

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(111)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	JESÚS ALBEIRO AMAYA LÓPEZ		
FACULTAD	DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTORA	ESP. YEENY LOZANO LÁZARO		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN CALIXTO, NORTE DE SANTANDER.		
RESUMEN			
<p>BAJO EL CONCEPTO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE, EL AGUA ES EL RECURSO CUYA DISPONIBILIDAD, DISTRIBUCIÓN Y CALIDAD IMPACTARÁ SIGNIFICATIVAMENTE EN LOS USOS Y COSTUMBRES HUMANAS. POR TAL MOTIVO EL PRESENTE TRABAJO EVALÚA LA CALIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN CALIXTO, DESDE SU FUENTE DE ABASTECIMIENTO HASTA LA RED DE DISTRIBUCIÓN, DETERMINANDO ASÍ, LA CALIDAD DEL AGUA CONSUMIDA POR DICHA POBLACIÓN E IDENTIFICANDO OPORTUNIDADES DE MEJORA.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 111	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS
DE MEJORA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN CALIXTO,
NORTE DE SANTANDER.

AUTOR:

JESÚS ALBEIRO AMAYA LÓPEZ

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Ambiental

Directora:

Esp. YEENY LOZANO LAZARO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Febrero, 2017

Dedicatoria

Agradezco primero que todo al buen Dios que me ha permitido alcanzar este logro académico en mi vida, a mi familia en especial a mi abuela Angélica Alsina y al presbítero y psicólogo Jairo López Ramírez quienes han sido los motores de este proyecto de vida y de igual forma a todos aquellos que de una u otra manera me han ayudado en la contribución de este logro.

Dedico de manera especial este trabajo de grado a mi padre Duvan Amaya quien ya partió de este mundo y que desde el cielo guía cada uno de mis pasos.

Agradecimientos

Primeramente agradezco a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por haberme aceptado ser parte de ella y poder estudiar mi carrera, así como cada uno de los docentes que durante este proyecto me brindaron sus conocimientos y apoyo.

Agradezco de una manera muy especial a mi directora de proyecto la especialista Yeeny Lozano Lázaro quien me ha orientado, apoyado y dirigido de manera incondicional durante la ejecución de este proyecto y de quien puedo decir es la mejor docente que tuve a lo largo de mi formación profesional.

Por ultimo agradecer a todos mis amigos y compañeros con quienes compartí durante estos cinco años.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Evaluación de la calidad del agua y formulación de alternativas de mejora del sistema de acueducto del municipio de San Calixto, Norte de Santander.	2
1.1 Problema de investigación	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Formulación del problema	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general.	6
1.4.2 Objetivos específicos.	6
1.5 Justificación.....	7
1.6 Delimitaciones.....	9
1.6.1 Delimitación operativa.	9
1.6.2 Delimitación Conceptual..	9
1.6.3 Delimitación Geográfica.....	9
1.6.4 Delimitación Temporal.....	10
 Capítulo 2: Marco referencial.....	 11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Marco histórico	14
2.3 Marco contextual.....	18
2.4 Marco conceptual	19
2.4.1 Calidad del agua	19
2.4.2 Planta de tratamiento	20
2.4.3 Los parámetros físico-químicos.....	20
2.4.4 Parámetros microbiológicos	20
2.4.5 Diagnóstico.....	21
2.4.6 Evaluación	21
2.4.7 Control y vigilancia	21
2.4.8 Salud pública	22
2.4.9 Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA).....	22
2.4.10 Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano (IRABAm).....	23
2.4.11 Índice de calidad del agua (ICA).....	23
2.4.12 Muestreo	23
2.4.13 Muestra	24
2.5 Marco teórico	25
2.5.1 Calidad del agua	25

2.5.2 Estándares de calidad de agua cruda para seleccionar un sistema de potabilización en Colombia	26
2.5.3 Índices de calidad del agua en Colombia.	27
2.5.4 Agua tratada (agua potable).....	29
2.5.5 Parámetros de calidad del agua potable.....	32
2.6 Marco legal.....	37
2.6.1 Decreto 1594 de 1984.....	37
2.6.2 Marco constitucional	37
2.6.3 Ley 142 de 1994	38
2.6.4 Decreto 1575 de 20007.....	40
2.6.5 Resolución 2115 de 2007	40
2.6.6 Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título B “sistemas de acueducto”	40
2.6.7 Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título C “sistemas de potabilización”	40
2.6.8 Resolución 082 de 2009	41
2.6.9 Resolución 811	41
Capítulo 3: Diseño metodológico	42
3.1 Tipo de investigación	42
3.2 Población.....	43
3.3 Muestra.....	43
3.4 Técnica e instrumentos de recolección de la información	45
3.5 Análisis de información	47
Capítulo 4: Resultados.....	52
4.1 Análisis de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento y de consumo humano del municipio de San Calixto.	52
4.1.1 Calculo de los índices de calidad e índices de contaminación	53
4.2 diagnóstico técnico y operativo de la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de San Calixto	67
4.2.1 Componentes del sistema	67
4.2.2 Fuente de abastecimiento.....	68
4.2.3 Bocatoma	68
4.2.4 Desarenador	69
4.2.5 Aducción.....	69
4.2.6 Sedimentación	69
4.2.7 Filtración.....	70
4.2.8 Tanque de cloración.....	70
4.2.9 Tanque de almacenamiento	70

