendaciones	90
11	CONCLUSIONES	90
12	BIBLIOGRAFIA	92
13	ANEXOS	95

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Indicadores de la calidad del agua. (Organización mundial de la salud, 2004) (Chávez de Allain A. M., 2012)	27
Tabla 2. Calidad y tratamiento del Agua. (Andía, 2000)	32
Tabla 3. Grado de tratamiento del agua para su potabilización. (Andía, 2000)	32
Tabla 4. Procesos unitarios correspondientes al grado de tratamiento para el agua. (Andía, 2000)	33
Tabla 5. Características Físicas del agua para consumo humano. (Social, 2007).....	38
Tabla 6. Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. (Social, 2007)	39
Tabla 7. Características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud humana. (Social, 2007).....	39
Tabla 8. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.	40
Tabla 9. Características microbiológicas. (Social, 2007)	40
Tabla 10. Puntos de muestreo en el estudio.	44
Tabla 19. Resultados dureza del agua.	58
Tabla 20. Resultados de Sulfatos en agua.	60
Tabla 21. Resultados determinación de Nitratos.	61
Tabla 22. Resultados Nitritos en agua.....	63
Tabla 23. Resultados Fosfatos en agua.....	64
Tabla 24. Resultados Sólidos Totales.	66
Tabla 25. Resultados determinación de Cadmio.	68
Tabla 26. Resultados determinación de Plomo.....	70
Tabla 27. Resultados determinación de Cobre.....	71
Tabla 28. Resultados determinación de Magnesio.	72
Tabla 29. Resultados determinación de Zinc.	73
Tabla 30. Resultados determinación de Hierro.....	74
Tabla 31. Resultados determinación de Cromo.....	75
Tabla 32. Resultados demanda de Cloro y Cloro residual.....	76
Tabla 33. Resultados calidad microbiológica del agua empleando el método de filtración por membrana.....	77
Tabla 34. Análisis cualitativo para coliformes fecales.....	78
Tabla 35. Resultados calidad del agua método de número más probable.....	79
Tabla 36. Calificación del agua analizada.....	81
Tabla 37. Promedio del IRCA por muestra.....	82
Tabla 38. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA.....	83
Tabla 39. Alternativa de tratamiento I.....	89
Tabla 40. Alternativa de tratamiento II.....	89

INDICE DE GRAFICAS

	Pag.
Gráfica 1. Carta de control para la determinación del pH.....	49
Gráfica 2. Tendencia resultados color aparente.	51
Gráfica 3. Resultados obtenidos para la conductividad.	52
Gráfica 4. Tendencia parámetro de turbidez.	54
Gráfica 5. Resultados obtenidos alcalinidad.....	56
Gráfica 6. Tendencia parámetro de acidez.	57
Gráfica 7. Resultados obtenidos dureza	59
Gráfica 8. Concentración/ Absorbancia Nitratos	62
Gráfica 9. Concentración/ Absorbancia Nitritos	63
Gráfica 10. Concentración/ Absorbancia Fosfatos	65
Gráfica 11. Tendencia Sólidos Totales.....	66
Gráfica 12. Determinación de coliformes FM.....	77
Gráfica 13. Determinación de coliformes fecales FM.....	77
Gráfica 14. Determinación de microorganismos por método de NMP	79

INDICE DE IMAGENES

	Pag
Imagen 1. Ubicación del municipio de Guática.	18
Imagen 2. Corregimiento de Santa Ana.	20
Imagen 3. Tanques de captación vereda la Unión.	20
Imagen 4. Vista panorámica del de Santa Ana y veredas Cercanas.	21
Imagen 5. Tanque de captación corregimiento de Santa Ana.....	21
Imagen 6. Esquema coagulación, Floculación, decantación y espesamiento de lodos....	31
Imagen 7. Puntos de muestreo.....	43
Imagen 8. Recipientes toma de muestra.....	44
Imagen 9. Plano sistema abastecimiento actual Santa Ana.	84
Imagen 10. Plano sistema abastecimiento propuesto Santa Ana.....	85
Imagen 11. Sistema dosificador de cloro.	88

RESUMEN

Con la finalidad de gestionar una solución sobre la afectación del recurso hídrico que se presenta en el corregimiento de Santa Ana, municipio Guática se realizó un trabajo de investigación aplicada que incluyó el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua que se está consumiendo en el corregimiento por parte de los habitantes, para generar una evaluación sobre las condiciones de calidad de la misma. De esta manera se propone una alternativa de tratamiento para el acueducto, que garantice un método de potabilización para minimizar el impacto que el agua sin ser tratada genera en la salud.

Se desarrollaron nueve muestreos, donde se recolectaron muestras aleatorias de agua cruda en diferentes puntos del nacimiento La Cristalina durante un periodo de cuatro meses, las muestras se tomaron de forma puntual, en tiempo de sequía y lluvia, y su recolección se basó en la metodología brindada por el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). Además se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos, los cuales posteriormente se compararon con la resolución 2115 del 2007 Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, generando de esta manera una calificación sobre las condiciones de calidad del agua donde se encontró que existen falencias en los siguientes parámetros: Acidez, color, nitritos, presencia de metales pesados como Cadmio, además de microorganismos patógenos.

Los resultados obtenidos permitieron definir que los parámetros de mayor afectación con el recurso hídrico son los microbiológicos y los metales pesados. Por lo cual se plantean como alternativa de tratamiento la implementación de un tratamiento tipo A1 (Tratamiento físico simple + Desinfección), garantizando el cumplimiento de parámetros fisicoquímicos legales establecidos para el agua potable.

ABSTRACT

In order to manage a solution on the affectation of water resources is presented in the district of Santa Ana, municipality Guática applied research work which included the analysis of chemical and microbiological parameters of water is being consumed in the village was carried out by the inhabitants, to generate an assessment of the quality conditions thereof. Thus an alternative treatment for the pipeline, ensuring a purification method to minimize the impact of water without treatment generate health is proposed.

Nine samples were developed, where random samples of raw water were collected in different parts of Birth La Cristalina for a period of four months, samples were taken in a timely manner, in times of drought and rain, and his collection was based on the methodology provided by the institute of hydrology, meteorology and environmental studies (IHMEE). Further statistical analysis of the data was carried out, which is then compared with the resolution 2115 of 2007 by means of which characteristics, basic tools and frequency control and monitoring system for water quality for human consumption listed, thereby generating a score plenty of water quality conditions where it was found that there are shortcomings in the following parameters: acidity, color, nitrites, heavy metals such as cadmium, as well as pathogens.

The results allowed us to define the parameters most affected by water resources are microbiological and heavy metals. Therefore they arise as a treatment alternative implementation of a treatment type A1 (simple physical treatment + disinfection), ensuring compliance with legal physicochemical parameters for drinking water.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, es tan importante conocer la calidad del agua para el consumo humano, como lo puede ser para el riego de cultivos, el uso industrial en calderas, la fabricación de productos farmacéuticos, la expedición de licencias ambientales, el diseño y la ejecución de programas de monitoreo en las evaluaciones ambientales, para regular y optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, entre muchos otros fines.

En síntesis, una determinada fuente de agua puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular y al mismo tiempo, no ser apta para otro. Puesto que no existe un tipo de agua que satisfaga los requerimientos de calidad para cualquier uso concebible ni tampoco “un criterio único de calidad para cualquier fin”. En la actualidad es más frecuente que el concepto de Calidad de Aguas, se halle ligado a una utilidad o aplicación perfectamente establecida. (Alberto, Sierra, Enrique, & Bertel, 2013)

La calidad del agua tratada como se indica en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 (Titulo C- Sistemas de potabilización), el agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua potable debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998, expedido por el Ministerio de Salud, donde la calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

Enmarcando dentro del anterior decreto, para obtener los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable, se emplean variedad de métodos o tratamiento de potabilización lo cual hace referencia a un conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con la finalidad de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, y de esta manera hacerla apta para el consumo, logrando un valor aceptable o establecido para la concentración de un componente o sustancia que garantice que el agua consumida por una comunidad no representa riesgos para la salud. (Presidente de la republica de colombia, 1998)

En Colombia aun es alto el índice de afectación de muchas comunidades con respecto al recurso hídrico. En el corregimiento de Santa Ana, municipio Guática, existe hoy en día dificultades en cuanto a la calidad del agua que se proporciona a la comunidad debido a que esta no cumple con los requisitos fisicoquímicos

establecidos para el agua potable, es por esta razón que durante el año 2013 se presentaron 1.161 casos de enfermedades infecciosas y parasitarias que han traído consigo implicaciones sobre la salud de la población promedio de 15.102 habitantes, con un rango alrededor de 0,67%-3,69% de enfermedades por diagnóstico médico en todo el municipio. (Hospital Guática, 2013)

Esta situación ha llevado a desarrollar la presente investigación sobre la afectación del recurso hídrico en el corregimiento de Santa Ana, Guática. Evaluando la importancia de tratar las aguas crudas, de tal manera que su consumo cumpla con las normas y criterios para considerar el agua apta. Por lo tanto se desarrolló un análisis de parámetros tanto fisicoquímicos como microbiológicos para calificar la calidad del agua según la resolución 2115 del 2007, por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua potable.

Todo lo anterior con la finalidad de plantear una alternativa de tratamiento de agua y un costo de inversión aproximado, que cumpla con los criterios definidos por las autoridades sanitarias y de esta manera minimizar el impacto que el agua sin ser tratada puede generar en la salud.

2 JUSTIFICACIÓN

Los tratamientos de potabilización del agua como la desinfección, cloración, sedimentación, coagulación, filtración, aireación, entre otras, tienen como objetivo principal variar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua para garantizarla apta al consumo humano. Es por esto que el agua no debe contener ningún tipo de microorganismos patógenos, parásitos o sustancias, en una cantidad o concentración que pueda suponer un nivel de riesgo para la salud de la comunidad que se beneficia de dicho servicio. (Social, 2007)

En la actualidad, son muchas las personas que se encuentran expuestas al consumo de agua sin previo tratamiento de potabilización, sobre todo las comunidades con acueductos rurales. Cifras del DANE demuestran que mientras la cobertura del servicio de acueducto en la zona urbana es del 96%, para la zona rural es apenas del 56.3%. (El tiempo, 2015). Dejando claro que los acueductos rurales no cuentan con la infraestructura y los recursos económicos para cumplir con las condiciones básicas de potabilización, incumpliendo de esta manera con los requisitos de calidad legales establecidos y trayendo consigo una variedad de contaminantes como plaguicidas debido a la manipulación de los cultivos aledaños, además de metales pesados, bacterias, hongos, dureza, color y olor desagradable que incrementan los niveles de afectación en la salud de la comunidad.

Es por lo anterior que este estudio de investigación se enfocó hacia la búsqueda de alternativas de tratamiento de potabilización de agua para el corregimiento de Santa Ana, municipio Guática. Mediante la realización de análisis desde el punto de vista de estándares físicos, microbiológicos y químicos del agua consumida por los habitantes del corregimiento, garantizando la obtención de parámetros dentro del rango establecido por la legislación para el agua potable y el reglamento técnico de saneamiento básico (RAS 2000). Minimizando de esta manera el impacto que el agua sin ser tratada puede generar en la salud de las personas, además se busca incrementar el desarrollo económico en cuanto a la producción y el enriquecimiento de cultivos agrícolas, aumentando así mismo el desarrollo social creando conciencia en la comunidad con respecto a la importancia de cuidar el agua.

La investigación se llevó a cabo como proyecto de grado y como objetivo principal de gestionar una alternativa de tratamiento de agua que dé solución a las necesidades que aqueja a la comunidad de Santa Ana y sus veredas cercanas.

3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Presentar una alternativa de tratamiento para el acueducto rural del corregimiento de Santa Ana que garantice la obtención de los parámetros fisicoquímicos legales establecidos para agua potable y consumo humano con la mínima inversión posible.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Prever por medio de la variable estadística aleatoria las fechas de recolección de muestras de agua cruda en el corregimiento de Santa Ana, durante un periodo de cuatro meses empleando la herramienta Excel.
- Analizar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al agua del acueducto rural de Santa Ana con el fin de evaluar las condiciones de calidad con ésta que llega a cada una de los beneficiarios.
- Efectuar el análisis por estadística descriptiva con el propósito de recolectar, ordenar, analizar y representar los datos recolectadas para posteriormente comparar los resultados con la normatividad vigente sobre la calidad de agua para consumo humano. (Social, 2007) (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000) (ICONTEC, 2014)
- Proponer una alternativa de tratamiento de agua del acueducto rural del corregimiento de Santa Ana.

4 GENERALIDADES Y ANTECEDENTES

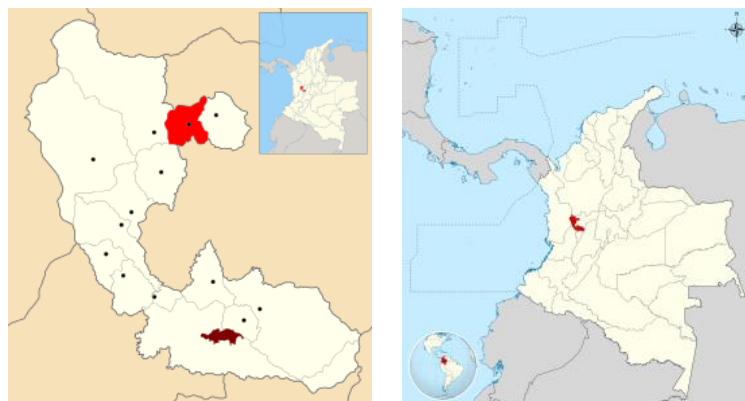


Imagen N° 1. Ubicación del municipio de Guática.

Guática es un municipio del departamento de Risaralda en Colombia, se encuentra a una distancia de 93 km norte de la capital departamental Pereira, sus territorios son montañosos, haciendo parte de la Cordillera Occidental (Imagen 1), su cabecera municipal presenta una altura aproximada de 1820 m.s.n.m., y está ubicado a los 5° 18´ de latitud norte y 78° 48´ de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Fue fundada en el año de 1537 por indígenas bajo el mando del cacique Guática, nativos de la familia Anserma, pertenecientes a la rama de los caribes.

El municipio de Guática, ocupa un área de 103.55 km², de los cuales 0.697n km² son ocupados por el área urbana. Está conformado por tres corregimientos: Travesías, San Clemente y Santa Ana. (Arias Hoyos Luz Mary, 2012)

Por el norte limita con el municipio de Riosucio (Departamento de Caldas), por el sur con el municipio de Belén de Umbría (Departamento de Risaralda) y Anserma (Departamento de Caldas), por el oriente con el municipio de Quinchía (Departamento de Risaralda), por el occidente con el municipio de Mistrató (Departamento de Risaralda).

Presenta variedad de climas debido a su topografía; distribuyendo sus pisos térmicos en medio 57 km² y frío 40 km², su temperatura media es de 20°C.

Sus suelos están regados por las aguas de los ríos Guática, Opiramá y del Oro, además por varias corrientes que surcan por quebradas y cursos menores.

El río Guática es su principal fuente hidrográfica, nace en el sector del Alto San Vicente en el departamento de Antioquia, desciende en pequeños rápidos, interrumpidos por largos remansos hasta encontrar su desembocadura en el río Risaralda.

Entre sus principales afluentes tiene: Río Frio, quebrada Castellón, Río del Oro, Opiramá, Tarqui, El Salado, Ocharma, La mesa, Sirva, El Jordán, Agua Bonita, El Caucho, La Carmela, Paraíso, Los Chorros, Cristalina, Albarán, Guaravita, La Esperanza. (Alcaldía de Guática - Risaralda, 2015)

Guática cuenta con una gran abundancia hídrica que brota de su alta densidad boscosa sentada en 99,97 Kilómetros cuadrados de área rural, esta abundancia hídrica es una potencialidad que tiene el municipio en pro del desarrollo, necesidad vital que requiere la comunidad Guatiqueña para el mejoramiento de la calidad de vida. (Jaramillo, 2015). Ya que esta no cuenta con un tratamiento de potabilización, lo cual conlleva a la existencia de dificultades en cuanto a la calidad del agua que se proporciona a la comunidad, debido a que ésta no cumple con los requisitos fisicoquímicos establecidos para agua potable y consumo humano, trayendo consigo enfermedades que tienen implicaciones sobre la salud de la población.

El agua nace en la Cristalina, un parque natural ubicado en la vereda la Unión. El agua llega a unos tanques principales de reserva ubicados en la misma vereda donde se lleva el cabo el proceso de sedimentación (Imagen 3), y posteriormente desde acá se divide para las diferentes veredas las cuales se benefician de este servicio: Las Lomas, Ospirma alto y bajo, El Silencio, El Poblado, Sandimas y el corregimiento de Santa Ana (Imagen N°4).

Las familias que cuentan con este servicio son en total 427, sumando así una población de 2135 personas, las cuales están expuestas a consumir un agua que no cuenta con las condiciones adecuadas para su consumo, solo en el tanque de captación que llega a Santa Ana se realiza una cloración cada 48 horas (Imagen N°5), la cual tiene una proporción de 20 L de cloro por cada 500 L de agua con el fin de eliminar microorganismos, pero en las demás veredas no se ejecuta este mismo proceso. La razón por la cual no se hace la cloración en las veredas es porque el material de las tuberías existentes es de hierro galvanizado, la cual tiene un recubrimiento de zinc; éste reacciona con el cloro formando cloruro de zinc el cual es soluble en agua impidiendo que la desinfección del agua no se dé, haciendo que el proceso no sea óptimo. (Carder, Ambientales, & Biofísicos, n.d.). Además de las necesidades y problemas anteriores se presenta otro inconveniente, la cercanía de los tanques principales de reserva a cultivos de plátano, cebolla, caña y café, los cuales son fumigados y tratados con diferentes fertilizantes que pueden llegar al agua por corrientes de viento o por los mismos habitantes de la vereda, los cuales emplean esta agua para la fumigación ocasionando de ésta manera la contaminación con plaguicidas o diferentes químicos que van a llegar a cada una de las viviendas que se benefician y pueden causar efectos a la salud a corto y largo plazo.

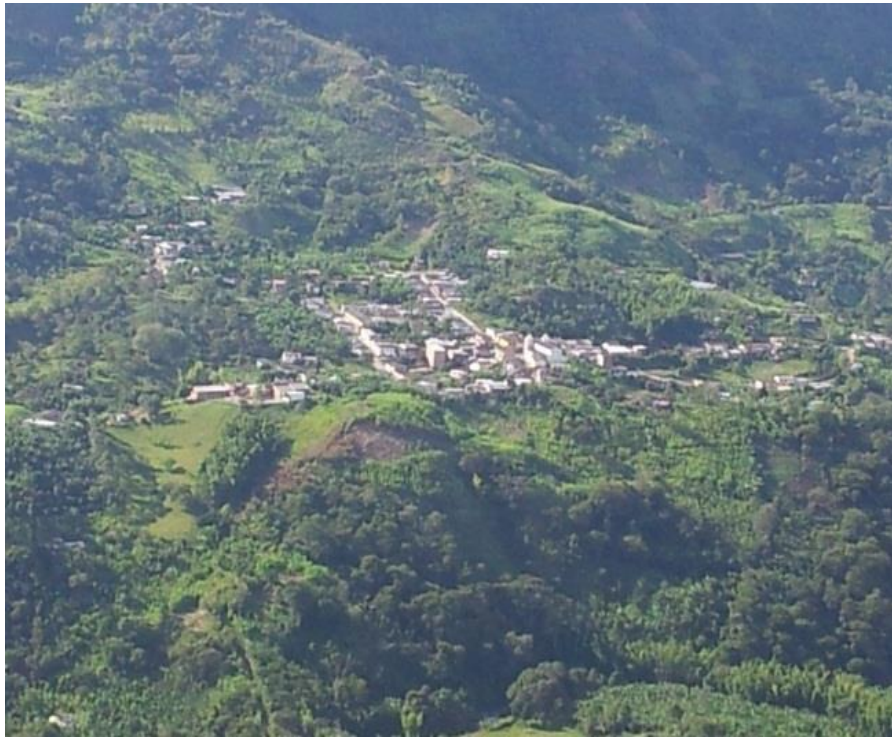


Imagen N° 2. Corregimiento de Santa Ana.



Imagen N° 3. Tanques de captación vereda la Unión.



Imagen N° 4. Vista panorámica del de Santa Ana y veredas Cercanas.



Imagen N° 5. Tanque de captación corregimiento de Santa Ana.

5 MARCO TEÓRICO

El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad, una de las mayores preocupaciones en la historia ha sido el procurarse agua lo más pura y limpia posible. (Orbe Dávila, 2013)

En la actualidad se pueden observar una variedad de técnicas usadas para el tratamiento de agua, con el fin de hacer de esta un agua apta para el consumo humano, pero de acuerdo con las estadísticas, el 45% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable, mil millones de personas están sin acceso al servicio, dos mil quinientos millones no cuentan con servicio de purificación y en los países desarrollados los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que en los países llamados en vías de desarrollo. (Romero, 2008)

Hoy en día tanto el consumo del agua como sus características es un tema que ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general a muchos habitantes del planeta, obligando a reiterar nuevamente una llamada a la moderación de consumo por parte de la población a nivel mundial y creando la necesidad de implementar tecnologías de tratamiento de agua para el consumo humano.

5.1 EL AGUA COMO RECURSO NATURAL

El agua es uno de los cuatro recursos naturales básicos en que se apoya el desarrollo, es el compuesto químico más abundante sobre la tierra y es indispensable para el desarrollo de la vida. El agua contiene sustancias químicas y biológicas disueltas desde el momento que se condensa en forma de lluvia, además el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores corriendo sobre la superficie del suelo y filtrándose a través del mismo. (Ing, Orellana, N^o, & Cuentas, 2005)

El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no sea útil, sino nociva, y de calidad deficiente. La evaluación de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas; sin embargo hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda. El valor que ha cobrado la calidad del agua ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan la contaminación de ella están: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor, actividades

que pueden ser perjudicial para ciertos procesos industriales, y al mismo tiempo perfectamente idóneo para otros. (Ing et al., 2005)

Es por esto que hoy en día se hace referencia a la palabra agua contaminada cuando a ésta se le ven alteradas sus propiedades físicas, químicas y biológicas y/o su composición. El agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. (Romero, 2008)

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada se han ideado mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación dependiendo al tipo de actividad a la cual va a ser destinada la misma, con el fin de asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina y controlando de esta manera parámetros físicos, químicos y biológicos los cuales permiten la caracterización y determinación de la calidad del agua que se suministra a la población.

5.2 DERECHO HUMANO AL AGUA

El agua ha estado siempre presente en todas las actividades del hombre, como protagonista principal de su desarrollo y del recorrido hacia la civilización, condicionando su propia supervivencia; esto ha llevado a idear y desarrollar las más diferentes formas de aprovechamiento. La escasez del recurso, la dificultad de acceder al mismo y la mala calidad van de la mano de la pobreza y de las enfermedades.

En la Declaración de los Derechos del Hombre de 1948 se establece que toda persona tiene derecho a un nivel de vida suficiente para asegurar su salud, su bienestar y el de su familia, lo que sin lugar a dudas incluye el derecho humano al agua.

El agua no puede considerarse únicamente como un bien económico. También es un bien social y cultural indispensable para la garantía de otros derechos como la salud, la alimentación y el medio ambiente sano. (Defensoría del Pueblo, 2011)

5.3 AGUA POTABLE

El agua no es otra cosa que dos moléculas de hidrógeno con una molécula de oxígeno. Se trata de uno de los elementos más esenciales para la salud, tanto del planeta, como de los animales que lo pueblan, y que resulta fundamental en la supervivencia del ser humano.

El agua forma parte del 70 % del peso del cuerpo humano, significa que debe estar libre de microorganismos patógenos, de minerales y sustancias orgánicas

que puedan producir efectos fisiológicos adversos. Debe ser estéticamente aceptable y, por lo tanto, debe estar exenta de turbidez, color, olor y sabor desagradable. Puede ser ingerida o utilizada en el procesamiento de alimentos en cualquier cantidad, sin temor por efectos adversos sobre la salud. (Borchardt and Walton, 1971)

Según el Art. 982 CAA (modificado por Resolución 494/94). Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. ("Análisis físico - químico y bacteriológico de aguas," 1971)

Además, el agua tiene que cumplir con los parámetros establecidos en la Resolución Colombiana 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema del control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, además de los siguientes requisitos para considerarse como agua potable:

- No debe contener sustancias nocivas para la salud, es decir, carecer de contaminantes biológicos (microbios o gérmenes patógenos), químicos tóxicos (orgánicos o inorgánicos) y radiactivos.
- Poseer una proporción determinada de gases y de sales inorgánicas disueltas.
- Ser incolora o translúcida, inodora y de sabor agradable.

Las zonas rurales con insuficientes recursos sanitarios, energéticos, culturales y económicos resultan las regiones más afectadas por el consumo directo del agua contaminada, se hace imprescindible elegir alternativas de tratamiento que garanticen la obtención de buenos resultados para la salud con la mínima inversión posible. (Standard Methods, 1995)

5.4 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

De acuerdo al uso que se le dará al agua, son los requisitos de calidad de la misma. Por lo común la calidad se juzga como el grado en el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por normas nacionales e internacionales. Es importante conocer los requisitos de calidad para cada uso a fin de determinar si se requiere tratamiento y qué procesos se deben aplicar para

alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad también se usan para vigilar los procesos de tratamiento y corregirlos de ser necesario. (Ing et al., 2005)

5.4.1 Características Físicas

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismos se hacen con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana.

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de cloro platino que produce un color similar al que presenta el agua.

La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las fuentes de agua superficial varían desde 10 hasta 1.000 unidades de turbidez, y los ríos muy opacos pueden llegar a 10.000 unidades. Las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba. Los resultados se comparan luego con los que se obtienen de una suspensión estándar. (Ing et al., 2005)

5.4.2 Características Químicas

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Por ejemplo el hierro y el manganeso en pequeñas cantidades no solo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso dentro de las tuberías de agua.

Las aguas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y también forma incrustaciones en tuberías de agua caliente y calderas.

A continuación se exponen algunos de los elementos químicos que se encuentran en el agua natural y que producen alcalinidad, dureza y salinidad y se divide en cuatro grupos:

Grupo 1: Producen solo alcalinidad

- Carbonato de Potasio - K_2CO_3
- Bicarbonato de Potasio - $KHCO_3$
- Bicarbonato de Sodio - $NaHCO_3$
- Carbonato de Sodio - Na_2CO_3

Grupo 2: Producen dureza carbonatada y alcalinidad

- Carbonato de Calcio - $CaCO_3$
- Carbonato de Magnesio - $MgCO_3$
- Bicarbonato de Calcio – $Ca(HCO_3)_2$
- Bicarbonato de Magnesio – $Mg(HCO_3)_2$

Grupo 3: Producen salinidad y dureza no carbonatada

- Sulfato de Calcio – $CaSO_4$
- Cloruro de Calcio – $CaCl_2$
- Nitrato de Calcio – $Ca(NO_3)_2$
- Sulfato de Magnesio – $MgSO_4$
- Cloruro de Magnesio – $MgCl_2$
- Nitrato de Magnesio – $Mg(NO_3)_2$

Grupo 4: Producen salinidad, pero no dureza

- Sulfato de Potasio – K_2SO_4
- Cloruro de Potasio – KCl
- Nitrato de Potasio – KNO_3
- Sulfato de Sodio – Na_2SO_4
- Cloruro de Sodio – $NaCl$
- Nitrato de Sodio – $NaNO_3$

5.4.3 Características biológicas

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces.

El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma manera los crustáceos se incrementan y por lo tanto los peces de idéntica manera.

5.5 CALIDAD DEL AGUA

El agua posee unas características variables que la hacen diferente de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga, estas características se pueden medir y clasificar de acuerdo a características físicas, químicas y biológicas del agua. Éstas últimas son las que determinan la calidad de la misma y hacen que ésta sea apropiada para un uso determinado. (Caminati, Alessandra María, Caqui, 2013)

En la Tabla 1 se puede apreciar los principales parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar la calidad del agua.

Parámetros	Descripción
Parámetros físicos	Sólidos o residuos, turbiedad, color, olor y sabor, temperatura.
Parámetros químicos	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros, dureza, pH, sodio, sulfatos.
Parámetros biológicos	Algas, bacterias (Coliformes termotolerantes y coliformes totales), recuento heterotrófico, protozoos, virus y helmintos patógenos.

Tabla 1. Indicadores de la calidad del agua.
(Organización mundial de la salud, 2004) (Chávez de Allain A. M., 2012)

5.5.1 Calidad microbiológica del agua

La verificación de la calidad microbiológica del agua por lo general incluye sólo análisis microbiológicos. Dichos análisis son de suma importancia, ya que el riesgo para la salud más común y extendido asociado al agua de consumo es la contaminación microbiana. Así pues, el agua destinada al consumo humano no

debería contener microorganismos indicadores. (Organización mundial de la salud, 2004)

En la mayoría de los casos, conllevará el análisis de microorganismos indicadores de contaminación fecal, pero también puede incluir, en algunas circunstancias, la determinación de las concentraciones de patógenos específicos. (Alvarado Espejo, 2013)

Para determinar la contaminación fecal, generalmente se usa como indicador la presencia de *Escherichia coli*. A su vez, el análisis de la presencia de bacterias coliformes termotolerantes puede ser una alternativa aceptable en muchos casos.

Por otro lado, los virus y protozoos entéricos son más resistentes a la desinfección. Por ello, muchas veces lo más recomendable es que además de la prueba de los coliformes fecales, se realice un análisis de microorganismos más resistentes, como bacteriófagos o esporas bacterianas para determinar la concentración de patógenos específicos. (Ponce Ochoa, 2005)

La inocuidad del agua de consumo no depende únicamente de la contaminación fecal. Algunos microorganismos proliferan en las redes de distribución de agua (por ejemplo, *Legionella*), mientras que otros se encuentran en las aguas de origen (el *Dracunculo*, *Dracunculus medinensis*) y pueden ocasionar epidemias. Es importante resaltar que no solo el consumo del agua contaminada puede traer problemas a la salud, sino también el contacto con la misma o la inhalación de gotículas de agua (aerosoles).

Algunos de los agentes patógenos cuya transmisión por agua de consumo contaminada es conocida producen enfermedades graves que en ocasiones pueden ser mortales, algunas de estas enfermedades son la fiebre tifoidea, el cólera, la hepatitis infecciosa y las enfermedades causadas por *Shigella* spp. Y por *Escherichia coli*. Otras enfermedades conllevan típicamente desenlaces menos graves, como la diarrea de resolución espontánea. (Orbe Dávila, 2013)

5.5.2 Calidad química del agua

La mayoría de los productos químicos sólo constituyen un peligro en la salud de las personas cuando su presencia ocurre en el agua de manera prolongada; mientras que otros pueden producir efectos peligrosos tras múltiples exposiciones en un periodo corto. (Organización mundial de la salud, 2004)

Se debe tener muy en cuenta que no todas las sustancias químicas de las cuales se han establecido valores de referencia están presentes en un mismo sistema de abastecimiento, cada uno de estos es único y depende del origen y distribución del agua fuente. Lo mismo sucede a la inversa, para algunos lugares existirán

parámetros característicos del agua fuente propia del lugar, pero que no se contemplan en las normas. Por otro lado, en algunos casos se han fijado valores de referencia provisionales para contaminantes de los que se dispone de información sujeta a cierta incertidumbre o cuando no es posible, en la práctica, reducir la concentración hasta los niveles de referencia calculados. (Orbe Dávila, 2013)

Existe una gran cantidad de parámetros químicos los cuales determinan la calidad del agua, sin embargo, son pocas las sustancias de las que se haya comprobado que causan efectos nocivos sobre la salud humana como consecuencia de la exposición a cantidades excesivas de las mismas en el agua de consumo, tales como fluoruro, el arsénico, el nitrato y el plomo. (Ponce Ochoa, 2005)

5.6 TRATAMIENTOS DEL AGUA

Desde mediados del siglo XX se ha producido un gran desarrollo en el campo del tratamiento de aguas y una creciente comprensión de nuevos efectos sobre la salud. Garantizar en el agua bajos niveles de compuestos orgánicos, libres de coliformes y de baja turbidez ya no es suficiente (Rigola, 1990). Nuevas informaciones relativas a contaminantes orgánicos e inorgánicos, como la identificación en los suministros de agua de nuevos grupos de microorganismos patógenos (Ing et al., 2005) y contaminantes (Cadmio, Plomo, Fertilizantes), la identificación en el agua de agentes cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos como los trihalometanos y los ácidos haloacéticos, son parámetros que aquejan a los investigadores.

El tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, la potabilización del agua suele consistir en la eliminación de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.

Con el tratamiento de agua no solo se consigue evitar que se viertan contaminantes al medio, sino que también logra reducir el consumo de agua potable, al utilizar repetidamente la misma agua.

5.6.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO

Una planta de tratamiento de agua incluye en su mayoría las siguientes etapas: (ver imagen 6)

- **Pretratamiento**

Este paso lo que se pretende es remover los sólidos grandes y arenosos que por ser abrasivos pueden deteriorar los equipos mecánicos del tratamiento propiamente dicho. Para ello se utilizan rejillas o parrillas, tamices y desarenadores. En algunos casos, dependiendo del tipo de afluente, se utilizan trituradores para remover más fácilmente los sólidos grandes de éste.

- **Tratamiento primario o tratamiento físico-químico**

En este primer tratamiento se busca eliminar la mayor cantidad posible de materia suspendida que no haya sido retenida en el proceso previo. Esto por medios físicos complementados con medios químicos.

Las operaciones unitarias normalmente utilizadas son la sedimentación, flotación, floculación y neutralización.

- **Tratamiento secundario o tratamiento biológico**

Hay compuestos que no se pueden eliminar en el primer tratamiento físico como es el componente biológico, que es más difícil de aislar. Así pues, en este tratamiento se busca eliminar la contaminación orgánica disuelta mediante una sedimentación secundaria.

- **Tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico**

En este tratamiento se eliminan contaminantes orgánicos no biodegradables (compuestos sintéticos) y nutrientes minerales como los fosfatos, nitritos y nitratos. Estos compuestos nitrogenados deben ser removidos en casos especiales según lo establezca el permiso de descarga de la planta de tratamiento, por lo que su implantación no es requisito general en todas las plantas.

Entre los métodos de tratamiento terciario están: la osmosis inversa, que elimina casi todas las sales y solutos de bajo peso molecular, la nitrificación, que elimina el nitrógeno mediante la acción de microorganismos bacterianos, y el intercambiador iónico, el cual permite extraer disolventes sólidos del agua y remover la dureza de la misma, reemplazando el calcio y magnesio del agua por otro ión sodio.

- **Desinfección**

El objetivo en esta última etapa es matar bacterias enteropatógenas y virus que no fueron eliminados en las etapas previas de tratamiento. Por lo general, el agua pasa por filtros que adsorben o eliminan bacterias, asegurando la buena calidad después del tratamiento. Así pues, se recomienda el uso de lámparas UV y la dosificación con cloro.

Los equipos y el proceso que se decida para la planta de tratamiento debe ser tal que, según sea el uso que se le vaya a dar al agua tratada, la calidad de la misma cumpla con la norma bajo gestión.

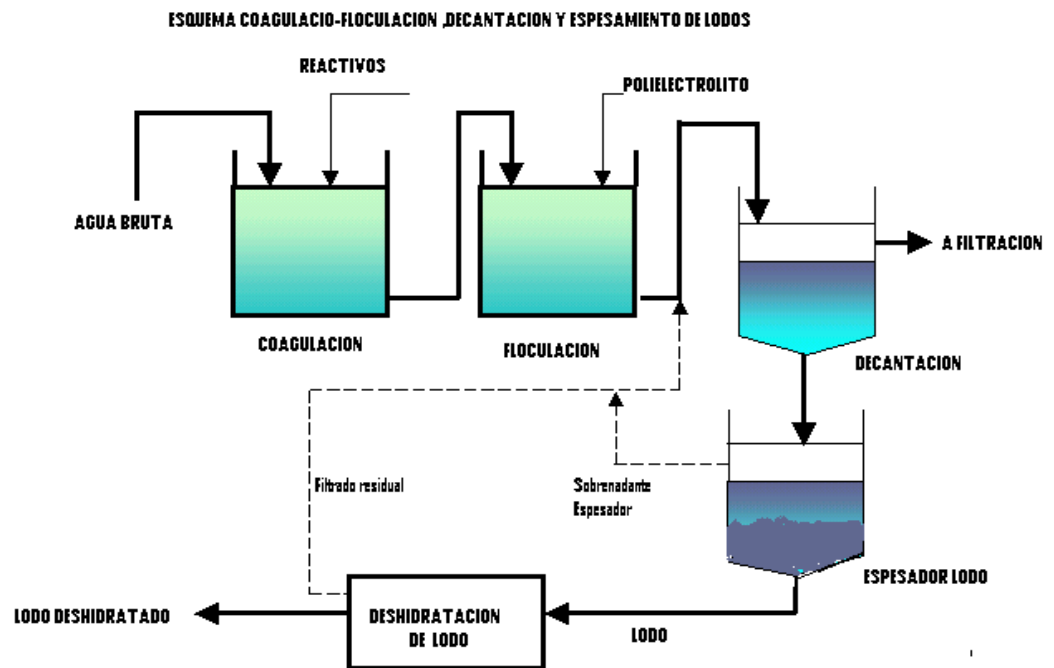


Imagen 6. Esquema coagulación, Floculación, decantación y espesamiento de lodos. (Rigola, 1990)

5.6.2 TIPOS DE TRATAMIENTO

Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con:

- **Los componentes o impurezas a eliminar:**

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

Tabla 2. Calidad y tratamiento del Agua. (Andía, 2000)

- **Parámetros de calidad:**

Las aguas superficiales destinadas al consumo humano se clasifican según el grado de tratamiento al que se deben someter para su potabilización, en los grupos siguientes:

GRUPO	TRATAMIENTO
TIPO A1	Tratamiento físico simple y desinfección
TIPO A2	Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección
TIPO A3	Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección

Tabla 3. Grado de tratamiento del agua para su potabilización. (Andía, 2000)

- **Grado de tratamiento:**

Los procesos unitarios que corresponde a cada grado de tratamiento serán los siguientes:

GRUPO	TRATAMIENTO	OPERACIÓN
TIPO A1	Tratamiento Físico simple	Filtración rápida + Desinfección
TIPO A2	Tratamiento Físico normal	Precloración + Tratamiento Químico + Coagulación/ Floculación + Decantación + Filtración + Desinfección
TIPO A3	Tratamiento Físico y Cloración al Breakpoint	Químicos intensos + Coagulación / Floculación + Decantación + Filtración + Afino con Carbón activo + Desinfección

Tabla 4. Procesos unitarios correspondientes al grado de tratamiento para el agua.
(Andía, 2000)

5.6.3 MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

- **FISICOS:**

Material particulado

- Rejillas
- Mallas
- Desarenadores
- Desbastadores
- Cribas que removerán las partículas visibles

Filtración convencional

Los procesos convencionales de filtración están precedidos por coagulación, floculación y sedimentación. Sin embargo, puede ser que el agua se someta a filtración directamente después de la coagulación y floculación y que los flóculos sean removidos directamente por los filtros. La filtración es una combinación de procesos químicos y físicos. La filtración mecánica remueve las partículas suspendidas porque las atrapa entre los granos del medio filtrante (por ejemplo, arena). La adhesión juega un papel importante dado que parte del material suspendido se adherirá a la superficie de los granos filtrantes o a material previamente depositado. (Vargas, Rojas Juan Carlos, 2008)

Existen diversos sistemas de filtración, como son: filtros lentos de arena, filtros de tierras diatomáceas, filtros directos, filtros empacados, filtros de membrana y filtros de cartuchos.

- Filtros de arena

Los filtros consisten de camas de arena fina de un metro de grosor sobre una cama de grava de 30 cm de altura y un sistema de drenado. En el caso de los filtros lentos de arena, también son importantes los procesos biológicos, ya que los filtros forman una película delgada de microorganismos quienes atrapan y destruyen algas, bacterias y materia orgánica, incluso antes de que el agua llegue a los filtros propiamente dichos. (Ascencio, leal Teresa, 2008)

- Filtros de tierras diatomáceas

Los filtros de tierras diatomáceas o filtros de diatomitas forman una capa de medio centímetro de altura en un filtro puesto a presión o al vacío. Este filtro es muy adecuado cuando el agua presenta conteos bajos de bacterias y poca turbiedad.

Cuando se cuenta con filtros directos, el agua es procesada directamente de la fuente con coagulantes para aumentar la retención de material, pero no incluye una etapa de sedimentación. En ese caso, la remoción de virus puede llegar a ser de 90 a 99%. Este proceso se usa a presión para mantener la presión en la línea y evitar el rebombeo después de la filtración. (Ascencio, leal Teresa, 2008)

- Filtros empacados

Los filtros empacados contienen todas las etapas de la filtración montadas en una unidad: adición de reactivos, floculación, sedimentación y filtración. Se utiliza mucho para tratar agua superficial para la remoción de turbiedad, color y organismos coliformes.

- Filtros de carbón activado

Los filtros de carbón activado son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. El carbón activado tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del mismo.