4.2.10 Red de distribución.....	71
4.3 Identificación de alternativas de mejora para sistema de acueducto.....	75
4.3.1 Compra de áreas estratégicas.....	76
4.3.2 Elaboración del plan de manejo ambiental de la microcuenca.....	77
4.3.3 Cálculo del caudal de diseño	78
4.3.4 Construcción de una canaleta tipo Parshall	81
4.3.5 Sedimentador	83
4.3.6 Cloración	84
4.3.7 Macro y micromedidores.....	86
Capítulo 5: Conclusiones	87
Capítulo 6: Recomendaciones	89
Referencias.....	91
Apéndices	94
Apéndice A. Resultados de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas.....	95
Apéndice B. Formato de encuestas	98
Apéndice C. Evidencias fotográficas	100

Lista de tablas

Tabla 1 requisitos de tratamiento según la USPHS de acuerdo a la calidad bacteriológica	26
Tabla 2 criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano	27
Tabla 3 características físicas según la resolución 2115 de 2007	36
Tabla 4 características microbiológicas según la resolución 2115 de 2007	36
Tabla 5 características químicas según la resolución 2115 de 2007	36
Tabla 6 Rótulo para las muestras de agua.....	44
Tabla 7 clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA	48
Tabla 8 clasificación según los valores que tome el ICA	49
Tabla 9 escala de color de acuerdo al ICOMI.....	49
Tabla 10 escala de color de acuerdo al ICOMO	50
Tabla 11 escala de color de acuerdo al ICOSUS	51
Tabla 12 resultados físicoquímicos y microbiológicos de la fuente de abastecimiento	53
Tabla 13 resultados del cálculo del ICA	54
Tabla 14 resultados del cálculo del ICOSUS.....	56
Tabla 15 resultado del cálculo del ICOMI.....	58
Tabla 16 resultado del cálculo del ICOMO	60
Tabla 17 nivel de calidad de acuerdo al grado de polución RAS 2000	63
Tabla 18 resultados de pruebas físicoquímicas y microbiológicas del agua potable.....	64
Tabla 19 cálculo del índice de tratamiento	65
Tabla 20 cálculo del índice de continuidad.....	66
Tabla 21 matriz DOFA	75
Tabla 22 nivel de complejidad.....	78
Tabla 23 dotación	79

Lista de figuras

Figura 1. Modelo de planta de tratamiento convencional.....	32
Figura 2. Planta para suministro pequeña con agua cruda de buena calidad.....	32
Figura 3: Puntos de muestreo.....	44
Figura 4: Estructura del diseño metodológico	45
Figura 5: Gráfica del ICA de la quebrada la Maravilla	54
Figura 6: Grafica del ICOSUS quebrada la Maravilla.....	56
Figura 7: Grafica del ICOMI quebrada la Maravilla	59
Figura 8: Grafica del ICOSUS quebrada la Maravilla.....	61
Figura 9: Esquema de la planta de tratamiento del municipio de San Calixto.	72
Figura 10: Canaleta tipo Parshall.....	82
Figura 11: Modelo de sedimentador con flujo horizontal.....	84

Introducción

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU, 2014); en nuestro país esta problemática no ha sido ajena y por tal motivo en muchos municipios se presentan problemas entorno a la calidad del agua, por falta de conocimiento e inversión en los sistemas de potabilización.

En Colombia la calidad del agua es una de las finalidades sociales del estado, consagrados en el artículo 366 de la constitución política y por tal motivo los municipios deben dar cumplimiento a dicho mandato para lo cual requieren de estudios que faciliten su accionar.