Ultrasonido

En los últimos años ha sido comprobado que el ultrasonido es una efectiva técnica para la desinfección de agua, toda vez que es capaz de producir lisis en las células y otro tipo de deterioro en la membrana , alteraciones en el ADN, y un

número grande de cambios funcionales y bioquímicos. El proceso de desinfección con ondas ultrasónicas general un aumento en la transferencia de radicales libres como el OH-, O- etc., del agua hacia las células, produciéndose un deterioro de ellas por la acción oxidante de dichos radicales y finalmente la desinfección. (Ascencio, leal Teresa, 2008)

Luz solar

La luz solar es un desinfectante natural, principalmente como agente desecante. El proceso ha sido llamado SODIS, siglas en ingles de desinfección solar y ha sido probado con éxito para un amplio rango de microorganismos incluyendo bacterias, esporas de hongos, quistes, protozoos, entre otros. El proceso convencional adecuado de activación es exponer el agua en depósitos transparentes a la luz solar durante un periodo de 3-8 horas con una radiación disponible de 500 W/m². Esta tecnología es útil para volúmenes pequeños de hasta 1,5 L, sin embargo este tipo de desinfección está limitada para su posible aplicación con altos volúmenes de agua y patógenos más resistentes. (Vargas, Rojas Juan Carlos, 2008)

Radiación ultravioleta (UV)

La aplicación de la radiación ultravioleta en agua potable como proceso de desinfección en principio se vio obstaculizada por los altos costos, pero estos han disminuido drásticamente, así como su mantenimiento, mejorando su competitividad a la vez que se descubrió que la oxidación de la materia orgánica por parte de los desinfectantes más populares producía subproductos no deseados. (Vargas, Rojas Juan Carlos, 2008)

Membranas

La filtración por membrana es una tecnología de separación selectiva de dos fases que en este caso serían líquido- sólido. Una membrana es una película delgada de origen orgánico o inorgánico, la cual puede causar una separación selectiva entre un fluido y un componente permitiendo el paso de algunos y reteniendo otros. (Andía, 2000)

La producción de agua potable usando tecnologías de membrana es una excelente alternativa frente a las técnicas convencionales de tratamiento. Los procesos de membrana que más han interesado en el tratamiento de aguas son la ósmosis inversa (OI), nanofiltración (NF), Ultrafiltración (UF), y la microfiltración (MF). Estos procesos son capaces de eliminar diferentes materiales dependiendo de factores tales como el tamaño de partícula, el tamaño medio del poro de la membrana, la naturaleza química de los materiales a eliminar, materiales de la membrana, entre otros, a continuación se enumeran las técnicas con el tamaño de poro utilizado:

- Microfiltración de poro de 0.03 a 10 micrómetros (MF)
- Ultrafiltración de poro de 0.002 a 0.1 micrómetros (Corte de peso molecular: 1000-10,000)
- Nanofiltración de poro menor a 0.001 micrómetros (Corte de peso molecular: 200-300)
- Ósmosis inversa o hiperfiltración con poro menor a 0.001 micrómetros

- **QUIMICOS:**

- **Clarificación o coagulación química**

El tratamiento basado en la coagulación química es el método más común de tratamiento de aguas superficiales, éste se hace con la finalidad de retirar los sólidos suspendidos. Consiste en agregar coagulantes, habitualmente sales de aluminio o de hierro, en condiciones controladas para reducir la carga de iones y así acumular partículas con formas más grandes llamadas flóculos, los cuales debido a su tamaño son más fáciles de filtrar. (Water Treatment and Purification - Lenntech, 2012). La eficiencia del proceso de coagulación es función de la calidad del agua bruta, del coagulante o aditivos de coagulación utilizados y de factores operativos, como las condiciones de mezclado, la dosis de coagulación y el pH. El flóculo se retira del agua tratada mediante procesos posteriores de separación de sólidos y líquidos como la sedimentación o flotación, la filtración rápida por gravedad o a presión, o una combinación de métodos”.

- **Desionizar y ablandar**

El proceso de ablandamiento del agua tiene como principal finalidad disminuir la dureza de la misma. De igual manera, puede utilizarse para eliminar determinados metales pesados. El intercambio de iones es un proceso en el que se permutan iones con la misma carga entre la fase acuosa y una fase sólida de resina. El agua se hace pasar por un lecho de resina catiónica en el que los iones de calcio y de magnesio del agua se sustituyen por iones de sodio. Cuando la resina de intercambio iónico está agotada (es decir, se han agotado los iones de sodio), se regenera mediante una solución de cloruro sódico. El intercambio de aniones puede utilizarse para eliminar contaminantes como los iones nitrato, que se intercambian por iones cloruro mediante resinas específicas para nitrato.

- **Desinfección**

Es un proceso mediante el cual se mata a los microorganismos patógenos presentes en el agua, para esto se utilizan desinfectantes llamados biocidas. Hay muchas maneras de realizar la desinfección, entre ellas tenemos algunas naturales, mediante las cuales se dejan morir progresivamente las bacterias ya sea por acción de la luz del sol, la sedimentación, etc. (Water Treatment and Purification - Lenntech, 2012), (UDLAP BIBLIOTECAS, 2005).

Desinfección con ozono

El ozono es un desinfectante químico con una elevada capacidad oxidativa que sobrepasa a la del cloro libre o combinado. Es un oxidante potente y posee múltiples usos en el tratamiento del agua, incluida la oxidación de sustancias orgánicas. Así pues, mata a las bacterias e inactiva los virus, quistes, hongos, toxinas, algas y protozoos, y otros microorganismos que no son sensibles a la desinfección con cloro.

Debido a su gran poder oxidativo, el ozono además de desinfectante se utiliza en la oxidación de metales pesados, como el hierro y manganeso, para remover materia orgánica, sean naturales como ácidos de humectación, o sintéticos como fenoles, pesticidas y detergentes. Asimismo, oxida materia inorgánica como cianuros, sulfuros y nitritos; elimina sales pesadas, olores, colores y sabores. También inhibe el crecimiento de hongos y algas, y reduce la turbiedad.

Desinfección con cloro

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa también como oxidante y puede eliminar o ayudar a eliminar algunas sustancias químicas; por ejemplo, puede descomponer los plaguicidas fácilmente oxidables, puede oxidar especies disueltas y formar productos insolubles que pueden eliminarse mediante una filtración posterior.

Los desinfectantes basados en cloro son los únicos con las propiedades residuales duraderas que previenen el recrecimiento microbiano y proporcionan protección continua. Esta propiedad es muy importante en los sistemas tradicionales de potabilización de agua (plantas municipales), ya que la presencia de éste mantendría la higiene del agua de la salida de la planta de tratamiento a la llave del consumidor.

La cloración puede realizarse mediante gas cloro licuado, solución de hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico, o mediante generadores de cloro in situ.

El cloro, en cualquiera de estas formas, se disuelve en el agua y forma ión hipoclorito (ClO-) y ácido hipocloroso (HClO).

5.7 MARCO LEGAL Y CONSTITUCIONAL

Dada la vital importancia del agua de consumo humano para la salud pública, se hace necesario establecer a escala nacional los criterios de calidad de las aguas de consumo humano. Dichos criterios son los que deben cumplir las aguas de consumo humano y las instalaciones que permiten su suministro desde la captación hasta el grifo del consumidor y el control de las mismas, garantizando su salubridad, calidad y limpieza con el fin de proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de éstas.

A continuación se presenta la normatividad vigente en Colombia para la calidad del agua que se consume

5.7.1 Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007

Mediante la cual los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, establecen las características de calidad del agua para consumo humano, se disponen para todo el territorio colombiano, por lo que se deben acatar en todo sistema de abastecimiento de agua potable. Conforme al decreto, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua apta para el consumo humano son:

El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan en la tabla 5.

Características	Expresadas en	Valor admisible
Color Aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)	2
Conductividad	microsiemens/cm	≤ 1000
Potencial de hidrógeno	pH	6,5-9,0.

Tabla 5. Características físicas del agua para consumo humano. (Social, 2007)

Elementos, compuestos químicos y mezcla de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0.02
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.7
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0.05
Cobre	Cu	1.0
Cromo Total	Cr	0.05
Mercurio	Hg	0.001
Níquel	Ni	0.02
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01

Tabla 6. Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. (Social, 2007)

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor admisible (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0.2
Dureza Total	CaCO ₃	300
Hierro Total	Fe	0.3
Magnesio	Mg	36
Molibdeno	Mo	0.07
Manganeso	Mn	0.1
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ⁻³	0.5

Tabla 7. Características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud humana. (Social, 2007)

Elementos, compuestos químicos y mezcla de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono orgánico total	COT	5.0
Nitritos	NO ₂ ⁻	0.1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Fluoruros	F ⁻	1.0

Tabla 8. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtación por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismos en 100 cm ³	0 microorganismos en 100 cm ³
Presencia- Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Tabla 9. Características microbiológicas. (Social, 2007)

5.7.2 Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000)

Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, reglamento sobre el cual trabajan los sistemas de acueducto.

5.7.3 NTC- ISO 813

Esta norma establece los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable.

6 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Con el propósito de alcanzar los objetivos propuestos establecidos en el presente trabajo y luego de desarrollar una inspección a la zona de estudios, se definió una metodología la cual se describe en los siguientes numerales:

6.1 Recolección y análisis de información

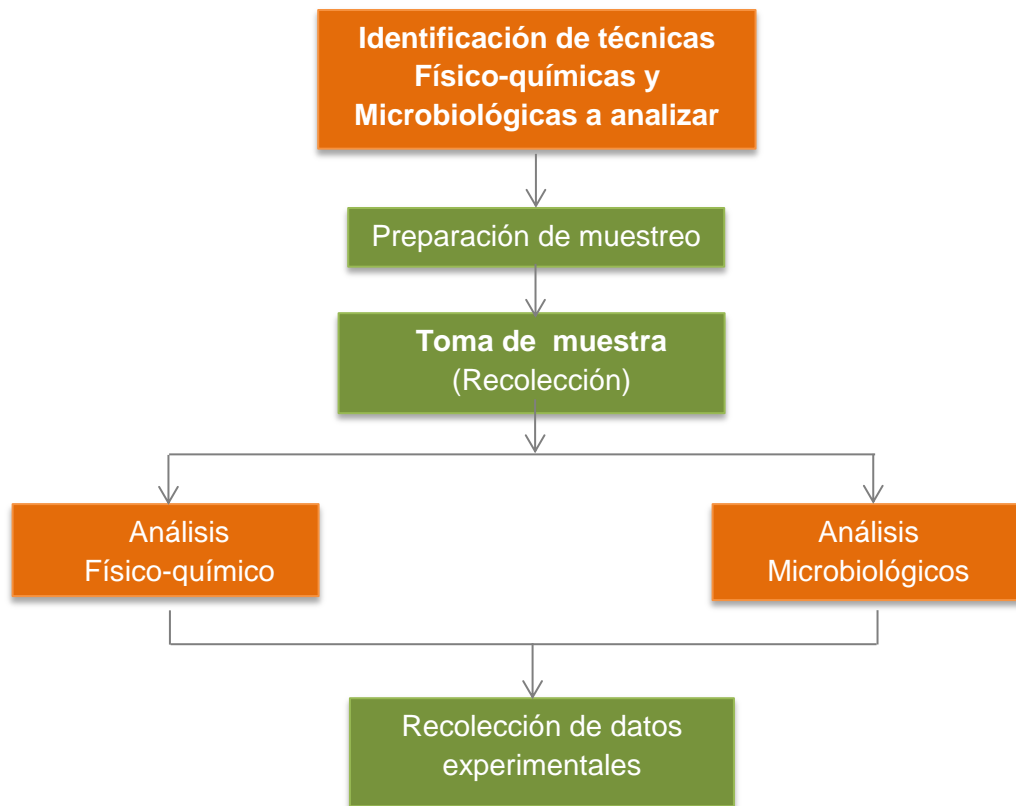
La recopilación, revisión y análisis de la información bibliográfica es una de las actividades principales desarrolladas en este proyecto, ya que de esta manera se obtuvo una caracterización de la zona de estudio en este caso el corregimiento de Santa Ana, municipio Guática.

Mediante la ubicación geográfica del corregimiento, se establecieron los puntos de muestreo con respecto al recurso hídrico, además se inspecciono el sistema de tratamiento de agua existente para establecer los parámetros que deberían ser controlados y de esta manera cumplir con el objetivo de calificar la calidad del agua potable de la cual está siendo abastecida la comunidad.

Se identificaron dos inconvenientes en cuanto al diseño de la planta como los tanques de captación existentes y el material de las tuberías con las que se cuentan.

Adicionalmente se realizaron consultas para la recopilación de información de aspecto histórico y técnico con respecto al personal encargado del tratamiento del agua, y se recibió el apoyo del hospital Santa Ana para obtener información acerca de las enfermedades más frecuentes que se detectan debido al déficit de agua de mala calidad.

6.2 Etapa experimental



6.2.1 Identificación de técnicas Físicoquímicas y microbiológicas a analizar

Se desarrolló una tipificación de la técnicas Físicoquímicas y Microbiológicas empleadas para el análisis de las muestras de agua recolectadas con el objetivo de evitar gran parte de los inconvenientes que se pudieron generar durante el desarrollo del proyecto, tales como frecuencia de muestreo, disponibilidad de materiales y equipos, entre otros.

6.2.2 Preparación de muestreo

Se establecieron los parámetros que se deben controlar durante la recolección de muestras de agua cruda en el corregimiento de Santa Ana Guática, tomando como referencias las metodologías establecidas por el Instituto Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), tales como la preservación de la muestra si el análisis presentará un tiempo de duración entre 24 a 72 horas, así como la conservación de los reactivos para el análisis de parámetros físicoquímicos y microbiológicos.

6.2.3 Toma de muestras (Recolección)

6.2.3.1 Frecuencia y puntos de muestreo:

Se recolectaron muestras aleatorias de agua cruda en diferentes puntos del nacimiento La Cristalina, ubicado en el corregimiento de Santa Ana Guática, durante un periodo de tres meses. Las fechas se establecieron empleando la herramienta de análisis de datos para muestreos aleatorios de Excel, con el propósito de realizar un análisis estadístico posterior, donde se compare la calidad del agua identificada con la resolución 2115 del 2007.



Imagen 7. Puntos de muestreo.

6.2.3.2 Toma de muestras:

Las muestras de agua cruda se tomaron de forma puntuales en la bocatoma, además se tomaron muestras en los hogares de la veredas para desarrollar una comparación con las muestras tomadas en la bocatoma, estas muestras fueron de varios puntos pero se mezcló en una sola muestra la cual se denoto como muestra compuesta; su recolección siguió los parámetros establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual suministra los conocimientos, los datos y la información ambiental que requiere el Ministerio del Medio Ambiente y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Durante el periodo experimental de toma de muestras, se recolectaron muestras en periodo de sequía y de lluvia, y se emplearon recipientes de plástico con un volumen de 10 L garantizando su homogenización antes de iniciar las pruebas

pertinentes, además se emplearon recipientes de vidrio previamente esterilizados para los análisis microbiológicos. En la siguiente tabla se observan las fechas de recolección de las muestras, el clima y el punto de muestreo.

FECHA	CLIMA	PUNTO DE MUESTREO
07-abr	LLUVIOSO	Bocatoma
20-abr	CALIDO	Bocatoma
27-abr	CALIDO	Muestra compuesta
04-may	CALIDO	Muestra compuesta
11-may	CALIDO	Muestra compuesta
18-may	LLUVIOSO	Muestra compuesta
25-may	CALIDO	Bocatoma
02-jun	LLUVIOSO	Muestra compuesta
08-jun	LLUVIOSO	Muestra compuesta

Tabla 10. Puntos de muestreo en el estudio.



Imagen 8. Recipientes toma de muestra.

6.2.3.3 Transporte, conservación y almacenamiento de muestras:

Las muestras recolectadas se almacenaron en los recipientes adecuados para su conservación, además se trasladaron al laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira para su análisis inmediato, cuando no se analizaron se refrigeraron a una temperatura de 4°C y se analizaron en un tiempo no superior a 24 horas. Para la conservación de algunas muestras de agua dependiendo del parámetro a analizar se utilizó el químico correspondiente como se denota en el anexo A.

6.2.4 Análisis físico-químicos

Continuación se presentan los diferentes métodos físico-químicos que se utilizaron para determinar las características tanto físicas como químicas de calidad del agua para consumo humano:

Parámetros Fisicoquímicos	Método	Código en el anexo A
pH	Electrométrico.	PFQ-pH
Color	Colorímetro	PFQ-COLOR
Conductividad eléctrica	Electrométrico de agua.	PFQ-CONDUCTIVIDAD
Turbidez	Nefelométrico.	PFQ-TURBIDEZ
Alcalinidad	Potenciométrico.	PFQ-ALCALINIDAD
Acidez	Titulométrico con Hidróxido de Sodio.	PFQ-ACIDEZ
Dureza	Volumetría con EDTA.	PFQ-DUREZA
Prueba de jarras (coagulación, floculación y decantación)	Se realizó como ayudante a manera de prueba piloto para determinar la dosis adecuada de coagulante que se debe aplicar en la planta de tratamiento.	PFQ-JARRAS
Demanda de cloro	Volumetría con Tiosulfato de sodio.	
Sólidos Totales	Secado 103. 105 °C	PFQ-SOLIDOS
Nitratos	Espectrométrico ultravioleta selectivo.	PFQ-NITRATOS
Nitritos	Espectrofotometría (Método colorimétrico).	PFQ-NITRITOS
Sulfatos	Nefelométrico.	PFQ-SULFATOS
Fosfatos	Espectrofotométrico con ácido ascórbico.	PFQ-FOSTATOS
Metales pesados	Espectrofotómetro de absorción atómica.	PFQ-METALES
Cobre (Cu)	Método Neocuproína.	
Hierro (Fe)	Método Fenantrolina.	
Cadmio (Cd)	3113-B	
Plomo (Pb)	Método Ditizona.	
Cromo (Cr)	Método Colorimétrico.	
Zinc (Zn)	Método Zincon.	

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos analizados.
(IDEAM, 2014) (Arrubla, Juan Pablo, 2012) (Standard Methods, 1995)

6.2.5 Análisis Microbiológicos

Por medio del análisis microbiológico de las muestras de agua recolectadas, se examinó la presencia de microorganismos patógenos o la inexistencia de contaminación de origen fecal. A continuación se presentan las técnicas aceptadas por medio de las cuales se realizó el análisis microbiológico del agua para consumo humano.

Parámetros Microbiológicos	Método	Código del anexo A
<i>Escherichia coli</i>	Filtración por membrana en agar <i>MLGA</i> .	PMB-FILTRACIÓN
<i>Coliformes</i> totales		

Tabla 12. Parámetros microbiológicos analizados. (Standard Methods, 1995)

6.3 Análisis de datos



6.4 Tratamiento estadístico de los datos

Al finalizar el proceso de recolección de muestras y su posterior tratamiento microbiológico y fisicoquímico, se procede a realizar el análisis de todos los datos recopilados mediante estadística descriptiva, empleando la aplicación distribuida por Microsoft Office Excel, con la finalidad de obtener una tendencia de los datos

analizados y de esta manera determinar las condiciones de calidad del agua estudiada para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

6.4.1 Análisis de riesgos

Consecutivamente al tratamiento estadístico de los datos, se desarrolló un análisis de riesgo mediante el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000), realizando de esta manera un diagnóstico completo de las normas técnicas para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable, utilizando los datos estadísticos generados de la recopilación de muestras de agua cruda se identificaron los parámetros físico-químicos y microbiológicos que requieren ser controlados ya que no cumplen con la norma.

6.4.2 Calificación del agua

Posteriormente al análisis de datos y riesgos, se realizó una calificación y evaluación del rendimiento del proceso que se ejecuta actualmente para la potabilización del agua en la planta de tratamiento del corregimiento de Santa Ana, empleando como parámetro comparativo el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000.

6.5 Formulación de alternativa de tratamiento

Para finalizar el cumplimiento de objetivos, se desarrolla una verificación del porcentaje obtenidos sobre la calificación del agua con base al reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000, procediendo a plantear una alternativa de tratamiento para el acueducto rural del corregimiento de Santa Ana Guática, donde se garantiza la obtención de todos los parámetros tanto físicoquímicos como microbiológicos legales establecidos en Colombia para considerar el agua acta para el consumo humano.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

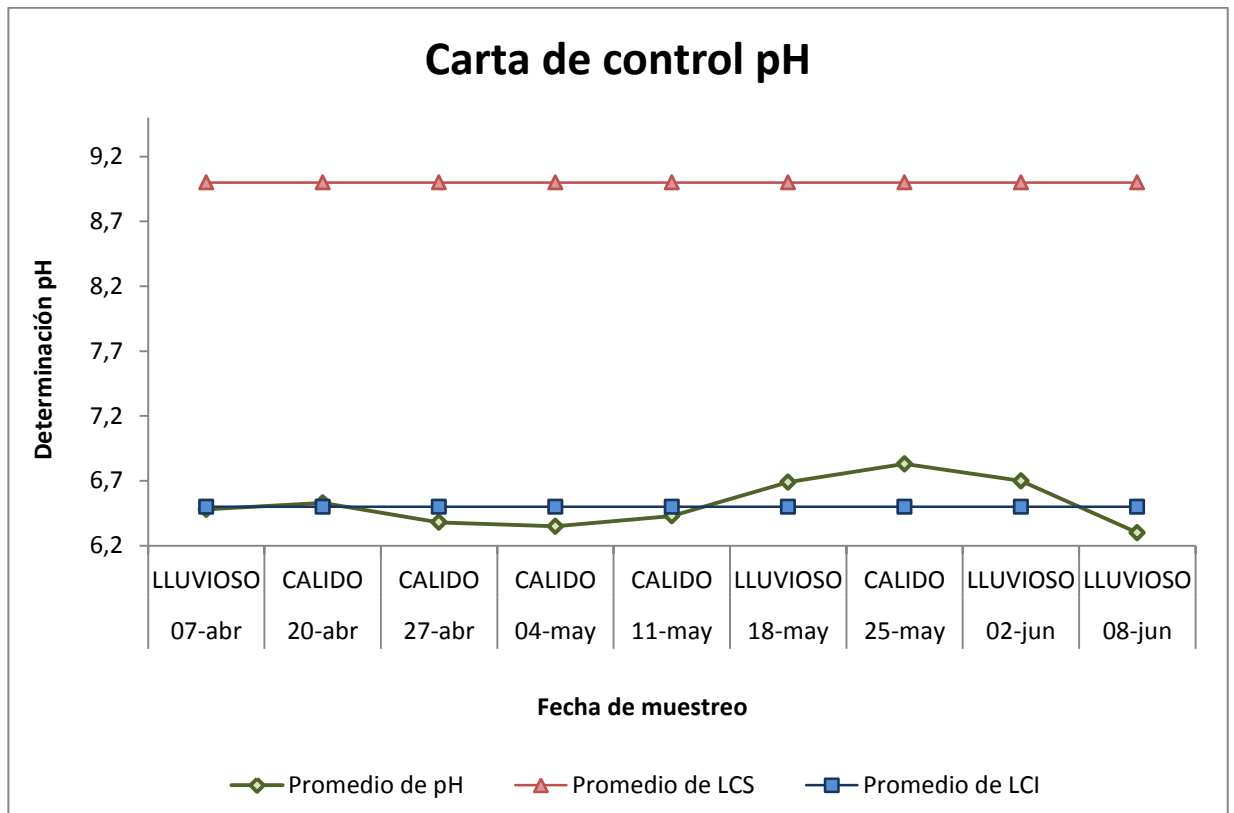
7.1 Determinación pH

El pH es un factor muy importante ya que este es un indicador de la acidez de una sustancia, además ciertos procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

En el estudio desarrollado se determinó el pH de diferentes muestras en un rango de tiempo y se presentó una clasificación de acuerdo a las fechas de muestreo según el clima, en la tabla 12 se encuentran los valores de pH obtenidos y su respectiva temperatura, además en la gráfica N°1 se observa el comportamiento de los mismos y se trazan dos límites tanto inferior como superior, de acuerdo al rango establecido en la resolución 2115 del 2007 para considerar el agua apta para el consumo humano, el rango correspondiente de pH es 6,5 – 9,0.

pH					
Valor máximo aceptable:			6.5-9.0		% Temperaturas
FECHA	CLIMA	pH	TEMPERATURA (°C)	Necesidad de tratamiento	
07-abr	LLUVIOSO	6,48	25,0	SI	22,5
20-abr	CALIDO	6,53	22,6	NO	
27-abr	CALIDO	6,38	21,6	SI	
04-may	CALIDO	6,35	22,6	SI	
11-may	CALIDO	6,43	22,7	SI	
18-may	LLUVIOSO	6,69	22,9	NO	
25-may	CALIDO	6,83	22,9	NO	
02-jun	LLUVIOSO	6,70	21,0	NO	
08-jun	LLUVIOSO	6,30	21,0	SI	

Tabla 13. Resultados pH y temperatura.