A lo largo de este trabajo encontraremos un análisis detallado de la evaluación de la calidad del agua del municipio de San Calixto, en el cual se evalúa tanto la fuente de abastecimiento como la calidad de agua suministrada por la persona prestadora a dicha población. Para tal fin se analizaron los índices de calidad y contaminación del agua y lo establecido por la resolución 2115 de 2007, lineamientos bajo los cuales se analiza la calidad del agua y de esta manera identificar alternativas de mejora dentro del sistema de tratamiento del agua.

Capítulo 1: Evaluación de la calidad del agua y formulación de alternativas de mejora del sistema de acueducto del municipio de San Calixto, Norte de Santander.

La calidad del agua es un parámetro importante que afecta a todos los aspectos de los ecosistemas y el bienestar del ser humano, pues es indispensable para la salud humana, la producción de alimentos, actividades económicas y la diversidad biológica (ONU, 2010), tal y como lo afirma (Bokova, 2010) quien establece que “el agua es fundamental para la vida en la tierra”.

Sin embargo, a pesar de la importancia en que tienen los recursos hídricos, estos se encuentran amenazados por “la urbanización descontrolada, el desarrollo industrial, la deforestación, la conversión de los ecosistemas para uso agrícola y ganadero, por el uso excesivo y la contaminación” (Hernández, 2010), afectando directamente tanto la disponibilidad como la calidad del recurso hídrico.

1.1 Problema de investigación

En el municipio de san Calixto históricamente se han presentado problemas en torno a la calidad y cantidad del agua como lo afirma la *Defensoría del Pueblo* (DP, sf) en el informe *Diagnóstico sobre calidad del agua para consumo humano en Colombia, en el marco del derecho humano al agua*. Según el informe de la defensoría, esta misma problemática la viven también los habitantes del municipio del Tarra que pertenece a la misma región clasificándolos

como las “municipalidades con una calidad del agua pésima” (p. 67). Sumado a esto en la actualidad el déficit de agua de la fuente abastecedora ha provocado cortes y suspensiones prolongadas afectando el normal desarrollo de las actividades del municipio y se puede catalogar como uno los principales factores de inconformidad de la población.

1.2 Planteamiento del problema

Según Quijada (2005) la actividad humana es la principal amenaza a la biodiversidad del planeta, ya que ocasiona graves cambios en la atmósfera, suelos, bosques y en los depósitos de agua, ocasionados principalmente por la sobreexplotación y el consumo desmedido de los recursos y catalogando el agua como el recurso natural de mayor consumo en el mundo con un uso irracional del mismo y en consecuencia de ello se están ocasionando enormes pérdidas del líquido.

A raíz de lo anterior la *Organización de las naciones unidas* (ONU, 2014) afirma que la calidad del agua se ha convertido en uno de los temas centrales de la humanidad debido al crecimiento acelerado de la población, la expansión de la frontera agrícola e industrial así como el cambio climático. Cada día son más evidentes los cambios inducidos por el ser humano en el ambiente, donde el recurso hídrico recibe una gran cantidad de impactos ambientales negativos por ser parte fundamental del desarrollo de muchas actividades humanas. Según Mamani, Suarez y Garcia (2003) la afectación en la calidad del agua tiene su origen en acciones como la precipitación atmosférica (aguas pluviales, lluvias), escorrentía agrícola (aguas arrastradas de terrenos irrigados), escorrentía superficial de zonas urbanizadas (aguas arrastradas de centros urbanos), vertidos de aguas procedentes de uso doméstico (aguas residuales domesticas) y

descargas de vertidos industriales (aguas de procesos tecnológicos), lo cual limita el uso del recurso hídrico a corto, mediano y largo plazo así como la calidad para consumo humano del mismo.

En el municipio de San Calixto no es ajeno a esta dificultad de brindar acceso seguro y continuo del preciado líquido a sus pobladores, teniendo en cuenta que la principal fuente de abastecimiento de agua para el casco urbano que es la quebrada La Maravilla y de la cual se abastecen de acuerdo a datos de la unidad de servicios públicos de San Calixto (USPSC, 2016) 322 usuarios, ha sido altamente intervenida por actividades antrópicas predominando principalmente las actividades agrícolas y pecuarias, afectando directamente tanto en calidad como disponibilidad del recurso que provee dicha microcuenca.

Según la *Defensoría del Pueblo* (DP, 2006) en el informe *Diagnóstico sobre la calidad del agua para consumo humano* el municipio de San Calixto se abastecía de agua con un índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) de 37,1% que de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 este se clasifica en un nivel de riesgo alto, es decir, es un agua no apta para consumo humano. En la actualidad se han evidenciado algunas mejoras en la prestación del servicio gracias a inversiones realizadas por los mandatarios locales, sin embargo, no han contribuido a una solución total a la situación, pues en épocas de lluvia el agua presenta cierto grado de turbidez y en reiteradas ocasiones se evidencia claramente sabor a cloro, el cual se utiliza en el proceso de potabilización como agente desinfectante; esto queda demostrado en recientes informes emitidos por el *Instituto Departamental de Salud* (IDS, 2016) los cuales indican que para el mes de febrero de 2016 el IRCA fue de cero no representando ningún riesgo para la comunidad, sin embargo, para el mes de mayo del mismo año el IRCA fue de 25,86

indicando un nivel de riesgo medio siendo un indicador de la existencia de falencias en la potabilización del agua y a su vez exponiendo a la población a riesgos sobre su salud.

Por otra parte el (IDS, 2016) en una visita de inspección sanitaria al sistema de suministro de agua para el consumo humano del municipio de San Calixto encontró que índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora (IRABA pp) obtuvo un puntaje de 65 puntos clasificando está en un nivel de riesgo alto el cual puede tener implicaciones directas en la calidad tanto del agua para consumo humano como de la prestación del servicio.

A demás se hace necesario conocer los índices de calidad de la fuente hídrica (Q. La Maravilla), establecidos por el *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia* (IDEAM) y de allí determinar soluciones de tratamiento del agua, para tal fin se hace necesario conocer los índices de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS), índice de contaminación por mineralización (ICOMI), el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de calidad del agua (ICA).

1.3 Formulación del problema

¿Qué alternativas de mejora requiere el sistema de acueducto del municipio de San Calixto Norte de Santander, de acuerdo a la evaluación de la calidad del agua y condiciones de infraestructura?

Con el fin de dar respuesta a lo anteriormente expuesto, se plantean los siguientes objetivos, los cuales servirán de guía durante la ejecución del proyecto, los objetivos se enumeran a continuación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Realizar una evaluación de la calidad del agua y formular alternativas de mejora del sistema de acueducto del municipio de San Calixto, Norte de Santander.

1.4.2 Objetivos específicos. Analizar la calidad del agua de la fuente de abastecimiento y de consumo humano del municipio de San Calixto mediante la evaluación de los indicadores de riesgo establecidos en la legislación colombiana que regula la materia para establecer el sistema de tratamiento más adecuado.

Efectuar un diagnóstico técnico y operativo de la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de San Calixto, Norte de Santander, con el fin de determinar falencias y oportunidades de mejora en el proceso de potabilización.

Identificar alternativas de mejora en el proceso de potabilización del agua de acuerdo a los criterios establecidos por el ras 2000 que permitan una mejor prestación del servicio.

1.5 Justificación

Según García *et al.* (2013), “en el mundo las principales problemáticas en torno al recurso agua son su abasto irregular e insalubre” (p. 4). En el mismo sentido Valtueña (2002) propone que la mayoría de las enfermedades transmitidas por el agua constituyen el 80% de las afecciones que sufren las personas del tercer mundo, esto en base a las condiciones de pobreza en la que se encuentran muchos de los países, así como la falta de inversión social por parte de cada uno de los gobiernos en acciones que ayuden a mejorar el suministro de agua potable.

La *Organización de las Naciones Unidas* plantea dentro de los objetivos de desarrollo sostenible 2015-2030 en su objetivo número 6 que se debe “garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” y de igual forma el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018 dentro de la gestión integral del recurso hídrico tiene como acción estratégica el mejoramiento de la calidad del agua, por tanto es necesario conocer cuál es el estado de la calidad del agua que consume la población del municipio de San Calixto y poder determinar así, si esta se encuentra articulado a los lineamientos nacionales e internacionales o de lo contrario buscar que acciones correctivas que se deben implementar para lograr el cumplimiento de estos objetivos.

A pesar de que la microcuenca que abastece la planta de tratamiento no tiene un alto grado de contaminación directa y como establece la *Organización Panamericana de la Salud* (OPS, 1988) que la gran parte de las áreas rurales de los países en desarrollo los problemas de calidad del agua se deben principalmente a contaminación bacteriológica u otras clases de componentes biológicos, se pueden generar graves problemas por contaminación química al recurso hídrico

emergiendo de actividades como la explotación agropecuaria (uso y abuso de nitratos como fertilizantes) o provenir de fuentes naturales (por ejemplo el hierro y los fluoruros), siendo necesario medir un número seleccionado de parámetros fisicoquímicos para determinar si existe problemas de este tipo; de igual forma hay que contemplar que podría ser muy costoso y físicamente impracticable cubrir un número grande de parámetros, y de esta forma las pruebas se limitan de manera principal a la inspección sanitaria y análisis microbiológicos.