Gráfica 1. Carta de control para la determinación del pH.

En la gráfica 1 se observa el comportamiento de las muestras, analizando la tendencia que presentan hacia el límite inferior ya que todos los datos oscilan entre un rango de 6,0 a 6,8, concluyendo que el agua perteneciente al municipio de Santa Ana, Guática es neutra lo cual es beneficioso ya que cumple con el valor establecido por la normatividad y posiblemente facilita la dosificación de químicos para el tratamiento ya que a pH neutros las reacciones no presentan inconveniente con respecto a las interferencias que puedan existir en el agua.

7.2 Color

Las causas más comunes en el color del agua, se atribuye a la presencia de hierro y manganeso coloidales o en solución, el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces entre otras causas. Dos tipos de colores se reconocen en el agua: el color verdadero (Color de la muestra una vez removida la turbidez) y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El

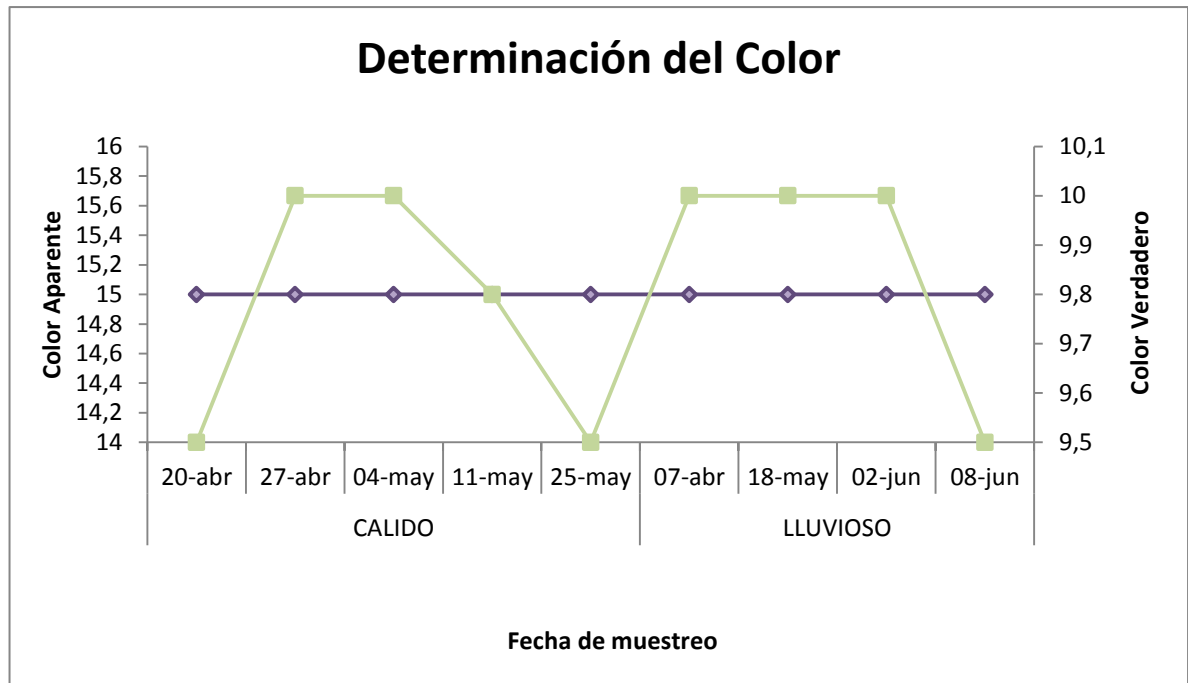
color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa.

La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

Para el análisis se determinó el color aparente del agua para las diferentes muestras tomadas, sin ningún tratamiento previo, posteriormente se desarrolló una filtración empleando carbón activado como medio filtrante, el cual fue caracterizado con la finalidad de saber las propiedades optimas del mismo en cuanto proyectar el tratamiento a nivel macro. Además se analizó de nuevo el color después de la filtración, así como su pH y se verifico que el color verdadero de las muestras se encontraba por debajo del valor máximo aceptable y de igual forma se verifico la disminución de color después del tratamiento físico.

COLOR					
Valor máximo aceptable (UPC) :			15	Necesidad de tratamiento color verdadero	Necesidad de tratamiento color aparente
FECHA	CLIMA	COLOR APARENTE	COLOR VERDADERO		
07-abr	LLUVIOSO	15	10	SI	NO
20-abr	CALIDO	15	9,5	SI	NO
27-abr	CALIDO	15	10	SI	NO
04-may	CALIDO	15	10	SI	NO
11-may	CALIDO	15	9,8	SI	NO
18-may	LLUVIOSO	15	10	SI	NO
25-may	CALIDO	15	9,5	SI	NO
02-jun	LLUVIOSO	15	10	SI	NO
08-jun	LLUVIOSO	15	9,5	SI	NO

Tabla 14. Resultados color aparente.



Gráfica 2. Tendencia resultados color aparente.

En la tabla 14 se observa la clasificación de las diferentes muestras analizadas con respecto a la variación climática, concluyendo que el color no es un parámetro que se vea afectado por las lluvias en este estudio, además se observa la disminución en cuanto a los valores reportados antes y después del tratamiento con respecto a la determinación del color, disminuyendo casi un 35% con respecto al color aparente calculado inicialmente.

También se verifica la necesidad de tratamiento tanto para el color verdadero como para el color aparente, observando que el valor obtenido de color aparentes es 15 y el valor máximo aceptable por la resolución 2115 del 2007 es el mismo, concluyendo que el valor obtenido si cumple con la normatividad, pero esto presenta un riesgo en cuanto al incremento que se pueda dar por las diferentes condiciones que hacen variar el color y por lo tanto se decide tratar la muestra con el propósito de disminuir este parámetro y mejorar el cumplimiento del mismo.

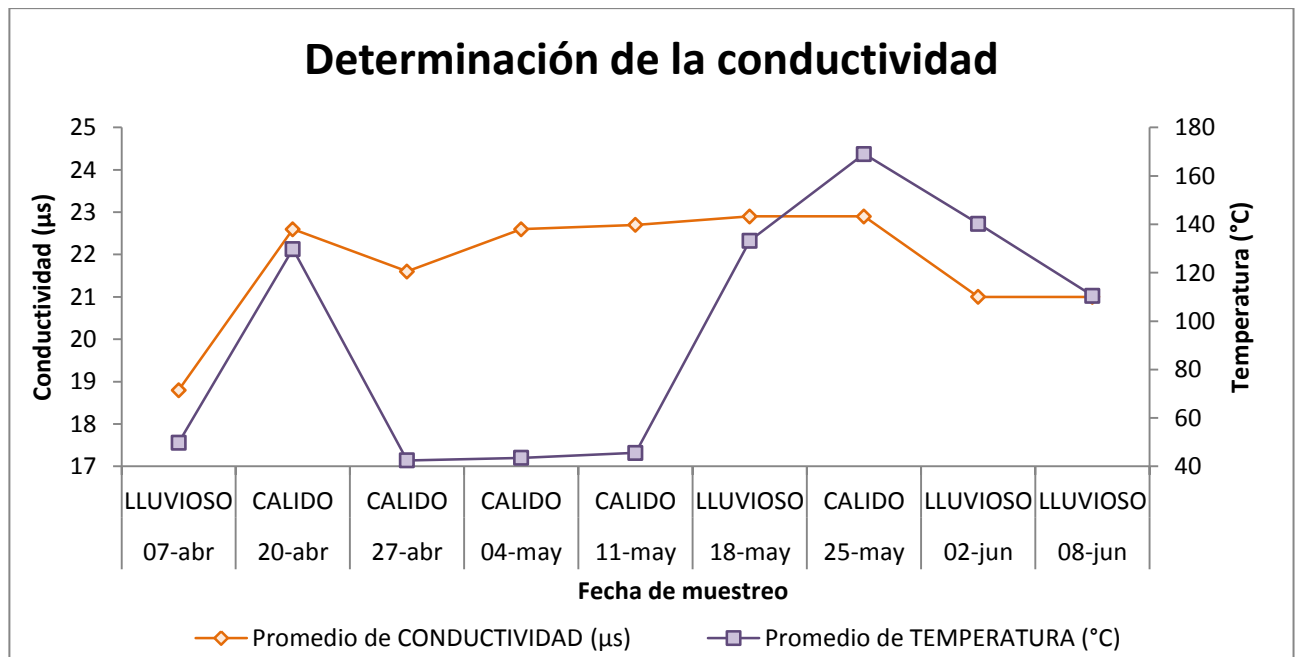
7.3 Determinación conductividad

La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un

cambio en la conductividad, Por ello el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

CONDUCTIVIDAD				
Valor máximo aceptable (μs):			50 - 1000	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	TEMPERATURA (°C)	CONDUCTIVIDAD (μs)	
07-abr	LLUVIOSO	49,82	18,8	NO
20-abr	CALIDO	129,80	22,6	NO
27-abr	CALIDO	42,50	21,6	NO
04-may	CALIDO	43,50	22,6	NO
11-may	CALIDO	45,60	22,7	NO
18-may	LLUVIOSO	133,20	22,9	NO
25-may	CALIDO	169,00	22,9	NO
02-jun	LLUVIOSO	140,20	21	NO
08-jun	LLUVIOSO	110,50	21	NO

Tabla 15. Resultados conductividad del agua.



Gráfica 3. Resultados obtenidos para la conductividad.

En la tabla 15 se observan los valores de conductividad pertenecientes a las nueve muestras analizadas durante el estudio, y la temperatura a la cual se desarrolló la medición, de igual forma se determinó la necesidad de tratamiento de las muestras según el valor estándar establecido en la resolución 2115 del 2007 el cual establece un rango de conductividad de 50 – 1000 (μs) y deja claro que un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitarias y ambientales competentes.

En la gráfica 3 se observa el comportamiento de los datos según la conductividad determinada, mostrando que estos oscilan entre los 18 y 23 (μs) y su comportamiento no tiene una variación drástica que indique incremento en los sólidos disueltos, además los valores determinados están por debajo del valor máximo establecido en la normatividad, haciendo que este parámetro sea conforme en el estudio y no necesite de un tratamiento, de igual manera da una idea de la cantidad de sólidos disueltos que se encuentran en la fuente de agua y se relaciona el resultado con el parámetro de sólidos totales determinados en el mismo estudio el cual determino un porcentaje de sólidos totales pequeño.

Con respecto al comportamiento de las temperaturas a la cual se desarrolló la medición, se observa que la relación conductividad temperatura no es de gran relevancia para el caso ya que la conductividad no tiende a tener valores atípicos cuando los cambios de temperatura son amplios, de igual forma se deja claro que para posteriores estudios se debe establecer la seguridad en cuanto a las condiciones de medición para que los datos tengan mayor nivel de confiabilidad.

7.4 Turbidez

La determinación de la turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

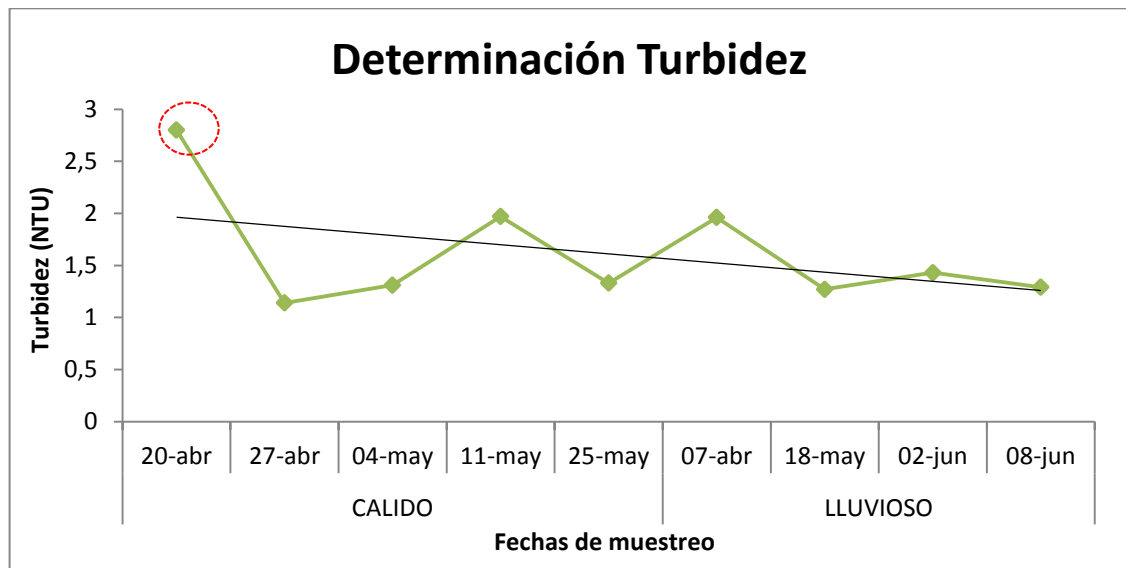
La turbidez en el agua es causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que pueden variar de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre muchos otros. Como es de saberse el material disuelto puede absorber o emitir luz, el tipo de emisión dependerá del tamaño de las partículas y su forma, así como la longitud de onda de luz incidente. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

Para este análisis se determinó la turbidez por método nefelométrico y sus resultados son expresados en NTU, el método establece una comparación de la

intensidad de luz dispersa por la muestra con la intensidad de luz dispersa por una suspensión estándar de referencia, medidas bajo las mismas condiciones.

TURBIDEZ			
Valor máximo aceptable (NTU):		2	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	TURBIDEZ (NTU)	
07-abr	LLUVIOSO	1,96	NO
20-abr	CALIDO	2,80	SI
27-abr	CALIDO	1,14	NO
04-may	CALIDO	1,31	NO
11-may	CALIDO	1,97	NO
18-may	LLUVIOSO	1,27	NO
25-may	CALIDO	1,33	NO
02-jun	LLUVIOSO	1,43	NO
08-jun	LLUVIOSO	1,29	NO

Tabla 16. Resultados turbidez del agua.



Gráfica 4. Tendencia parámetro de turbidez.

En la tabla 16, se observan los resultados de turbidez obtenidos para el análisis, donde se clasifican las diferentes tomas de muestra según el clima y de esta forma se obtiene una calificación sobre la necesidad de tratamiento del agua con respecto al valor máximo aceptable establecido en la resolución 2115 del 2007 correspondiente a 2 NTU. Para las nueve muestras analizadas se obtiene que solo una de estas necesite tratamiento, con una desviación del valor determinado del 40% con respecto a la medida de turbidez estándar, lo que demuestra que a una

turbidez de 2.80 la intensidad de luz dispersada será mayor, dejando claro que la turbidez no es uno de los parámetros más relevantes que necesitan tratamiento para el agua del corregimiento de Santa Ana, Guática.

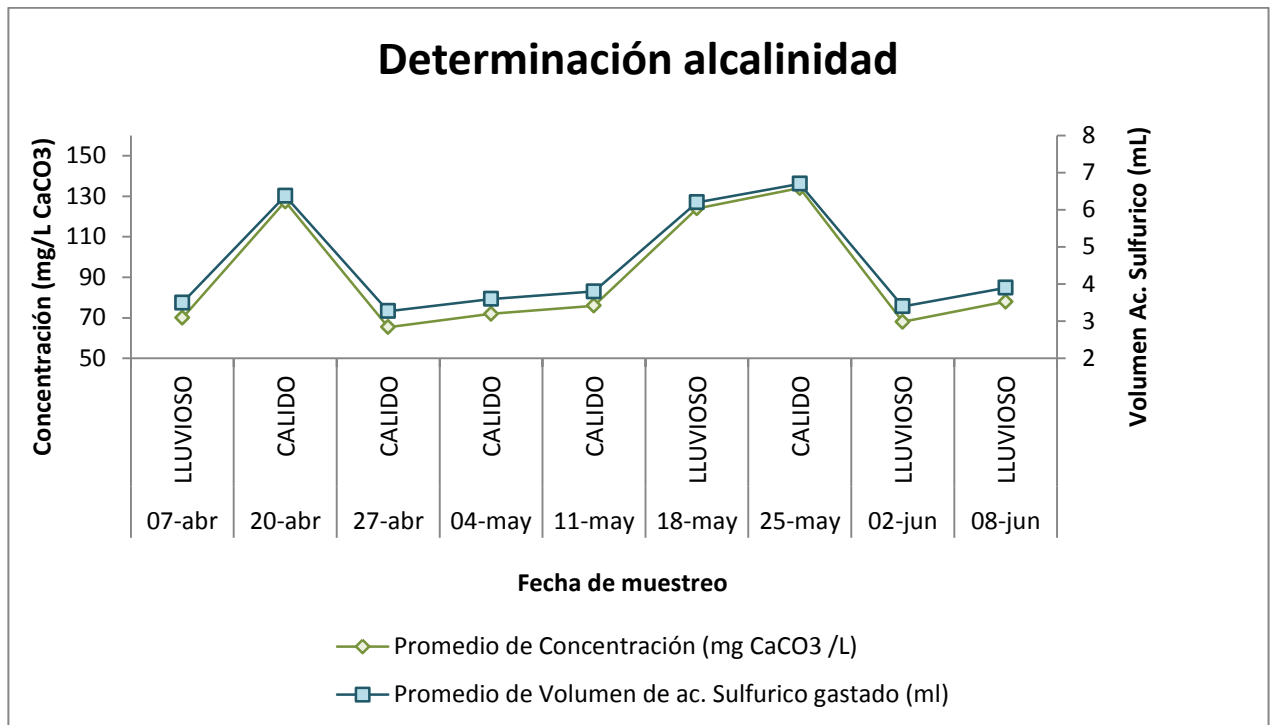
Queda resaltar que conociendo el valor promedio en el que oscila la turbidez del agua se pueden establecer parámetros a controlar con respecto a la filtrabilidad y consecuentemente la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación, filtración.

7.5 Determinación de alcalinidad

La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, también como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampona de un agua. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

ALCALINIDAD				
Valor máximo aceptable (mg/L CaCO ₃):			200	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	Volumen de Ac. Sulfúrico gastado (ml)	Concentración (mg CaCO ₃ /L)	
07-abr	LLUVIOSO	3,50	70	NO
20-abr	CALIDO	6,37	127	NO
27-abr	CALIDO	3,27	65	NO
04-may	CALIDO	3,60	72	NO
11-may	CALIDO	3,80	76	NO
18-may	LLUVIOSO	6,20	124	NO
25-may	CALIDO	6,70	134	NO
02-jun	LLUVIOSO	3,40	68	NO
08-jun	LLUVIOSO	3,90	78	NO

Tabla 17. Resultados alcalinidad del agua.



Gráfica 5. Resultados obtenidos alcalinidad.

Para el análisis desarrollado a diferentes muestras de agua pertenecientes al corregimiento de Santa Ana, Guática, se determinaron concentraciones entre los 65- 130 mg/L, y se observa que los datos no conservan una tendencia en relación con la clasificación del clima. En la Gráfica 5 se observa la relación dependiente entre el volumen gastado de ácido sulfúrico y las concentraciones determinadas. Para la determinación de este parámetro la metodología empleada es la titulación con indicadores como fenolftaleína y anaranjado de metilo, por medio de estos se determina la alcalinidad total de bicarbonatos, carbonatos o hidróxidos presentes en las muestras tomadas.

En las pruebas de laboratorio desarrolladas para las nueve muestras, no se presentó viraje con el indicador de fenolftaleína porque el pH es menor a 8.3 y para este pH la fenolftaleína es incolora, indicando la no presencia de alcalinidad de hidróxidos, ni de carbonatos, pero si viraje con el indicador anaranjado de metilo concluyendo que la alcalinidad presente en la fuente de agua es atribuida a los bicarbonatos.