Por otra parte, el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 títulos B *Sistemas de acueducto* y C *sistemas de potabilización* fija unos criterios básicos y requisitos mínimos que se deben cumplir en cuanto al diseño de construcción, supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueductos que se desarrollen en el país con el fin de garantizar la funcionalidad y una buena prestación del servicio; por tanto el enfoque de este proyecto será en la parte de operación con el objetivo de determinar si esta planta de tratamiento se ajusta a dicho reglamento y lo anteriormente expuesto se debe articular a lo establecido por la resolución 2115 de 2007 la cual es la encargada de regular la calidad del agua en todo el territorio nacional.

1.6 Delimitaciones

1.6.1 Delimitación operativa. El proyecto de investigación estará enmarcado dentro de la legislación pertinente al sector agua potable resolución 2115 de 2007 por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, decreto 1575 de 2007 por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano, el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 títulos B “sistemas de acueducto” y C “sistemas de potabilización” el decreto 1594 de 1984 y la resolución 082 de 2009 por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.

1.6.2 Delimitación Conceptual. Para la ejecución y mejor entendimiento de esta investigación no enfocaremos en las siguientes definiciones, entre las cuales lo correspondiente a calidad del agua encontramos los parámetros físico-químicos, parámetros microbiológicos, salud pública, muestra, muestreo, índice de calidad ambiental (ICA) índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano (IRABAm) y calidad del agua, en la parte del diagnóstico técnico y operativo se tendrá en cuenta lo correspondiente a que es un diagnóstico, evaluación, control y vigilancia.

1.6.3 Delimitación Geográfica. Este proyecto se efectuara en el municipio de San Calixto Norte de Santander.

1.6.4 Delimitación Temporal. Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se espera desarrollarse en un tiempo de cuatro (4) meses una vez aprobado el anteproyecto.

Capítulo 2: Marco referencial

2.1 Antecedentes

La ONU (2014) afirma que la calidad del agua se ha convertido en un motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, pues actividades como las agrícolas, industriales y el cambio climático han afectado tanto la disponibilidad como calidad del recurso, a nivel global el principal problema del agua está relacionado con la eutrofización, que es el resultado del aumento de los nutrientes (generalmente fosforo y nitrógeno) que afecta sustancialmente a los usos del agua.

En la actualidad desde las naciones unidas se viene trabajando en este tema pues el objetivo número 6 de los objetivos de desarrollo sostenible nos habla acerca de garantizar la disponibilidad del agua y sus gestión sostenible y el saneamiento para todos, es decir que se debe garantizar el agua libre de impurezas y accesible para todos con el fin de lograr una mejor calidad de vida de la población mundial.

De acuerdo a Miralles (2014) en América Latina y el Caribe la mayoría de los países presentan un acceso restringido al recurso hídrico, relacionado con problemas de escasez que se origina por la mala gestión del recurso y el cambio climático que soportamos en la actualidad y también afirma que a todos los países de la región los aflige la mala calidad del agua, que se origina en problemas como la contaminación causada por los sistemas de disposición de aguas residuales, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas causadas por prácticas agrícolas e industriales y la salinización de los acuíferos cercanos a la costas. De acuerdo a esto y

otros factores que afectan a la región latinoamericana, desde el *Banco Interamericano de Desarrollo* (BID) se han desarrollado una serie de documentos que dan respuesta a una necesidad del BID de tener estrategias articuladas para incrementar las actividades de recursos hídricos en los países de la región de Latinoamérica y el Caribe.

Para el caso particular del territorio colombiano según Campuzano, Roldan, Guhl y Sandoval (2012) la inadecuada planificación del uso y la ocupación de los suelos han contribuido al deterioro de las cuencas, y por ende a la cantidad y calidad de la oferta hídrica; por ellos muchos de los municipios de baja densidad poblacional presentan vulnerabilidad por disponibilidad del agua teniendo en cuenta que las fuentes de suministro actuales son quebradas, cuyas aguas se han vuelto estacionales por la degradación de las cuencas, lo anterior de muestra que pequeños sistemas de acueductos se ven afectados en cuanto a su diseño, operación y mantenimiento por exceso o déficit de agua.