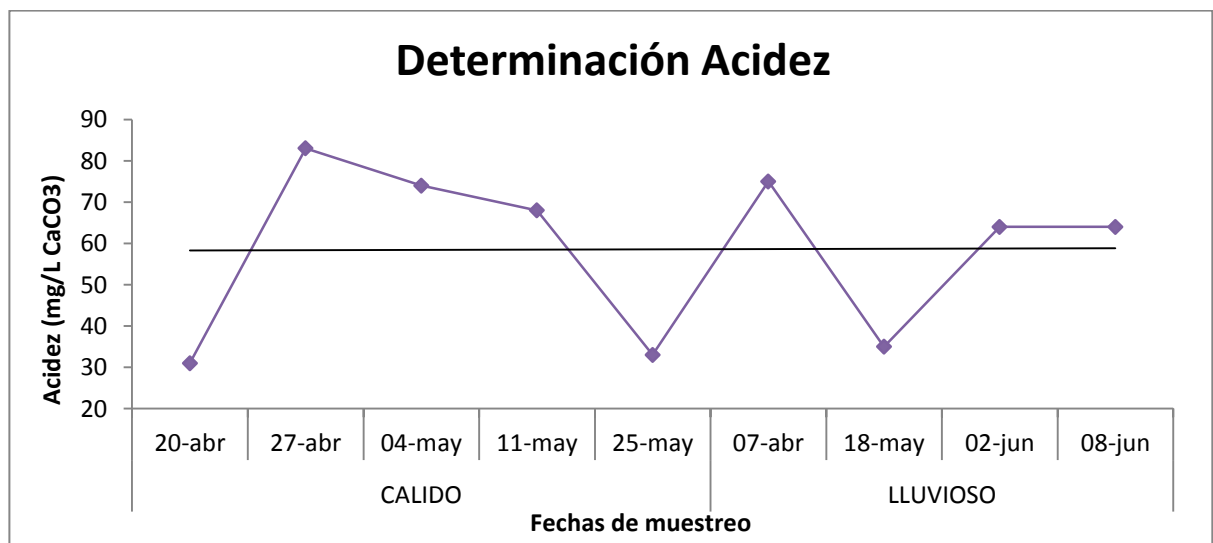
Los valores determinados para la concentración de alcalinidad según la calificación sobre la necesidad de tratamiento, arrojan resultados positivos ya que la alcalinidad no es uno de los parámetros a controlar en este estudio, al desarrollar la comparación de las concentraciones determinadas en las nueve muestras contra el valor máximo establecido por la resolución 2115 del 2007 perteneciente a 200 mg/L de CaCO₃.

7.6 Acidez

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y al costo que supone la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión. El contenido de CO₂ es también un factor muy importante para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras. En aguas naturales la acidez puede ser producida por el CO₂, esta es la causa más común ya que puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

ACIDEZ				
Valor máximo aceptable (mg/L CaCO ₃):			50	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	Volumen gastado de NaOH (ml)	Concentración (mg /L CaCO ₃)	
07-abr	LLUVIOSO	7,5	75	SI (bocatoma)
20-abr	CALIDO	3,1	31	NO
27-abr	CALIDO	8,3	83	SI
04-may	CALIDO	7,4	74	SI (bocatoma)
11-may	CALIDO	6,8	68	SI
18-may	LLUVIOSO	3,5	35	NO
25-may	CALIDO	3,3	33	NO
02-jun	LLUVIOSO	6,4	64	SI
08-jun	LLUVIOSO	6,4	64	SI

Tabla 18. Resultados acidez del agua.



Gráfica 6. Tendencia parámetro de acidez.

El valor de acidez al punto de viraje de la fenolftaleína incluye la acidez mineral, la acidez por sales hidrolizadas de carácter ácido y la acidez por CO₂.

$$F=AM+SH+CO_2$$

En los datos obtenidos para la determinación de acidez en la tabla 17, se observa que seis de las muestras analizadas arrojan la necesidad de un tratamiento, mientras cuatro de ellas no, independientemente de la clasificación de las mismas según el clima.

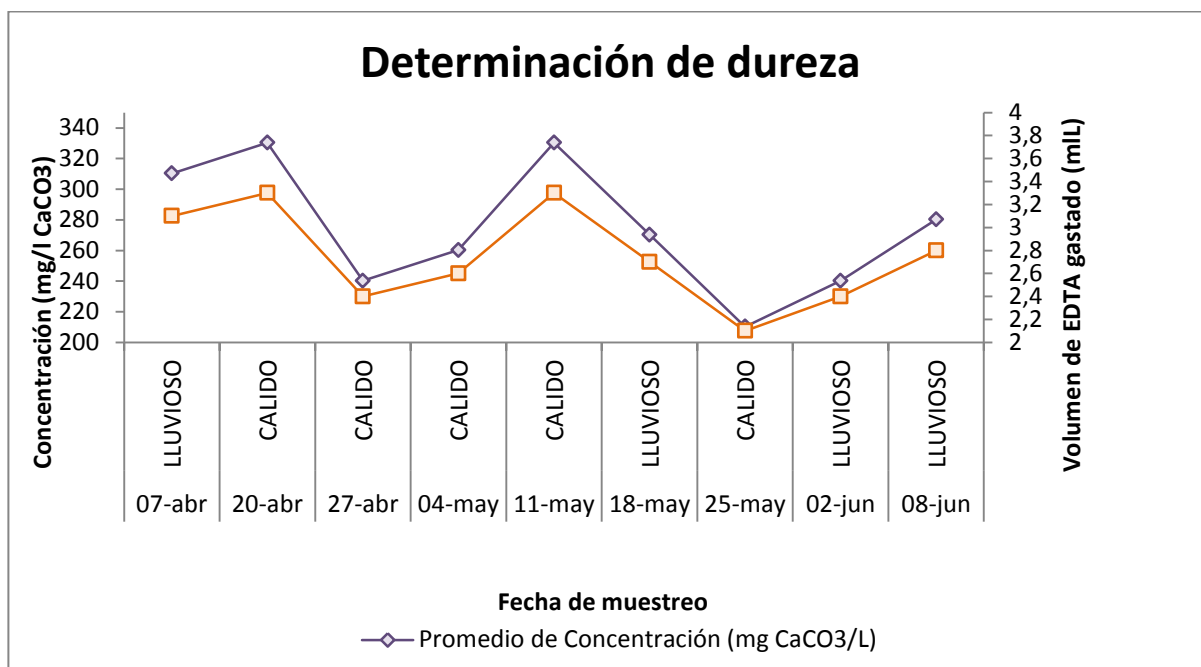
Además se obtienen resultados variables, los cuales sobrepasan el máximo valor aceptable reportado por la resolución 2115 del 2007 el cual corresponde a 50 mg/L CaCO₃, los valores obtenidos oscilan en un rango de 31-75 mg/L CaCO₃. Con lo anterior y la verificación del tratamiento de datos en la graficas N°6, es claro afirmar que la acidez es uno de los parámetros que se deben contemplar dentro del tratamiento de agua para el corregimiento de Santa Ana, Guática.

7.7 Determinación dureza

Se definen como aguas duras aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua. En términos de dureza el agua se puede clasificar como blanda, moderadamente dura, dura o muy dura. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

DUREZA						
Valor máximo aceptable (mg/l CaCO ₃):				300	Concentración (mg CaCO ₃ /L)	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	Volumen de EDTA gastados (ml)				
		blanco	muestra			
07-abr	LLUVIOSO	11,8	3,1	310,28	SI	
20-abr	CALIDO	12,1	3,3	330,30	SI	
27-abr	CALIDO	11,6	2,4	240,22	NO	
04-may	CALIDO	12,6	2,6	260,23	NO	
11-may	CALIDO	12,3	3,3	330,30	SI	
18-may	LLUVIOSO	11,9	2,7	270,24	NO	
25-may	CALIDO	11,8	2,1	210,19	NO	
02-jun	LLUVIOSO	12,8	2,4	240,22	NO	
08-jun	LLUVIOSO	12,6	2,8	280,25	NO	

Tabla 119. Resultados dureza del agua.



Gráfica 7. Resultados obtenidos dureza.

En la tabla 19, se encuentran los resultados obtenidos para la determinación de dureza en las nueve muestras tomadas, así como la metodología empleada por medio de titulación con EDTA, expresando el volumen gastado del mismo, y la calificación con respecto a la necesidad de tratamiento de las muestras.

En la gráfica 7 se observa el comportamiento de las muestras en las diferentes fechas con respecto al valor determinado para la dureza del agua, encontrado una oscilación de las concentraciones entre los 210 – 330 mg/L CaCO₃ y una variación no muy drástica entre muestra y muestra, además se desarrolló la comparación de los valores encontrados con el valor estándar establecido por la resolución 2115 del 2007 perteneciente a 300 mg/L CaCO₃, dando una necesidad de tratamiento en solo tres de nueve muestras analizadas y el valor de las mismas no tiene una desviación mayor al 10% con respecto al estándar.

Al hacer la comparación de la medida de dureza con respecto a la alcalinidad se establece que la concentración de la dureza es mayor que la concentración para la alcalinidad de las muestras, tomándose como una igualdad según la fórmula:

$$Alcalinidad \left(\frac{mg}{L} \right) = Dureza \text{ carbonácea} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

Donde se presenta el caso de que la alcalinidad es menor que la dureza total, concluyendo una igualdad entre ambos parámetros. Basta aclarar que en agua naturales los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad, por lo tanto la parte de la dureza total químicamente equivale a los bicarbonatos presentes en el

agua considerados como dureza carbonácea y por esto se presenta la ecuación antes descrita.

La dureza carbonácea también se conoce como dureza temporal o no permanente porque desaparece cuando se hierve el agua, es decir que puede precipitarse mediante ebullición prolongada.

7.8 Determinación de Sulfatos.

El ion sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales; se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L. El contenido de sulfatos es también importante porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor. El método turbidimétrico, el cual puede aplicarse a concentraciones hasta de 60 mg/L, es por su rapidez un método muy usado para determinar sulfatos. El método se basa en el hecho de que el ion sulfato tiende a precipitarse como sulfato de bario, en medio ácido, con cloruro de bario y en presencia de cloruro de sodio. La absorción, de la suspensión de sulfato de bario formado, se mide con un turbidímetro o espectrofotómetro y la concentración del ion sulfato se determina por comparación de la lectura con una curva de calibración.

SULFATOS				
Valor máximo aceptable (mg/L):			250	
FECHA	CLIMA	TURBIDEZ (NTU)	Concentración mg/L SO ₄ ²⁻	Necesidad de tratamiento
07-abr	LLUVIOSO	2,35	-6,65	NO
20-abr	CALIDO	2,95	-6,07	NO
27-abr	CALIDO	1,85	-7,15	NO
04-may	CALIDO	2,50	-6,51	NO
11-may	CALIDO	1,98	-7,02	NO
18-may	LLUVIOSO	2,42	-6,59	NO
25-may	CALIDO	2,25	-6,75	NO
02-jun	LLUVIOSO	2,43	-6,58	NO
08-jun	LLUVIOSO	2,40	-6,61	NO

Tabla 20. Resultados de Sulfatos en agua.

El valor máximo permitido por la resolución 2115 de 2007 para los sulfatos en agua es de 250 mg/L, en la Tabla 20 se observa los datos encontrados en el análisis dando como resultado valores por debajo de la concentración mínima que puede determinar la técnica, se calcula este valor con la elaboración de una curva de calibración.

En la gráfica 11 en el anexo H, se observa la linealidad de la curva de calibración, obteniendo un valor del coeficiente de correlación del 0.998 lo que indica que el grado de relación de los valores graficados es positiva ya el valor se encuentra entre $0 < r < 1$.

Se concluye que la presencia del ion sulfato en el agua es tan pequeña que el método no alcanza su determinación, por tal razón no se hace necesario un tipo de tratamiento para el agua analizada por la presencia de sulfatos en esta.

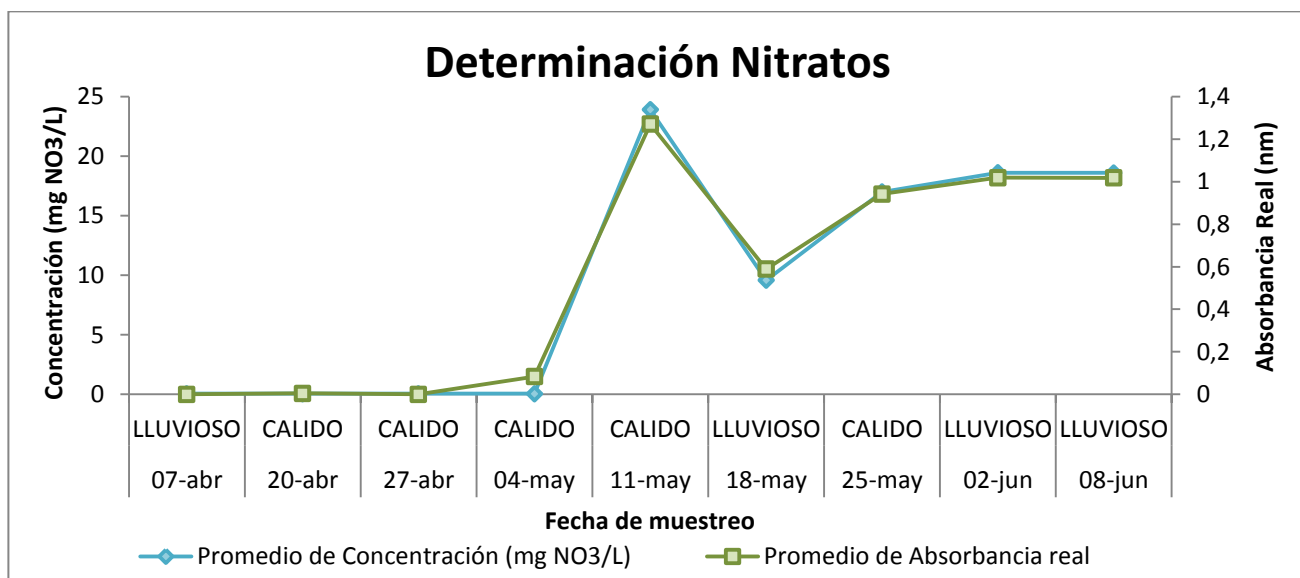
7.9 Determinación de Nitratos (Método espectrométrico ultravioleta selectivo)

Los nitratos aparecen en el agua potable a causa de fugas o filtraciones procedentes de granjas, campos, zonas de césped y jardines, que llegan al agua subterránea, Los niveles de concentración de nitratos en suelos cultivados y en agua se ven incrementados por la utilización de fertilizantes nitrogenados comerciales.

En la tabla 1 en el anexo H, se encuentra la curva de calibración realizada para la determinación de nitratos a 220 nm, donde se expresan 6 patrones a diferentes concentraciones y absorbancias abarcando valores desde 5 hasta 40 mg/L NO₃, en la gráfica N°1 en el anexo H, se observa la linealidad de la curva de calibración, obteniendo un valor del coeficiente de correlación del 0.992 indicando que el grado de relación de los valores graficados es positiva ya el valor se encuentra entre $0 < r < 1$.

NITRATOS						
Valor máximo aceptable (mg/L) :				10	Concentración (mg NO ₃ /L)	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	Absorbancia		Absorbancia real		
		220 nm	275 nm			
07-abr	LLUVIOSO	0,1466	0,0774	0,00	0,050	NO
20-abr	CALIDO	0,0054	0,0004	0,00	0,050	NO
27-abr	CALIDO	0,0000	0,0280	0,00	0,050	NO
04-may	CALIDO	0,0830	0,0000	0,08	0,050	NO
11-may	CALIDO	1,2950	0,0120	1,27	23,908	SI
18-may	LLUVIOSO	0,6870	0,0490	0,59	9,580	NO
25-may	CALIDO	1,0540	0,0560	0,94	16,996	SI
02-jun	LLUVIOSO	1,0810	0,0310	1,02	18,613	SI
08-jun	LLUVIOSO	1,0740	0,0280	1,02	18,592	SI

Tabla 21. Resultados determinación de Nitratos.



Gráfica 8. Concentración/ Absorbancia Nitratos.

En la graficas 8 se observan los datos obtenidos en la determinación de nitratos para las diferentes muestras analizadas, donde se aprecia un ascenso tanto en la concentración de las muestras como en la absorbancia real calculada a lo largo del estudio. No se obtiene una línea de tendencia estable en los datos, ya que estos oscilan desde valores mínimos de 0.05 mg NO₃/L hasta 23.908 mg NO₃/L haciendo que a la hora de establecer la necesidad de tratamiento del agua se encuentren valores muy altos para algunas de las muestras, arrojando una desviación estándar entre los datos del 9,91%. Cabe resaltar que todos los valores determinados para nitratos están dentro de la curva de calibración desarrollada, pero se da mucha dispersión de estos por lo que no se establece una linealidad o una tendencia al ascenso o descenso con respecto al clima.

7.10 Determinación de Nitritos (Método colorimétrico)

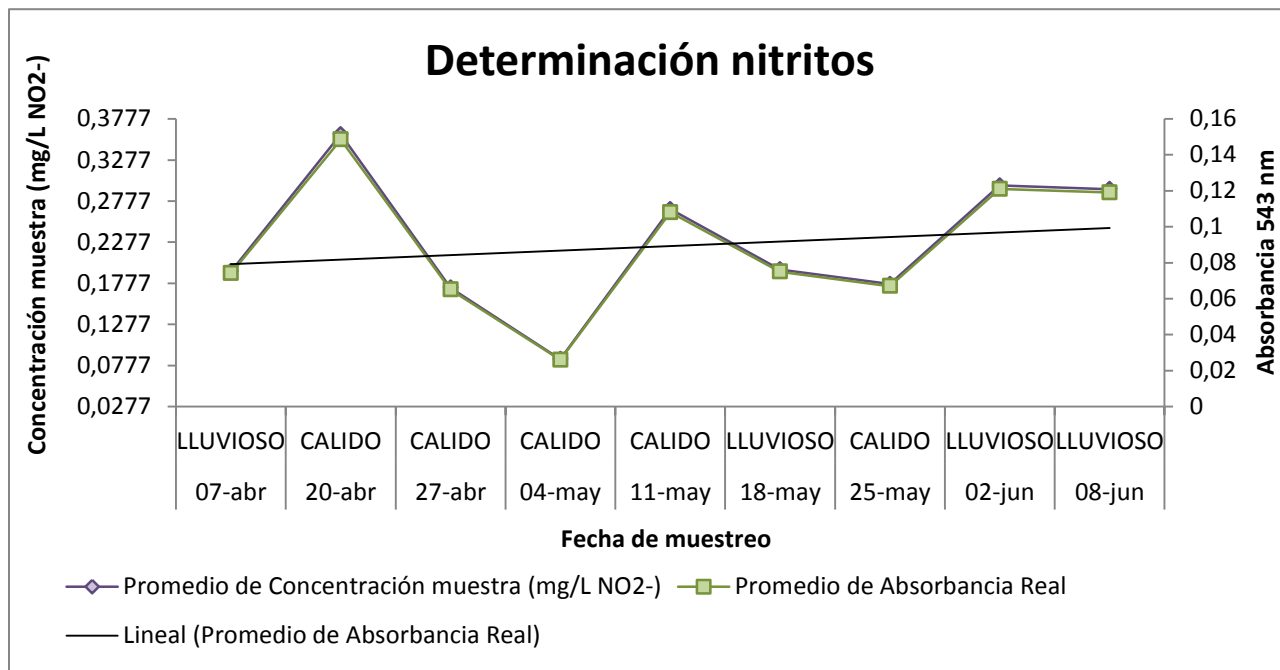
Los nitritos son formados biológicamente por la acción de bacterias nitrificantes, en un estadio intermedio en formación de nitratos. La concentración del mismo en agua y vegetales es baja. Sin embargo, la conversión microbiológica de nitrato a nitrito puede ocurrir durante el almacenamiento de vegetales frescos a temperatura ambiente, en la cual puede alcanzar niveles elevados (alrededor de 3,6 g / g- peso seco-). (Romero Rojas, Jairo, 1996)

Para la determinación de nitritos, se establecieron una serie de patrones con la finalidad de obtener una curva de calibración y de esta forma calcular las concentraciones de las muestras tomadas para el análisis. En la tabla 2 en el

anexo H, se encuentran 5 patrones a los cuales se les determino la concentración, abarcando valores entre 20 y 100 µg/L. En la gráfica 2 en el anexo H, se observa la linealidad de la curva de calibración y se determina la ecuación de la recta, para obtener los siguientes parámetros:

NITRITOS						
Valor máximo aceptable (mg/L):			0,1		Necesidad de tratamiento	
FECHA	CLIMA	Absorbancia		Concentración final (µg/L NO ₂ -)		Concentración muestra (mg/L NO ₂ -)
		543 nm	Real			
07-abr	LLUVIOSO	0,1241	0,074	96,111	0,1922	SI
20-abr	CALIDO	0,1985	0,149	179,444	0,3589	SI
27-abr	CALIDO	0,1150	0,065	86,111	0,1722	SI
04-may	CALIDO	0,0760	0,026	42,778	0,0856	NO
11-may	CALIDO	0,1580	0,108	133,889	0,2678	SI
18-may	LLUVIOSO	0,1250	0,075	97,222	0,1944	SI
25-may	CALIDO	0,1170	0,067	88,333	0,1767	SI
02-jun	LLUVIOSO	0,1710	0,121	148,333	0,2967	SI
08-jun	LLUVIOSO	0,1690	0,119	146,111	0,2922	SI

Tabla 22. Resultados Nitritos en agua.



Gráfica 9. Concentración/ Absorbancia Nitritos.