En Colombia el problema de agua en las zonas urbanas no es de infraestructura, ya que en términos generales existe buena cobertura, sino de acceso a agua potable, en términos de calidad y continuidad; en cuanto a la calidad el agua, la realidad del agua suministrada es diversa, pues en ciudades grandes e intermedias se ha logrado niveles de calidad excelentes y satisfactorios; sin embargo, en muchos municipios de menor tamaño se siguen presentando serias deficiencias con respecto a los parámetros establecidos en la normatividad vigente; los problemas de calidad del agua también se relacionan con la baja capacidad institucional, operativa y financiera de la empresas pequeñas, que se refleja en el deficiente desarrollo de infraestructura, compra de insumos de potabilización y formación de capital humano (Campuzano *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto han sido diversos los estudios que se han realizado entorno a evaluar la calidad del agua de pequeños municipios y formular alternativas que permitan la mejora de la prestación del servicio. Rodríguez y Rojas (2012) evaluaron la calidad del agua en la planta de tratamiento del municipio del Hato, Santander, donde las muestras de agua fueron caracterizadas fisicoquímica y microbiológicamente por el IDEAM y de acuerdo a los resultados obtenidos, calcularon el IRCA y que de acuerdo a esta dicha planta se clasificaba en un nivel de riesgo alto, evidenciando la necesidad de cambiar el proceso y por ende la calidad del agua a consumir, por tal motivo desarrollaron un manual de operaciones para cumplir con las regulaciones ambientales vigentes, calcularon la cantidad de dosis óptima de coagulante y se rediseñó el filtrador y los sistemas de coagulación y filtración.

Ojeda (2012) realizó una caracterización fisicoquímica y de parámetros de calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable de Barrancabermeja en el cual muestra los procedimientos para el análisis de muestras de agua potable basadas en estándares internacionales y realizando seguimientos a aquellos parámetros que se encuentran por fuera de los límites reportándolos previamente al personal operativo para luego iniciar con su respectiva acción correctiva.

De igual forma Vanegas (2010) evaluó la calidad microbiológica del agua potable y residual del barrio Robles de la ciudad de Bogotá, en el cual recolectó muestras por medio de un muestreo sistemático en los grifos de agua o de diferentes tipos de recipientes destinados para el almacenamiento de agua potable, en este estudio se encontró presencia de microorganismos indicadores en el agua potable mostrando un posible riesgo para la población debido al posible

contacto directo con esta o mediante el consumo del agua potable ya que el 38,9% de la población encuestada no realiza ningún tratamiento al agua antes de ser consumida.

Por otra parte podemos evidenciar que también se han realizado trabajos entorno a los sistemas de abastecimiento veredales como lo expuesto por Gonzales y Goyeneche (2011) quienes realizaron una evaluación a la calidad del agua de cuatro acueductos veredales las cuales fueron Aguabuena (municipio de Confines), San Isidro (municipio de Gambita), Poazoque (municipio de Oiba) y Josef Sector (municipio de Suaita) donde se tomaron muestras en la bocatoma de los acueducto y luego se llevaron para sus correspondientes análisis en el laboratorio del IDEAM, a partir de esos resultados se calculó el IRCA donde se pudo evidenciar que la calidad de dichos sistemas de abastecimientos se encuentra en un nivel de riesgo inviable sanitariamente.

2.2 Marco histórico

“El agua constituye un bien público, representa un elemento fundamental en la carta de los derechos humanos y es el área de actuación de las agendas gubernamentales a fin de cumplir con los objetivos del milenio” (Tuesca *et al.*, p.5) de igual manera para la (OMS, 2006) “el agua es esencial para la vida y todas la personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible) (p.11). Por tanto los recursos hídricos son de vital importancia para el desarrollo sostenible y social de las comunidades.

Sin embargo, de acuerdo a la ONU (2010) la calidad de los recurso hídricos cada vez más son amenazada por la contaminación debido a que en los últimos 50 años los procesos de producción han generado gran cantidad de desechos que afectan la calidad del agua así como el incremento de la población mundial y según datos de la misma organización 2.500 millones de personas en el mundo viven sin un sistema adecuado de saneamiento.

A través de la historia la calidad del agua potable ha sido un factor importante en el bienestar humano, teniendo en cuenta que las enfermedades causadas por el agua potable contaminada han diezmando poblaciones enteras, y también el agua contaminada procedentes de fuentes naturales utilizadas para irrigaciones han tenido graves consecuencias (Cabildo *et al.*, 2013, p.402).

Tal es el punto que según Solsona y Méndez (2002) en un reporte de la *Organización mundial de la salud* al final del siglo XX las enfermedades diarreicas provocadas por las mala calidad del agua se ubicaba en el puesto número siete como las principales causas de muertes en el mundo por tanto como ocurre en los países desarrollados, el tratamiento adecuado y la entrega en condiciones favorables de agua segura, representan uno de los caminos más idóneos para reducir en gran medida las tasas expuestas por la OMS.

La importancia de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua para consumo humano sobre la salud pública, fue señala por Hipócrates 400 a.C. en su documento Aires, Aguas y Lugares; sin embargo, fue hasta mediados del siglo XIX que el Dr. John Snow analizo la trasmisión de un “veneno mórbido” (llamado cólera) en aguas contaminadas con heces en un pozo en Golden Square, en Londres; este hallazgo junto con

el descubrimiento en 1882 del *Bacillum coli* (coliformes totales) en la materia fecales de animales de sangre caliente, incluido el hombre, permitió establecer programas de vigilancia y control de la calidad de las aguas para consumo humano y alimentos, fundamentalmente en parámetros físico-químicos y microbiológicos. Aunado a esto y al desarrollo de la revolución sanitaria en Inglaterra, Francia, Alemania y Estados Unidos, se desarrollaron sistemas de tratamiento de agua potable y residual en forma sistemática lo cual obligo en paralelo a establecer tecnología para evaluar la calidad del agua para consumo humano (Mora, 2009, p. 112-113).

Las primeras publicaciones sobre estándares de calidad del agua fueron hechas por la OMS la cual se publicó en el año 1958 bajo el título de Normas Internacionales Para el Agua Potable y posteriormente se realizaron publicaciones con una periodicidad de 10 a 12 años, para el año 1984 las guías de la OMS para la calidad del agua potable reemplazaron las normas internacionales de la OMS para el agua potable, el cambio de normas a guías se hizo para reflejar con mayor exactitud el carácter de recomendaciones de la OMS a fin que no se interpretara como normas legales y entre el año 1993 a 1996 se publicó una segunda edición de las guías de la OMS (Solsona, 2002); estas guías (primera y segunda edición) fueron utilizadas por países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, como base para la elaboración de reglamentos y normas orientadas a garantizar la inocuidad del agua potable, con el fin de garantizar una actualización y mejor información se elaboró por parte de la OMS una tercera edición de la guía en el año 2006 llamada “guías para la calidad del agua potable” (Organización Mundial de la Salud, 2008).

América latina y el caribe son regiones relativamente ricas en recursos hídricos, pero enfrentan serios problemas de contaminación localizada y desigual distribución espacial y temporal del agua; con solo un 8% de la población mundial, contamos con el 31% de las reservas de agua dulce mundiales, peor que se ha visto alterada por factores como el cambio climático, lo cual genera problemas de suministros de estas; siendo el problema de la urbanización en la región uno de los principales factores que generan presión sobre el recurso (Tuesca *et al.*, 2015).

Para el caso de Colombia ha sido muy afortunado, pues hasta hoy es uno de los países ricos lo cual es un privilegio en el ámbito internacional, sin embargo, en el país la mayoría de la población se ubica en las vertientes de los ríos Magdalena y Cauca y por tanto están recibiendo directa e indirectamente todas las aguas residuales, prácticamente sin tratar, de 15 millones de personas y sumado a ello gran parte de las aguas residuales de la industria (Sierra, 2011).

Colombia depende en gran medida de las aguas superficiales para abastecer a la población que en la actualidad están amenazadas pues de acuerdo a Beleño (2011) en un estudio realizado por la comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la asociación mundial del agua existen diferentes factores de contaminación como el sector agropecuario, industrial y doméstico los principales responsables generando alrededor de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante, y que de acuerdo al ENA (2010) la mayor parte del sistema hídrico andino colombiano se ha alterado debido al transporte de sedimentos y sustancias tóxicas afectando gravemente a los ríos Magdalena, Medellín, Bogotá y Cauca.

En Colombia en la actual legislación en materia de agua potable se planteó por primera vez la creación de mapas de riesgo para la potabilización, suministro y distribución del agua para

consumo humano; este nuevo instrumento permite contar con una herramienta de análisis para la adopción de medidas de preparación y mitigación por el conocimiento de los riesgos y amenazas a los cuales se encuentra expuesta la población (Tuesca *et al.*, 2015).

Para el departamento del Norte de Santander, el cual cuenta con 40 municipios en su jurisdicción, de acuerdo al ministerio de salud y protección social (MINSALUD) en su “*informe nacional de la calidad del agua para consumo humano año 2013 con base en el IRCA*” encontró que según los datos reportados por cada municipio en el SIVICAP el 47,8% de la población se abastecía de agua sin ningún tipo de riesgo y el 53,2% restante del consumía agua con algún tipo de riesgo para la salud (MINSALUD, 2014), evidenciando así que un poco más del 50% del departamento se abastece de agua de baja calidad para consumo humano.