En la tabla 22 se encuentran los datos obtenidos para las diferentes muestras tomadas donde se expresa la absorbancia de cada muestra y las concentraciones, de la misma forma se desarrolla la calificación sobre la necesidad de tratamiento del agua con respecto al valor establecido en la resolución 2115 del 2007 correspondiente a 0,1 mg/L, arrojando para la mayoría de muestras una necesidad de tratamiento ya que sobre pasan el valor estándar. La desviación estándar entre los datos obtenidos no supera el 0,0836% teniendo una oscilación entre los 0,08 y 0,35 mg/L tendiendo a ser mayores al 0,1 mg/L, en la gráfica N°9 se observa la tendencia de los datos a sobrepasar el valor estándar pero mantienen una oscilación cercana, además se observa la dependencia de la concentración contra la absorbancia.

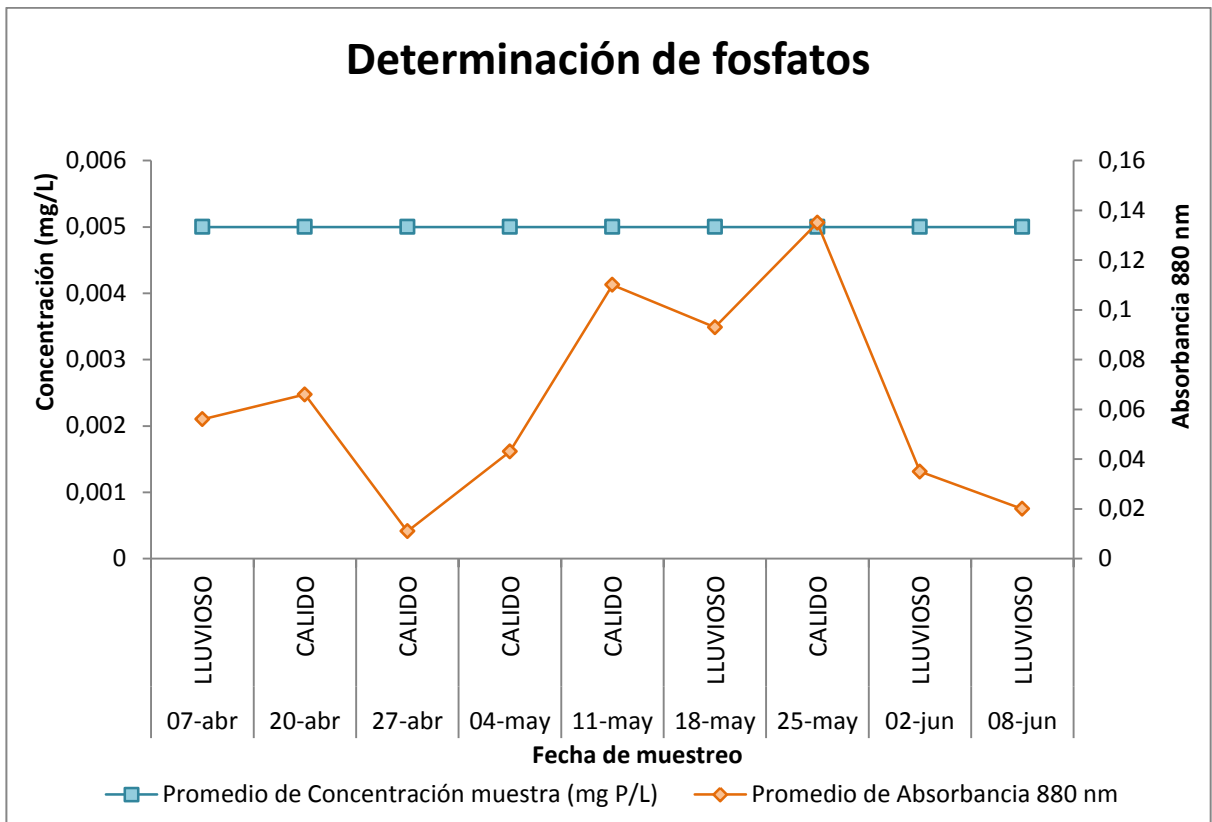
7.11 Determinación de Fosfatos (Método del ácido ascórbico)

La concentración de fosfatos en un agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento. (Romero Rojas, Jairo, 1996)

Para la determinación de fosfato en las muestras de agua pertenecientes al corregimiento de Santa Ana, Guática, se desarrolló una curva de calibración con patrones entre los 0,05 y 10 mg/L de fosfato y de esta manera se determinó la ecuación de la recta perteneciente a la linealidad que se observa en la gráfica 3 en el anexo H.

FOSFATOS				
Valor máximo aceptable (mg/L):			0,5	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	Absorbancia 880 nm	Concentración muestra (mg P/L)	
07-abr	LLUVIOSO	0,056	0,0050	NO
20-abr	CALIDO	0,066	0,0050	NO
27-abr	CALIDO	0,011	0,0050	NO
04-may	CALIDO	0,043	0,0050	NO
11-may	CALIDO	0,11	0,0050	NO
18-may	LLUVIOSO	0,093	0,0050	NO
25-may	CALIDO	0,135	0,0050	NO
02-jun	LLUVIOSO	0,035	0,0050	NO
08-jun	LLUVIOSO	0,02	0,0050	NO

Tabla 23. Resultados Fosfatos en agua.



Gráfica 10. Concentración/ Absorbancia Fosfatos.

En la tabla 23 se expresan los valores de absorbancia y concentración determinados para las diferentes fechas de muestreo, junto con la calificación sobre la necesidad de tratamiento de las mismas, donde se determina que no es necesario un tratamiento para este parámetro ya que todos los valores de concentración están por debajo del valor estándar establecido en la resolución 2115 del 2007 correspondiente a 0,5 mg/L de fosfatos. En la gráfica 10 se observa la variación de las absorbancias para las diferentes muestras, mostrando una oscilación desde los 0,02 hasta 0,1 en absorbancia, no presenta una linealidad o una relación entre el cambio de clima, pero se establece que el valor de concentración determinado para las diferentes muestras es tan bajo que arroja valores negativos los cuales se reportan como la mínima cantidad 0,05 mg/L y por esto en la gráfica de la determinación de fosfatos no se aprecia variación.

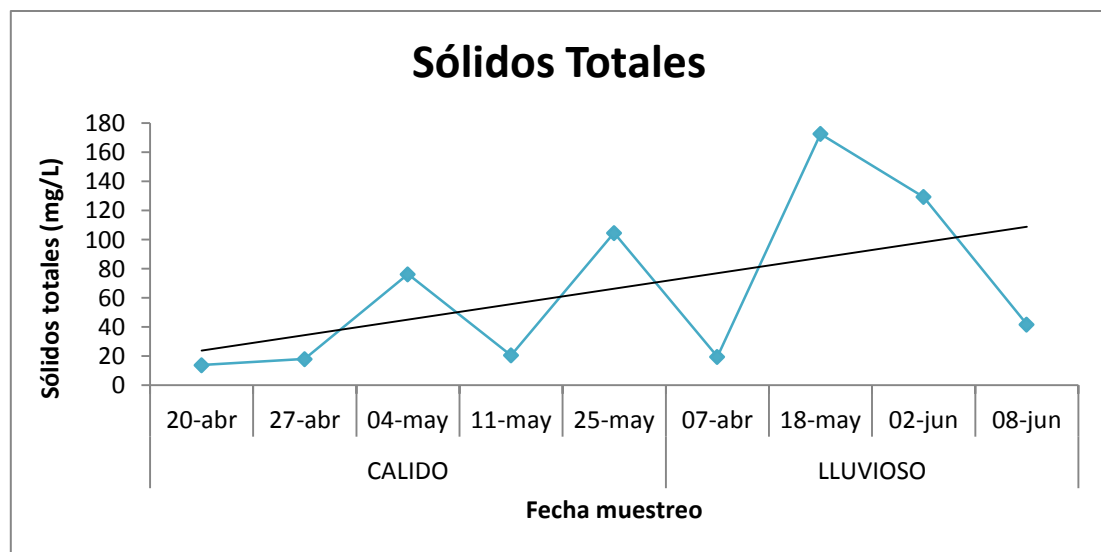
7.12 Sólidos totales

En aguas potables, la determinación de sólidos totales y suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración o fuerzas de aguas residuales y de esta

forma determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento que se están empleando. Los sólidos totales se definen como la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (Sólidos suspendidos).

SÓLIDOS TOTALES				
Valor máximo aceptable (mg/L):			500	Necesidad de tratamiento
FECHA	CLIMA	Sólidos totales (g)	sólidos totales (mg/L)	
07-abr	LLUVIOSO	0,0038	19,6	NO
20-abr	CALIDO	0,0027	13,9	NO
27-abr	CALIDO	0,0035	18,0	NO
04-may	CALIDO	0,0148	76,2	NO
11-may	CALIDO	0,0040	20,6	NO
18-may	LLUVIOSO	0,0335	172,5	NO
25-may	CALIDO	0,0203	104,5	NO
02-jun	LLUVIOSO	0,0251	129,3	NO
08-jun	LLUVIOSO	0,0081	41,7	NO

Tabla 24. Resultados Sólidos totales.



Gráfica 81. Tendencia Sólidos Totales.

Para la determinación de sólidos totales durante el análisis, se tomaron muestras en diferentes fechas y estas fueron procesadas bajo las mismas condiciones de trabajo, en la tabla 24 se observa que para las nueve muestras analizadas, no se requiere tratamiento, ya que los resultados arrojados por el estudio demuestran

que no superan un valor mayor a los 130 mg/L de sólidos totales, además la desviación entre los mismo datos es del 66.3% aproximadamente.

El valor máximo aceptable por el decreto 2115 del 2007 es 500 mg/L de sólidos totales, como se nombró anteriormente los valores en mg/L de sólidos totales determinados en el estudio son relativamente bajos en comparación con el estándar.

Como se observan en la gráfica 11 de sólidos totales contra la fecha de muestreo, se denotan valores mayores de sólidos totales en días lluviosos alcanzando los 172mg/L, también se observan una tendencia de los datos a oscilar entre los 20 y 40 mg/L independientemente de la clasificación según el clima.

7.13 Análisis de metales pesados.

Los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales, tal es el caso de los peces. Debido a su toxicidad la presencia de metales pesados en aguas representa un serio problema de salud para los habitantes de las poblaciones que se sirven de dichas fuentes de agua, lo cual implica elevar los gastos en tratamientos médicos, disminución de la capacidad productiva de los habitantes y desde luego repercusiones económicas a nivel local y nacional. El conocimiento pues de los niveles de contaminación por metales pesados permitiría la toma de decisiones adecuadas en el campo de la salud, el medio ambiente y en general en el plano social repercutiendo positivamente en la realidad. (MANCILLA-VILLA et al., 2012)

7.13.1 Determinación Cadmio

La contaminación por Cadmio afecta al sistema nervioso central, lo cual se traduce en retraso mental. Esto tiene particular importancia sobre todo en la población infantil y adolescente pues está asociado al desarrollo de la capacidad intelectual de la población afectada y a la larga tendría un serio impacto en el intelecto de los habitantes y por consiguiente en las posibilidades de desarrollo a todos los niveles.(MANCILLA-VILLA et al., 2012)

Determinación concentración de Cadmio en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					0,003
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Cd	07-abr	1	0,3308	0,0490	SI (bocatoma)
Cd	05-may	2	0,2482	0,0430	SI
Cd	26-may	3	0,2696	0,0520	SI (bocatoma)
Cd	26-may	4	0,3134	0,0600	SI
Cd	26-may	5	0,3449	0,0660	SI
Cd	26-may	6	0,3555	0,0670	SI

Tabla 25. Resultados determinación de Cadmio.

Para cada uno de los metales analizados se determinó los siguientes valores:

- **Desviación estándar:** Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$S = \sqrt{S^2}$$

- **Límite de detección:** se define como aquella concentración que proporciona una señal instrumental significativamente diferente de la señal de una muestra en blanco, o la señal de fondo.

Es la cantidad de analito que proporciona una señal igual a la del blanco más tres veces la desviación estándar del blanco:

$$y_{LD} = y_B + 3 S_B$$

- **Límite de cuantificación:** considerado como el límite de concentración más bajo para mediciones cuantitativamente precisas, Se define como la cantidad de analito que proporciona una señal igual a la del blanco más diez veces la desviación estándar del blanco.

$$y_{LQ} = y_B + 10 S_B$$

Desviación estándar determinación de cadmio: **0,0026**

Límite de detección: **0,0316**

Límite de cuantificación: **0,0359**

Los metales pesados son elementos químicos que presentan cierta toxicidad y que se distinguen de otros contaminantes por ser no biodegradables y por bioacumularse en los organismos provocando trastornos y en ocasiones la muerte, es por lo anterior la importancia de reducir su concentración en las aguas ya sean residuales o de consumo humano siendo en las últimas su presencia menos habitual.

En el análisis del agua desarrollado en el corregimiento de Santa Ana, Guática, se determinó la presencia de cadmio en las aguas al superar el valor de concentración permitido por la Resolución 2115 del 2007 el cual corresponde a 0,003 mg/L. En la tabla 25, se expresan los valores obtenidos para la concentración de cadmio en las muestras analizadas, estableciendo la necesidad de un tratamiento para la disminución de este metal debido al riesgo que conlleva las altas concentraciones del mismo en la salud humana.

La determinación de cadmio durante este estudio conlleva a la búsqueda de posibles causas que están generando dicha concentración de este metal en el agua, por lo que se plantea la modificación de estructura física y cambio de tuberías desde la bocatoma hasta el abastecimiento en los hogares, ya que estas están formadas por aleaciones de zinc que por su antigüedad pueden estar contaminando el agua, así como las quemadas y basuras que llegan a la corriente acuática por parte de los residentes de las veredas antes de la bocatoma y la emisión de cadmio debido al uso de fertilizantes fosfatados artificiales empleados en los cultivos aledaños a la corriente de agua, por lo que se hace necesario garantizar su remoción a los límites permitidos por la legislación.

Para la reducción de la concentración de cadmio en aguas, existen métodos tradicionales como la precipitación química, combinación de procesos fisicoquímicos como floculación, precipitación y filtración, alternativas que fallan en no reducir la concentración de los metales pesados en un límite inferior al permitido por la legislación. Otras técnicas son el intercambio iónico, la adsorción, procesos basados en tecnología de membrana las cuales implican un alto costo de compra y regeneración, por lo que resulta necesario emplear técnicas de separación basadas en la capacidad de retención de iones metálicos mediante el uso de materiales de origen biológico, siendo una alternativa eficiente y de bajo costo, las cuales han presentado mejoras en la disminución de la concentración de metales tales como arsénico, plomo, cadmio, cobre, níquel, etc.

7.13.2 Determinación Plomo

El cuerpo humano contiene aproximadamente 120 mg de plomo. Alrededor del 10-20% del plomo es absorbido por los intestinos. Los síntomas de la exposición al plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis. Generalmente los

efectos del envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos. El plomo orgánico causa necrosis de neuronas. El plomo inorgánico crea degeneración axónica. Ambas especies de plomo causan edema cerebral y congestión. Los compuestos orgánicos del plomo se absorben rápidamente y por lo tanto suponen un mayor riesgo. Los compuestos orgánicos del plomo pueden ser cancerígenos. Las mujeres son generalmente más susceptibles al envenenamiento que los hombres. El plomo causa alteraciones menstruales, infertilidad y aumenta el riesgo de aborto. Los fetos son más susceptibles al envenenamiento por plomo que las madres, e incluso los fetos protegen a la madre del envenenamiento por plomo. En tiempos pasados el plomo se aplicaba como medida del control de la natalidad, por ejemplo como espermicida y para inducir el aborto. (Ferrer, n.d.)

Determinación concentración de Plomo en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					0,010
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Pb	07-abr	1	0,2486	0,0070	SI
Pb	05-may	2	0,0000	0,0000	NO
Pb	26-may	3	0,0000	0,0020	NO
Pb	26-may	4	0,0000	0,004	NO
Pb	26-may	5	0,0000	0,003	NO
Pb	26-may	6	0,0000	0,002	NO

Tabla 26. Resultados determinación de Plomo.

Desviación estándar determinación de magnesio: **0,0005**

Límite de detección: **0,0055**

Límite de cuantificación: **0,0064**

El valor límite permitido es de 0,010 mg/L, en la tabla 26 los porcentajes reportados de plomo en el agua analizada son nulos, solo una muestra presenta una concentración relativamente alta mayor a la permitida, pero cabe destacar que cinco de las seis muestras dan como resultado valores mínimos y por debajo del límite de detección, estos valores se interpretan para la toma de decisiones de tratamientos de agua y analizando los resultados no se hace necesario un tratamiento para la eliminación de plomo en el agua analizada.

7.13.3 Determinación de Cobre

El Cobre es un metal de alto interés en calidad de agua de consumo porque tiene un doble carácter, es un metal esencial para el ser humano y puede, tanto por deficiencia como por exceso, producir efectos perjudiciales en la salud. El carácter esencial del Cobre deriva de su incorporación a un gran número de proteínas con fines catalíticos y estructurales. Su toxicidad bioquímica, cuando supera el control homeostático, deriva de sus efectos en la estructura y función de variadas biomoléculas. El Cobre es un metal ampliamente usado en el mundo por presentar una combinación de propiedades altamente deseables como son: durabilidad, ductibilidad, maleabilidad y conductividad eléctrica y térmica. Muchos de los materiales que se usan en sistemas de distribución de aguas de consumo o en sistemas de griferías contienen Cobre como elemento principal o formando parte de aleaciones. (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2005)

Determinación concentración de Cobre en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					1,000
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Cu	07-abr	1	0,3308	0,0490	NO
Cu	05-may	2	0,0000	0,0000	NO
Cu	26-may	3	0,2059	0,0130	NO
Cu	26-may	4	0,0000	0,0000	NO
Cu	26-may	5	0,0000	0,0000	NO
Cu	26-may	6	0,0547	0,0020	NO

Tabla 27. Resultados determinación de Cobre.

Desviación estándar determinación de cobre: **0,0005**

Límite de detección: **0,0015**

Límite de cuantificación: **0,0050**

Para el análisis de cobre se encontraron concentraciones muy bajas en las muestras de agua relacionadas con la concentración permitida por la resolución 2115 del 2007 correspondiente a 1,0 mg/L, la tabla 27 se muestran los resultados arrojados por la técnica absorción atómica, los cuales se pueden interpretar en relación con el tratamiento de agua para consumo humano, en este caso no se hace necesario un tratamiento para este metal por su poca presencia en el agua tratada.

7.13.4 Determinación Magnesio

El análisis de la concentración de magnesio en agua para consumo humano es importante debido a que el magnesio juega un papel esencial en la salud humana especialmente en el funcionamiento normal del sistema cardiovascular y en la formación ósea; su importancia biológica es grande, ya que es indispensable en el desarrollo de ciertos sistemas enzimático. Si la cantidad de magnesio en el agua es muy grande, puede esta actuar como laxante e incluso adquirir un sabor amargo. (Inno-vita, 2009)

Determinación concentración de Magnesio en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					36,000
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Mg	07-abr	1	0,7128	0,3620	NO
Mg	05-may	2	0,6893	0,3120	NO
Mg	26-may	3	0,0000	0,0000	NO
Mg	26-may	4	0,6876	0,2560	NO
Mg	26-may	5	0,7450	0,2750	NO
Mg	26-may	6	0,5120	0,1930	NO

Tabla 28. Resultados determinación de Magnesio.

Desviación estándar determinación de magnesio: **0,0038**

Límite de detección: **0,0228**

Límite de cuantificación: **0,0440**

El valor permitido por la normatividad es de 36 mg/L, según la tabla 28 que indica los resultados de los análisis realizados son menores a este límite, lo que demuestra que no se hace necesario un tratamiento para disminuir el porcentaje de este metal en el agua analizada, la concentración de magnesio en agua para consumo humano forma parte de la dureza del agua como carbonato de magnesio. Las aguas blandas son agresivas y facilitan la disolución de metales de las cañerías, provocando, entre otras enfermedades, saturnismo o intoxicación por plomo en aquellos abastecimientos en que aún se conservan tuberías antiguas de plomo.

7.13.5 Determinación Zinc

Al zinc no se le atribuye nivel de clasificación de riesgo para el agua, puesto que no supone un gran peligro. No obstante esto sólo se refiere al zinc elemental, ya que algunos derivados del zinc, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos.

El zinc es un mineral alimenticio para seres humanos y animales. La ingestión de cantidades excesivas de zinc pueden perjudicar la salud de ambos, por encima de cierto nivel resulta ser tóxico. La toxicidad suele ser baja para animales y personas, pero no debe descartarse la fitotoxicidad. (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2004)

Determinación concentración de Zinc en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					3,000
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMEINTO
Zn	07-abr	1	0,2697	0,0410	NO
Zn	05-may	2	0,0000	0,0000	NO
Zn	26-may	3	0,0000	0,0050	NO
Zn	26-may	4	0,0739	0,0180	NO
Zn	26-may	5	0,0000	0,0040	NO
Zn	26-may	6	0,0000	0,0010	NO

Tabla 29. Resultados determinación de Zinc.

Desviación estándar determinación de zinc: **0,0017**

Límite de detección: **0,0097**

Límite de cuantificación: **0,0197**

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 29 se observan concentraciones bajas de zinc en relación con el límite permisible por la normatividad perteneciente a 3 mg/L, lo anterior indica que no se hace necesario un tratamiento para reducir la concentración de zinc en el gua del acueducto, el zinc presente puede ser resultado de las aleaciones antiguas que tiene las tuberías del acueducto estudiado, así sus valores no excedan los límites permitidos se requiere un cambio de la tubería para facilitar el proceso de desinfección sin que ocurran reacciones del zinc con el cloro utilizado en el proceso.

7.13.6 Determinación Hierro

El agua contaminada con hierro usualmente contiene bacterias de hierro. Estas bacterias se alimentan de los minerales que hay en el agua. No causan problemas de salud, pero sí forman una baba rojiza-café (hierro) en los tanques de los inodoros y pueden tapar los sistemas de agua

Aunque el hierro en el abastecimiento del agua no es peligroso para la salud, pueden ser un fastidio, dañar la ropa y otros artículos. (Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2004)

Determinación concentración de Hierro en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					0,300
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Fe	07-abr	1	0,1496	0,0030	NO
Fe	05-may	2	0,1870	0,0070	NO
Fe	26-may	3	0,2513	0,0030	NO
Fe	26-may	4	0,3774	0,0050	SI
Fe	26-may	5	0,3433	0,0050	SI
Fe	26-may	6	0,3405	0,0050	SI

Tabla 30. Resultados determinación de Hierro.

Desviación estándar determinación de magnesio: **0,0008**

Límite de detección: **0,0038**

Límite de cuantificación: **0,0092**

Los resultados de las muestras analizadas se encuentran en la tabla 30 , la mitad de las muestras tienen un porcentaje menor y la otra mitad mayor en relación con el límite permisible correspondiente a 0,3 mg/L según la resolución 2115 del 2007, lo que indica que se hace necesario un tratamiento para reducir la cantidad de hierro encontrada, el tratamiento adecuado es el de fosfatos, este consiste en inyectar compuestos de fosfato dentro del sistema del agua, debido a su baja concentración y que no se presentan manchas o puntos muy grandes en el agua sino hasta que esta se sedimenta y se puede notar en una pequeña proporción, El fosfato previene que los minerales se oxiden y por lo tanto ayuda a mantenerlos en solución. Los compuestos de fosfato deben de ser introducidos en el agua en un punto en el que el hierro todavía está disuelto para poder mantener el agua

clara y prevenir manchas. La inyección debe ocurrir antes del tanque de presión y tan cerca al punto de descarga del pozo como sea posible.

7.13.7 Determinación Cromo

El cromo hexavalente (raramente se presenta en el agua potable el cromo en su forma trivalente) es cancerígeno, y en el agua potable debe determinarse para estar seguros de que no está contaminada con este metal.

La presencia del cromo en las redes de agua potable puede producirse por desechos de industrias que utilizan sales de cromo, en efecto para el control de la corrosión de los equipos, se agregan cromatos a las aguas de refrigeración. (Albert, 1997)

Determinación concentración de Cromo en agua					
Valor máximo aceptable (mg/L) :					0,050
METAL	FECHA	MUESTRA	CONCENTRACIÓN (mg/L)	SEÑAL (Abs)	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Cr	07-abr	1	0,0000	0,0000	NO
Cr	05-may	2	0,0000	0,0000	NO
Cr	26-may	3	1,4610E-03	0,0066	NO
Cr	26-may	4	5,6750E-04	0,004	NO
Cr	26-may	5	4,5065E-03	0,0217	NO
Cr	26-may	6	1,1016E-03	0,0064	NO

Tabla 31. Resultados determinación de Cromo.

Según los resultados reportados en la tabla 31 no se tienen presencia significativa de cromo en el agua analizada, lo que representa que no se necesita un tratamiento adicional para la reducción de cromo en el agua de consumo humano, este metal es cancerígeno y por tanto proporciona grandes riesgos para la salud, no se encontró concentraciones altas debido a que este metal es muy utilizado en la industria como por ejemplo en las curtiembres y cerca de la fuente de agua y la bocatoma de esta no hay ubicadas zonas industriales sino solo zonas domésticas, naturales, y cultivos para tala de árboles y generación de madera.

7.14 Demanda de cloro y cloro residual

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, etc, así como para el control de olores y sabores, remoción de amoníaco y color orgánico.

El cloro se agrega al agua para asegurar su pureza bacteriológica o para mejorar sus características físicas, químicas y organolépticas.

DEMANDA DE CLORO Y CLORO RESIDUAL				
Valor máximo permitido de cloro residual (mg/L)				0,3 - 2,0
Gotas de solución diluida dosificación de cloro	Cloro (mg/L) teórico	volumen de tiosulfato	Cloro residual (mg/L)	Demanda de Cloro (mg/L)
12	1,2	0,0150	0,1034	1,0967
14	1,4	0,0190	0,1309	1,2691
16	1,6	0,0195	0,1344	1,4656
18	1,8	0,0200	0,1378	1,6622
20	2	0,0210	0,1447	1,8553
22	2,2	0,024	0,1654	2,03464
24	2,4	0,03	0,2067	2,1933
26	2,6	0,036	0,2480	2,35196
28	2,8	0,045	0,3101	2,48995
30	3	0,048	0,3307	2,66928

Tabla 32. Resultados demanda de Cloro y Cloro residual.

La demanda de cloro es la cantidad de éste que es reducido o convertido a formas inertes o menos activas por ciertas sustancias presentes en la muestra. En muchos casos, la demanda de cloro implica reacción completa con todos los materiales cloro reactivo y se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado y la cantidad de cloro remanente al final del período de contacto, el cloro residual es importante para garantizar la completa desinfección del agua hasta que llegue a los hogares y sea consumida, evitando contaminación de microorganismos patógenos.

En la tabla 32 se presentan los ensayos de la demanda de cloro y el cloro residual realizados, teniendo en cuenta un tiempo de contacto del cloro con el agua de 1 hora y con una solución de hipoclorito de sodio con una concentración aproximada de 50000 ppm, se hizo un blanco para la comparación y confiabilidad de los resultados, los ensayos que garantizan cloro residual y que se encuentran en el rango permitido por la normatividad que oscila entre 0,3 – 2,0 mg/L son los dos

últimos ensayos, dando resultados en la demanda de cloro aproximadamente un rango de 2,4 a 2,7 mg/L. no se necesita una cantidad excesiva de cloro por lo que el tratamiento se puede generar económico y efectivo, se utiliza hipoclorito líquido al 5% para preparar las soluciones adecuadas para la desinfección.

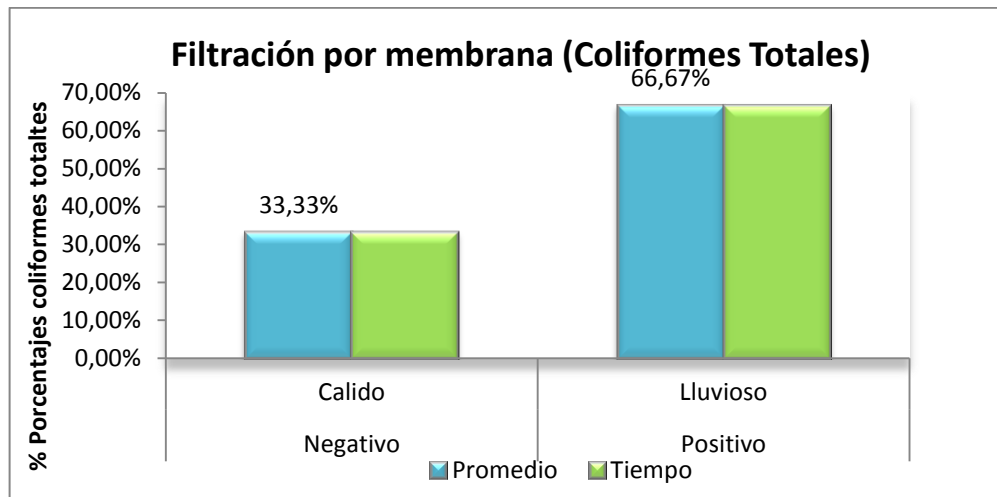
7.15 Resultados microbiológicos

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y de materia fecal. La trasmisión a través del agua de organismos patógenos ha sido la fuente más grande de epidemias de algunas enfermedades. El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. Este examen no busca la búsqueda directa de gérmenes patógenos y se basa en el supuesto de que todas las aguas contaminadas con las de cloaca son potencialmente peligrosas, por consiguiente el control sanitario del agua se hace con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal.

7.15.1 Filtración por membrana

FECHA	CLIMA	N° DE MUESTRA	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES
27-abr	CALIDO	1	Negativo	Positivo
27-abr	CALIDO	1	Negativo	Positivo
27-abr	CALIDO	2	Negativo	Positivo
27-abr	CALIDO	2	Negativo	Positivo
18-may	LLUVIOSO	3	Positivo	Positivo
18-may	LLUVIOSO	3	Positivo	Positivo
18-may	LLUVIOSO	4	Positivo	Positivo
18-may	LLUVIOSO	4	Positivo	Positivo
02-jun	LLUVIOSO	5	Positivo	Positivo
02-jun	LLUVIOSO	5	Positivo	Positivo
02-jun	LLUVIOSO	6	Positivo	Positivo
02-jun	LLUVIOSO	6	Positivo	Positivo

Tabla 33. Resultados calidad microbiológica del agua método de filtración por membrana.



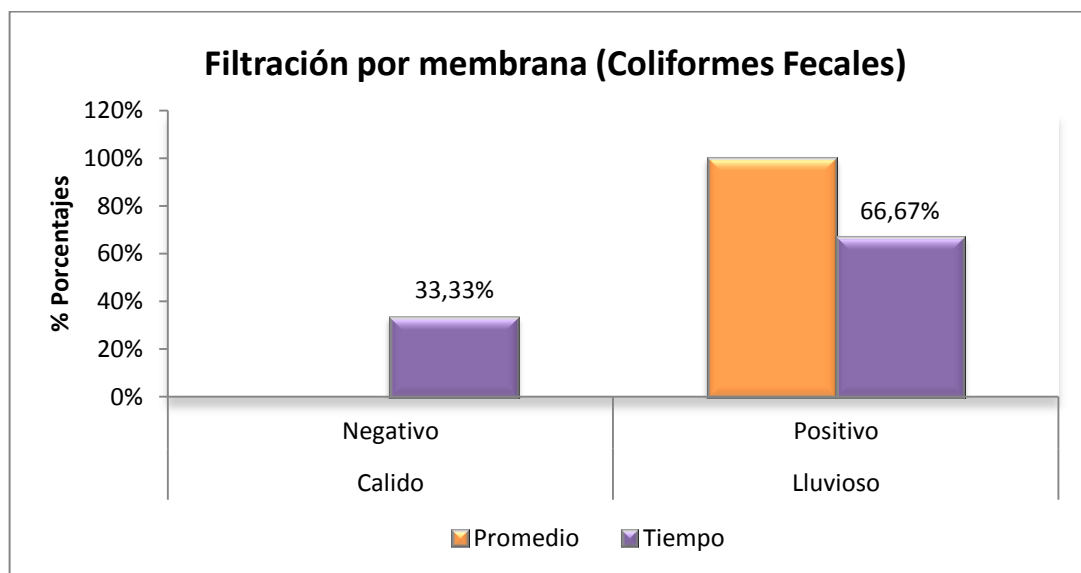
Gráfica 12. Determinación de coliformes FM.

ANÁLISIS CUALITATIVO

Coliformes totales.

Coliformes fecales	frecuencia	porcentaje	Clima	frecuencia	porcentaje
Negativo	0	0%	Cálido	4	33%
Positivo	12	100%	Lluvioso	8	67%
TOTAL	12	100%	TOTAL	12	100%

Tabla 34. Análisis cualitativo para coliformes fecales.



Gráfica 13. Determinación de coliformes fecales FM.

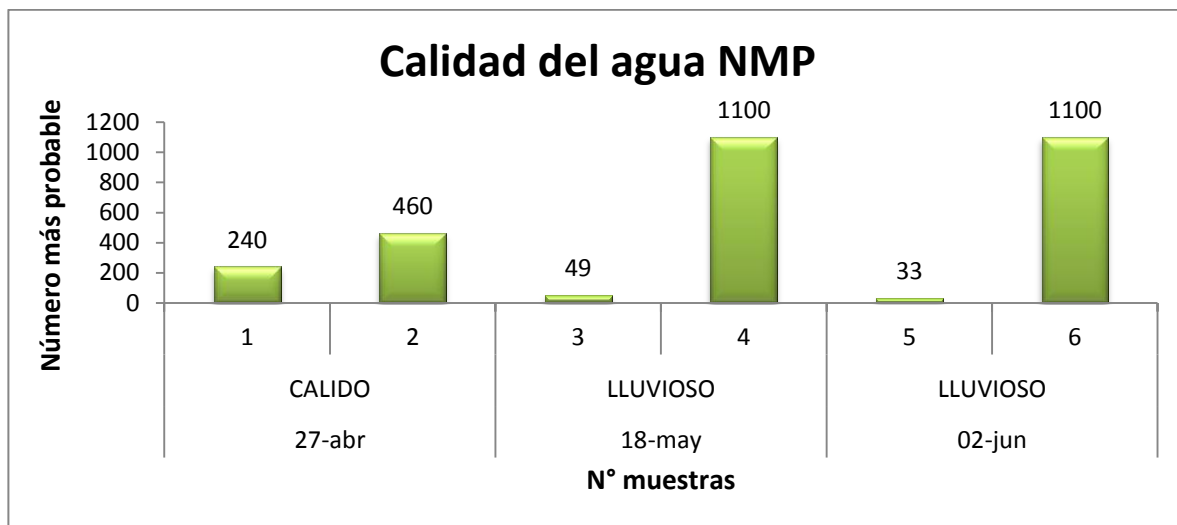
Uno de los métodos utilizados en la investigación es la técnica del filtro membrana, es un método real y no estadístico, que muestra los organismos coliformes en colonias oscuras y que diferencia los coliformes totales de los fecales en el color de la colonia, para la investigación realizada en la tabla 33: muestra como el agua a tratar tiene presencia de coliformes (totales y fecales) notándose en la gráfica 12: porcentajes más altos en los días de clima lluvioso lo que indica que se hace necesario un tratamiento de desinfección con alguna de las técnicas propuestas por la normatividad vigente, esta indica que el valor máximo permitido para la legislación colombiana es de 0 ufc/100cm³ tanto para coliformes totales como para fecales, lo que hace necesario que se debe garantizar una mejor calidad de agua y evitar enfermedades y epidemias posteriores en la comunidad beneficiaria del acueducto.

Para confirmar la presencia de dichos contaminantes del agua se lleva a cabo el método del número más probable generando los siguientes resultados:

7.15.2 Número más probable

FECHA	CLIMA	Nº de muestra	Coliformes	D1	D2	D3	NMP/ml
27-abr	CALIDO	1	totales	3	3	0	240
27-abr	CALIDO	1	fecales	3	3	0	240
27-abr	CALIDO	2	totales	3	3	1	460
27-abr	CALIDO	2	fecales	3	3	1	460
18-may	LLUVIOSO	3	totales	3	1	1	75
18-may	LLUVIOSO	3	fecales	3	0	0	23
18-may	LLUVIOSO	4	totales	3	3	2	1100
18-may	LLUVIOSO	4	fecales	3	3	2	1100
02-jun	LLUVIOSO	5	totales	3	1	0	43
02-jun	LLUVIOSO	5	fecales	3	0	0	23
02-jun	LLUVIOSO	6	totales	3	3	2	1100
02-jun	LLUVIOSO	6	fecales	3	3	2	1100

Tabla 35. Resultados calidad del agua método de número más probable



Gráfica 14. Determinación de microorganismos por método de NMP.

En el análisis bacteriológico es importante conocer no solamente que los organismos coliformes estén presentes sino también determinar su número más probable por unidad de volumen en el agua. El número más probable de organismos coliformes en una muestra de agua es la densidad más probable en producir un resultado particular. Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos sino también puede originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Por lo tanto la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes donde no se puede diferenciar cuando la contaminación sea por uno u otro factor, esta contaminación llega a la corriente de agua por medio de la escorrentía generada en el suelo.

En la tabla 35 y la gráfica 14 se confirma que en el análisis del agua del acueducto estudiado si hay presencia de coliformes tanto totales como fecales, confirmando el resultado de la técnica filtro de membrana y coincidiendo los resultados arrojados en ambos análisis se determina que el mayor porcentaje de coliformes se presenta cuando el clima es lluvioso, esto debido a la facilidad que tienen las corrientes de agua lluvia de llegar a las fuentes de agua superficiales. Se hace necesaria la implementación de un procedimiento de desinfección en el agua tratada del acueducto rural del corregimiento de Santa Ana, Guática para garantizar la potabilización y la mejora en la calidad de agua consumida por la comunidad, disminuyendo así riesgos de enfermedades en la población por el consumo de agua contaminada.

8 CALIFICACIÓN AGUA CORREGIMIENTO DE SANTA ANA GUÁTICA

CALIFICACIÓN CALIDAD DEL AGUA				
CLASIFICACIÓN	PARAMETRO	VALOR MAXIMO PERMITIDO	VALOR OBTENIDO	NECESIDAD DE TRATAMIENTO
Físico-Químico	pH	6,5-9,0	6,52	NO
	Color	15	15	SI
	Conductividad eléctrica	1000 µS	21,79 µS	NO
	Turbidez	2 NTU	1,61NTU	NO
	Alcalinidad	200 mg/L CaCO ₃	91 mg/L CaCO ₃	NO
	Acidez	50 mg/L CaCO ₃	58,56 mg/L CaCO ₃	SI
	Dureza	300 mg/L CaCO ₃	274,69 mg/L CaCO ₃	NO
	Sólidos Totales	500 mg/L	63,3 mg/L	NO
	Nitratos	10 mg/L NO ₃	9,765 mg/L NO ₃	NO
	Nitritos	0,1 mg/L NO ₂ ⁻	0,2263 mg/L NO ₂ ⁻	SI
	Sulfatos	250 mg/L SO ₄ ⁻²	0,005 mg/L SO ₄ ⁻²	NO
	Fosfatos	0,5 mg/L P	0,005 mg/L P	NO
Metales pesados	Hierro (Fe)	0,9 mg/L	0,2749 mg/L	NO
	Cadmio (Cd)	0,003 mg/L	0,3104 mg/L	SI
	Plomo (Pb)	0,01 mg/L	0,005 mg/L	NO
	Cromo (Cr)	0,050 mg/L	0,0013 mg/L	NO
	Zinc (Zn)	3 mg/L	0,0573 mg/L	NO
	Cobre (Cu)	1 mg/L	0,0986 mg/L	NO
	Magnesio (Mg)	36 mg/L	0,5578 mg/L	NO
Microbiológicos	<i>Coliformes</i> totales	0 UFC/ 100 mL	Positivo	SI
	<i>Escherichia coli</i>		Positivo	SI

Tabla 36. Calificación del agua analizada.

9 ANALISIS IRCA DEL AGUA ANALIZADA

ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

IRCA: Es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. Este indicador es el resultado de asignar el puntaje de riesgo contemplado en el Cuadro No. 6 de la Resolución No. 2115 de 2007 a las características contempladas allí por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en dicha Resolución.

A continuación se relacionan los valores del IRCA calculados por muestra analizada del agua del acueducto rural del corregimiento de Santa Ana Guática, este análisis con el propósito de realizar una calificación del agua que consume la comunidad beneficiada.

ANALISIS IRCA PARA EL AGUA DEL ACUEDUCTO RURAL DEL CORREGIMIENTO DE SANTA ANA GUATICA.		
CALIFICACION IRCA %	FECHA DE MUESTREO	CLIMA
51,13	07-abr-15	Lluvioso
73,03	20-abr-15	Cálido
56,74	27-abr-15	Cálido
53,37	04-may-15	Cálido
58,98	11-may-15	Cálido
55,06	18-may-15	Lluvioso
57,86	25-may-15	Cálido
57,86	02-jun-15	Lluvioso
59,55	08-jun-15	Lluvioso
58,18	Promedio IRCA %	

Tabla 37. Promedio del IRCA por muestra.

Después de comparar los valores del IRCA calculados para cada muestra se presentan a continuación las recomendaciones que se deben realizar según la Resolución 2115 de 2007.

Se realiza el análisis del IRCA para cada parámetro propuesto por la resolución y se presenta el siguiente resultado:

CLASIFICACION DEL NIVEL DE RIESGO EN SALUD SEGÚN EL IRCA		
CLASIFICACION DEL IRCA	NIVEL DE RIESGO	RECOMENDACIONES
35,1 – 80	Alto.	Informar a la persona prestadora el servicio, alcalde y gobernador. Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.

Tabla 38. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA.

Según la Resolución 2115 de 2007. **Artículo 13°. Parágrafo:** “Si los resultados de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos, contemplados en los artículos 5° y 8° de la presente Resolución, exceden los valores máximos aceptables, al valor del IRCA se le asignará el puntaje máximo de 100 puntos independientemente de los otros resultados”.

Para el agua analizada del corregimiento de Santa Ana Guática se determinaron trazas de una sustancia comprendida dentro de artículo 5°, por lo anterior se asigna el valor máximo del IRCA 100% lo que indica una intervención inmediata del acueducto por parte de las entidades gubernamentales pertinentes, es un agua no apta para consumo humano y se deben acoger medidas que minimicen los riesgos a la salud de la comunidad y que garanticen mejorías, reduciendo peligros presentes dentro de los usuarios que se benefician de este acueducto.

10 ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

Teniendo en cuenta los resultados arrojados en la investigación y estableciendo la calificación del agua según la resolución 2115 del 2007, se proponen dos alternativas de tratamiento para el acueducto rural del corregimiento de Santa Ana, Guática, con la finalidad de minimizar el impacto generado en la población por el consumo de agua sin tratar y de esta forma mejorar la calidad de vida de los consumidores.

En la imagen 9, se observa el actual sistema de captación y distribución de agua.

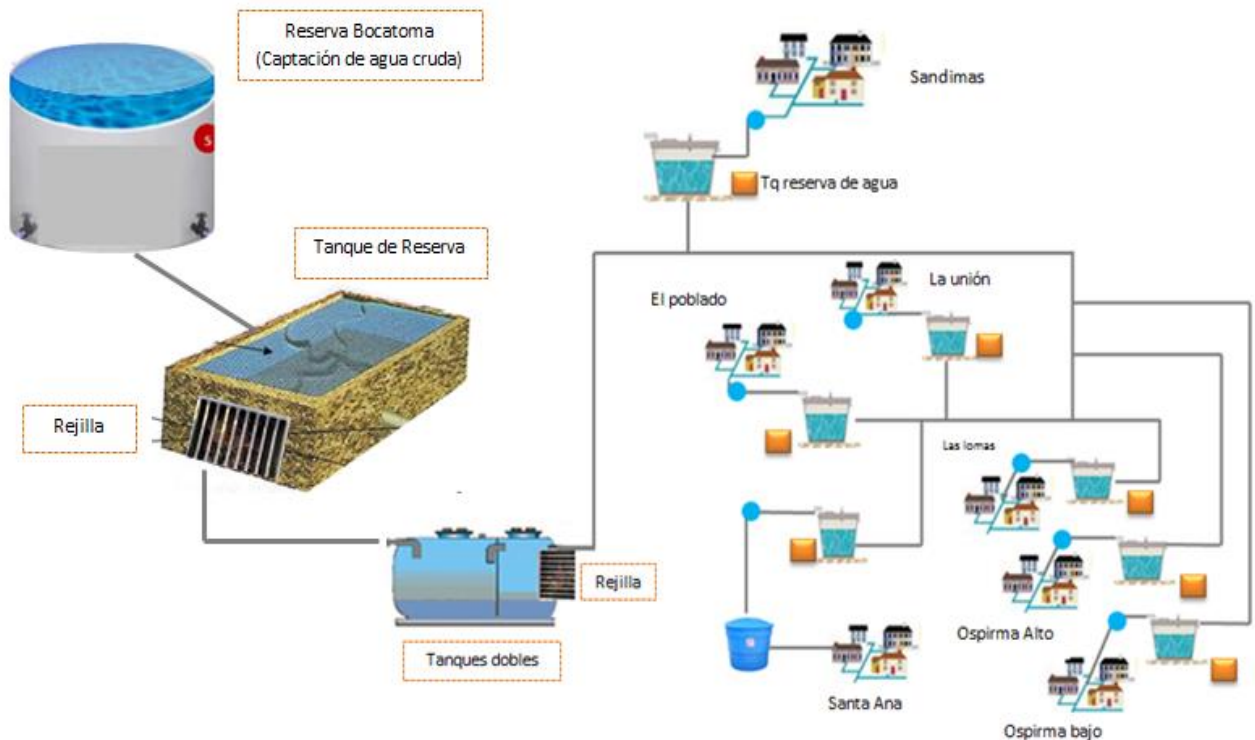


Imagen 9. Plano sistema abastecimiento actual Santa Ana.

En la tabla 35 se establece la calificación de los parámetros que debe cumplir el agua para consumo humano, determinándose la falencia en parámetros como acidez, nitritos, color, cadmio y análisis microbiológicos. Estas falencias son determinantes a la hora de proponer una alternativa de tratamiento. A continuación se denotan los tratamientos pertinentes:

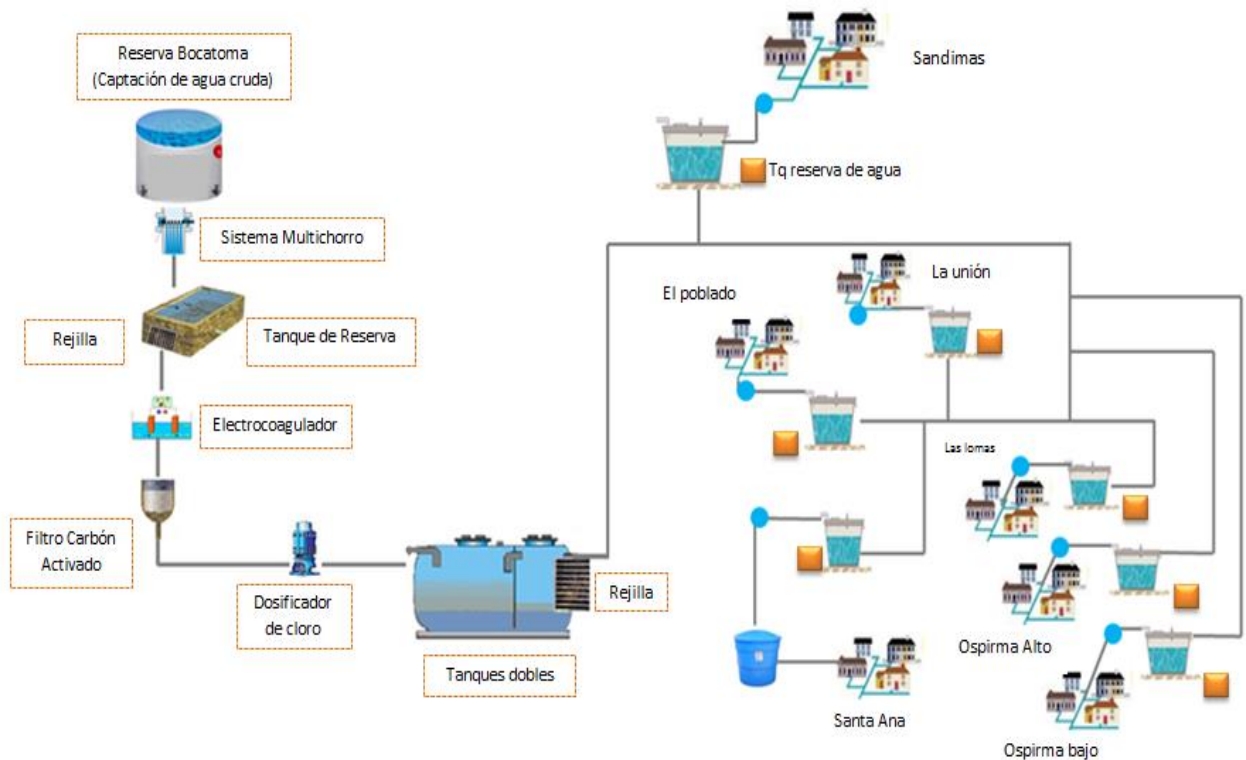


Imagen 10. Plano sistema abastecimiento propuesto Santa Ana.

10.1 Sistema multichorro

El sistema multichorros fue desarrollado especialmente para ajustar las pérdidas de carga de un circuito hidráulico, permitiendo la regulación (manual o automática), del caudal o cualquier otro parámetro ligado a ella como presión, caudal y temperatura. Su operación reside en la forma de disipar la energía del fluido: el flujo es fraccionado en múltiples chorros, distribuidos uniformemente dentro de toda la sección de la tubería.

Su sistema de operación consiste en un cuerpo en forma de anillo (1), montado entre bridas, abriga las dos placas circulares (2,3), colocadas en el sentido perpendicular al flujo y perforadas idénticamente.

La placa del lado aguas abajo (2) es fija. La placa del lado aguas arriba (3) es móvil, y desliza sobre la placa fija.

En la posición totalmente abierta los orificios de las dos placas coinciden, garantizando la mayor sección de paso de flujo. Con el desplazamiento de la placa móvil los orificios de la placa fija quedan parcialmente obstruidos y la sección de paso de flujo disminuye progresivamente hasta la obturación total correspondiente a la válvula cerrada. El movimiento de la placa móvil puede ser comandado,

manual o por intermedio de un actuador, eventualmente controlado por el parámetro a regular por intermedio de un controlador regulador electrónico.

Para la alternativa de tratamiento la implementación del sistema multichorros se propone con la finalidad de disminuir el caudal de agua, garantizando un flujo constante para hacer más efectivo el tratamiento al pasar por las siguientes etapas.

10.2 Electrocoagulador

La electrocoagulación es un proceso electroquímico en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales. Mediante este proceso se puede separar simultáneamente metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos emulsionados y otros muchos contaminantes del agua utilizando la electricidad en lugar de reactivos químicos. Los lodos producidos durante el tratamiento se separan posteriormente por filtración, decantación o flotación. (Barboza Palomino, 2011)

Es una técnica con ventajas comparativas con respecto a las tecnologías tradicionales de tratamiento de aguas tales como costos de operación menores, requiere de equipos simples y de fácil operación, elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos, tiene alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes, el proceso puede funcionar a temperatura ambiente y presión ambiental, es una tecnología respetuosa con el medioambiente porque solamente usa electricidad.

La finalidad de un sistema de electrocoagulación como alternativa de este estudio es la remoción del Cadmio presente en abastecimiento de agua del corregimiento de Santa Ana, Guática, de igual forma contribuye a la disminución de contaminantes microbiológicos, aunque es necesario identificar la causa que genera presencia de este metal en el agua.

10.3 Sistema de adsorción filtro carbón activado

Este sistema de filtración con carbón activado consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante la filtración a través de un lecho de esta materia, consiguiendo que los oligominerales pasen a través de los microporos, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados.

En el estudio se desarrollaron ensayos con un filtro de carbón activado, el cual presento excelente rendimiento con respecto a la remoción de color. Además se desarrolló una caracterización del carbón activado para garantizar las propiedades más adecuadas como lo son la porosidad y superficie, las propiedades del carbón activado se encuentran expresadas en el anexo B. Es por lo anterior que se propone la implementación del filtro de carbón activado, teniendo en cuenta que se debe realizar un mantenimiento, se propone según los análisis un mantenimiento semestral para garantizar la eficiencia y efectividad del filtro, ya que la carga orgánica determinada en el estudio no es muy representativa.

En el tratamiento para el agua analizada este filtro se propone con la finalidad de asegurar el cumplimiento de los parámetros exigidos para el agua de consumo humano, de igual manera disminuir las condiciones afectadas por factores ambientales.

10.4 Dosificador de cloro

En el análisis realizado se obtuvo la necesidad de tratamiento en cuanto a la desinfección del agua, con el fin de asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente saludable mediante la destrucción de los agentes patógenos, garantizando una barrera protectora contra los gérmenes dañinos a la salud humana que se podrían introducir en el sistema de abastecimiento, suprimiendo de esta manera la posterior contaminación microbiológica del agua. Por lo anterior se propone la dosificación de cloro.

10.4.1 Determinación del Cloro a dosificar

En el estudio se desarrolló el análisis para la demanda de cloro y cloro residual, determinando la dosis adecuada de cloro y el periodo de contacto con el agua para su desinfección, a continuación se muestran los valores obtenidos para la dosificación de cloro teniendo en cuenta las instalaciones con las que cuenta el corregimiento:

Dosis de cloro: 3 mg/L de una solución de cloro de 50.000 ppm.

Caudal captación de agua: 20L/s

Caudal posterior a tratamiento físico: 10L/s

Cantidad de cloro que se va a dosificar: 2,16 g/h

Tiempo de contacto: 1 hora

Se debe asegurar que el sistema de abastecimiento de agua contenga un pH entre 6- 7, ya que este es un factor importante en la cloración de aguas; con respecto al tiempo de contacto entre mayor sea este parámetro, más efectiva será su acción y la dosis de cloro puede ser menor.

10.4.2 Preparación de la soluciones de los productos no gaseosos – Por dilución

- Se debe contar con un tanque de dilución con la capacidad para dosificar durante un periodo de 24 horas de manera que facilite su operación.
- Se debe asegurar la completa disolución del producto en el agua o emplear la concentración necesaria de la solución de cloro que no necesite dilución antes de la aplicación.
- Debido a que la alcalinidad del hipoclorito de sodio concentrado precipita la dureza del agua de dilución, lo cual también puede producir incrustaciones en los dosificadores y tuberías; se recomienda preparar la solución con 24 horas de anticipación, de tal manera que los precipitados tengan tiempo de sedimentar.

10.4.3 Instalación de dosificación

- Bomba dosificación modo constante: Dosifica el producto químico todo el tiempo a una rata de dosificación fijada por el operador.
- Control de nivel: Detiene la bomba cuando no hay producto químico en el tanque.
- Contenedor solución de cloro: Almacena el producto para la desinfección.

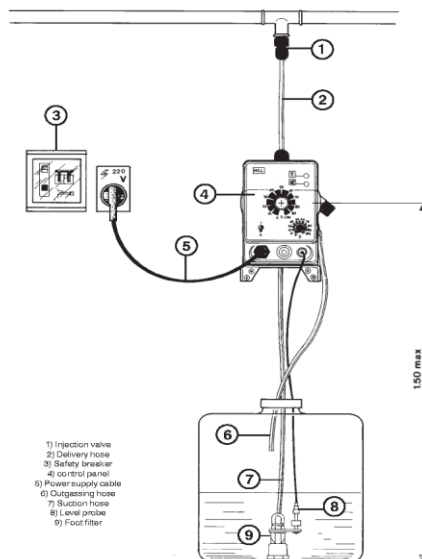


Imagen 11. Sistema dosificador de cloro.

10.4.4 Ubicación del dosificador de cloro en el sistema de abastecimiento de agua

Como se observa en la imagen 10, la ubicación del sistema de dosificación de cloro se plantea en el ingreso del agua antes de los tanques dobles de captación, con el fin de aprovechar las instalaciones con las que se cuenta en la actualidad, y garantizar el tiempo de contacto del químico con el agua.

10.5 ALTERNATIVA I

GRUPO	TRATAMIENTO	OPERACIÓN
TIPO A1	Tratamiento Físico simple	Regulador de flujo: sistema multichorro
		Filtración rápida: filtro carbón activado
		Desinfección: dosificador de cloro

Tabla 39. Alternativa de tratamiento I.

Para la implementación de la alternativa anterior, se propone el cambio de las tuberías presentes formadas por aleaciones de zinc, por tuberías de pvc que garanticen una óptima desinfección y no presente incrustaciones de cloro por reacción de este con el metal presente en la tubería, además para hacer ensayos posteriores de remoción de cadmio presente, debido a que en las tuberías antiguas y que están formadas por estas aleaciones hay facilidad de producción de cadmio y contaminación de agua con este metal; es de resaltar que como primera medida es el cambio de estas tuberías y posteriormente el resultado de los ensayos realizados, la implementación de la alternativa II dependerá de si se logra o no una remoción significativa del metal que cumpla con la concentración mínima permitida en la normatividad, de lograr un resultado positivo con la alternativa I no se hace necesario más cambios en el acueducto, de lo contrario se plantean otras técnicas de remoción, pero proponiendo de igual manera el cambio de todas las tuberías y así lograr eficiencia y efectividad alta en el tratamiento de potabilización.

10.6 ALTERNATIVA II

GRUPO	TRATAMIENTO	OPERACIÓN
TIPO A2	Tratamiento Físico normal y técnica electroquímica.	Regulador de flujo: sistema multichorro.
		Técnica electroquímica: electrocoagulación.
		Filtración rápida: filtro carbón activado.
		Desinfección: dosificador de cloro.

Tabla 40. Alternativa de tratamiento II.

10.7 Recomendaciones

Para la disminución o remoción de metales pesados en el agua se recomiendan alternativas de tratamiento como técnicas de membrana, intercambio iónico, técnicas de adsorción (Carbón activado), precipitación química, ósmosis inversa, así como técnicas de biosorción empleando materiales orgánicos como cascara de arroz, desechos de industrias de té, posos de café, madera de papaya, serrín de pino entre otros.

11 CONCLUSIONES

- ❖ Para el análisis realizado en el acueducto rural de Santa Ana, Guática no fue necesario la aplicación de la técnica prueba de jarras para la determinación del tratamiento adecuado para el agua analizada, debido a que la carga orgánica presente en esta no es relevante y el coagulante no ayudaba mucho para la remoción de esta materia, por lo anterior no se llevó a cabo el análisis para las últimas muestras y dentro de la alternativa propuesta no se tiene en cuenta los resultados arrojados en la prueba.
- ❖ Según el estudio sobre el tratamiento de agua realizado en el corregimiento de Santa Ana, Guática, se determina "Riesgo Alto " y la necesidad de tratamiento para el agua con respecto a las altas concentraciones de cadmio determinadas, por lo que se plantean durante el proyecto alternativas como la electrocoagulación una técnica eficiente en cuanto a la remoción del metal sin necesidad de regeneración pero de alto costo, así como el cambio de tuberías y la filtración con carbón activado actuando como un absorbente con la finalidad de eliminar impurezas de naturaleza orgánica, gama de contaminantes como aromáticos o pesticidas, sin embargo son de bajo costo pero no selectivos por lo que no contribuyen demasiado a la disminución en la concentración de metales pesados.
- ❖ Con la finalidad de establecen una alternativas para el tratamiento de agua en el corregimiento de Santa Ana con respecto a la disminución de cadmio, se recomienda continuar con el estudio de técnicas de separación empleando materiales vegetales, los cuales actuaran como adsorbentes de impurezas ayudando a la disminución de concentración de cadmio, basados en los estudios realizados hasta el momento, con la finalidad de establecer una técnica adecuada, que presente mejoras en cuanto al valor necesario establecido por la legislación, además de eficiente y de bajo costo.

- ❖ Las alternativas de tratamiento propuestas se plantean con el fin de garantizar una mejor calidad de agua de consumo humano, teniendo en cuenta el cumplimiento de la normatividad que rige a Colombia, en este caso la resolución 2115 de 2007.

12 BIBLIOGRAFIA

- Agency for Toxic Substances & Disease Registry, (2004). Reseña toxicológica del cobre. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 10 p. [En línea].
- Albert, L. a. (1997). Cromo. *Introducción a La Toxicología Ambiental*.
- Alberto, C., Sierra, S., Enrique, M., & Bertel, C. (2013). MANUAL DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS BÁSICOS EN AGUAS.
- Alcaldía de Guática - Risaralda. (2015). Nuestro Municipio. Retrieved February 21, 2016, [en línea]: www.guatica-risaralda.gov.co/informacion_general.shtml#indicadores
- Alvarado Espejo, P. (2013). Estudios y diseños del sistema de agua potable del barrio San Vicente, cantón Gonzanamá, 219.
- Análisis físico - químico y bacteriológico de aguas. (1971).
- Arias Hoyos Luz Mary, R. A. A. (2012). GUÁTICA SU HISTORIA Y SU FUTURO.
- Arrubla Juan Pablo. “Manual de Productos industriales”, (Capítulo 4: Análisis de aguas, 2.7 Pruebas de jarras), Universidad Tecnológica de Pereira.
- Barboza Palomino, G. I. (2011). Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá –Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación, 145.
- Caminati, Alessandra María, Caqui, C. (2013). ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA.
- Carder, R., Ambientales, D. D. E. R., & Biofísicos, A. (n.d.). DIAGNÓSTICO DE RIESGOS AMBIENTALES MUNICIPIO DE GUÁTICA RISARALDA.
- Defensoría del Pueblo. (2011). Diagnóstico Sobre La Calidad Del Agua Para El Consumo Humano En Colombia, En El Marco Del Derecho Humano Al Agua, (39).
- El tiempo. (2015). *artículo tiempo el olvido de los acueductos rurales*.
- Ferrer, A. (n.d.). Intoxicación por metales. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 26, 141–153. [en línea]: www.scielo.isciii.es/scielo
- Hospital Guática. (2013). PRIMERAS CAUSAS Hospital Guática.

ICONTEC. (2014). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 813, 813.

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). [En línea]. Actualizada: 19 Octubre 2014. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014]. <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

Ing, D., Orellana, J. a, N^o, U. T., & Cuentas, A. (2005). Características del agua potable. *Ingeniería Sanitaria*, 1–7.

Inno-vita. (2009). Metales pesados. *Los Océanos*, 5. [en línea]: [www.inno-vita.com/pdf/training pdf/HM-spanish print.pdf](http://www.inno-vita.com/pdf/training/pdf/HM-spanish%20print.pdf)

Jaramillo, G. A. (2015). PROGRAMA DE MANEJO INTEGRAL ACUEDUCTOS RURALES. *PhD Proposal*, 1. [en línea]: <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

MANCILLA-VILLA, Ó. R., ORTEGA-ESCOBAR, H. M., RAMÍREZ-AYALA, C., USCANGA-MORTERA, E., RAMOS-BELLO, R., & REYES-ORTIGOZA, A. L. (2012). METALES PESADOS TOTALES Y ARSÉNICO EN EL AGUA PARA RIEGO DE PUEBLA Y VERACRUZ, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 39–48. [en línea]: www.redalyc.org/articulo.oa?id=37023172004

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico Ras -2000, 206. [en línea]: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf

Orbe Dávila, C. (2013). DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA PARROQUIAL DEL MINDO, CANTÓN SAN MIGUEL DE LOS BANCOS, PROVIENCIA DE PICHINCHA.

Organización mundial de la salud. (2004). Informe sobre la salud del mundo. Cambiemos el rumbo de la historia, 103.

Ponce Ochoa, E. (2005). FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE, 14–35. [en línea]: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo2.pdf

Presidente de la republica de colombia. (1998). Decreto 475 de 1998 por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. *16 De Marzo*. [en línea]: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

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

Rigola Lapenña Miguel. *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Marcombo, S.A, 1990. Barcelona (España).

Social, M. de protección. (2007). RESOLUCIÓN 2115 DEL 2007, 2007(46).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995.

13 ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE PRUEBAS

ANEXO B. ÁREA CARBÓN ACTIVADO

ANEXO C. IR CARBÓN ACTIVADO

ANEXO D. PRIMERAS CAUSAS HOSPITAL GUÁTICA

ANEXO E. MATERIAS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

ANEXO F. REACTIVOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

ANEXO G. TABLA NMP

ANEXO H. CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE
PARAMETROS FÍSICO- QUÍMICOS Y METALES PESADOS.

ANEXO I. ANALISIS DEL IRCA PARA EL AGUA ANALIZADA.