2.3 Marco contextual

San Calixto es uno de los 40 municipios del Departamento de Norte de Santander, y uno de los 14 municipios que conforman la Provincia de Ocaña. El Municipio está localizado en la subregión occidental del Departamento de Norte de Santander. Las coordenadas geográficas de la cabecera Municipal son: a los 08°24'22'' de latitud Norte y 73°12'41'' longitud Oeste (Alcaldía de San Calixto, 2016).

Presenta límites Por el Norte con los municipios de Teorama y El Tarra, por el Este con los municipios de Tibú y Sardinata, por el Sur con los municipios de Hacarí y La Playa, por el Oeste

con los municipios de Ocaña y Teorama. Se encuentra a 267 km de la ciudad de San José de Cúcuta (Alcaldía de San Calixto, 2016).

El municipio cuenta con un sistema de fuentes hídricas ubicadas en las partes altas del sistema montañoso, las cuales no han sido intervenidas por los habitantes del municipio. Cuenta con reservas forestales protegidas tanto para microcuencas como para protección del bosque nativo de las áreas anteriormente mencionadas. Dentro de las principales microcuencas se encuentra La Maravilla que surte el acueducto municipal y la parte alta de la vereda Potrero Grande y La Marina (Alcaldía de San Calixto, 2016).

Según USPSC (2016) existen 322 usuarios conectados a la red de distribución del municipio y existen 18 inactivos y de acuerdo al departamento administrativo nacional de estadística (DANE, 2010) para el año 2005 la cabecera municipal contaba 1.829 habitantes y se proyectaba para el 2010 una población de 1.987 habitantes.

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Calidad del agua. De acuerdo a (Sierra, 2011) “la complejidad de los factores que determinan la calidad del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos es difícil dar una definición simple de calidad del agua” (p. 47) está depende el uso final que se le quiera dar al recurso, pues las condiciones de calidad del agua, por ejemplo, para consumo humano son muy diferentes a las requeridas para uso industrial. En términos de potabilización el decreto 1575 de 2007 la define la calidad del agua

como “el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia”.

2.4.2 Planta de tratamiento. El decreto 1575 de 2007 define planta de tratamiento o potabilización como “el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable”.

2.4.3 Los parámetros físico-químicos. Están definidos por la presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua, la cual define su composición química y física; algunos de estos procesos fisicoquímicos que ocurren en el agua pueden ser evaluados si se recurre a los principios de equilibrio químico, incluida la ley de acción de masas, o al conocimiento de los mecanismos de reacción y de las proporciones para los procesos irreversibles (Barrenechea, 2004, p. 4).

2.4.4 Parámetros microbiológicos. Estos parámetros son los más importantes para determinar la potabilidad del agua, por ejemplo: coliformes fecales, huevos de helmintos, *Vibrio cholera*, vibrios, etc., las normas se basan esencialmente en la necesidad de asegurar la ausencia de bacterias indicadoras de contaminación por desechos humanos, es decir, ausencia de coliformes fecales (Jiménez, 2001, p. 152).

De igual forma Sierra (2011) afirma que las fuentes de agua pueden contener gran cantidad de microorganismos y que pueden ser patógenas o no; en este sentido es necesario conocer qué tipo de microorganismos presenta el cuerpo de agua y así determinar el método de desinfección más eficiente.

2.4.5 Diagnóstico. Es un estudio previo a toda planificación o proyecto y que consiste en la recopilación de información, su ordenamiento, su interpretación y la obtención de conclusiones e hipótesis; consiste en analizar un sistema y comprender su funcionamiento, de tal manera de poder proponer cambios en el mismo y cuyos resultados sean previsibles (Rodríguez, 2007, para. 1).

2.4.6 Evaluación. “la palabra evaluación designa el conjunto de actividades que sirven para dar un juicio, hacer una valoración, medir “algo” (objeto, situación, proceso) de acuerdo con determinados criterios de valor con que se emite dicho juicio” (Cano, 2005, p. 1).

2.4.7 Control y vigilancia. La (OPS, 2002) define la vigilancia como el conjunto de acciones adoptadas por la autoridad competente para evaluar el riesgo que representa a la salud pública la calidad del agua suministrada por los sistemas públicos y privados de abastecimiento de agua, así como para valorar el grado de cumplimiento de la legislación vinculada con la calidad del agua (p. 9).

En síntesis la vigilancia se encarga de verificar la calidad física, química y microbiológica del agua con las enfermedades de origen hídrico a fin de determinar el impacto en la salud y por otra parte realizar un examen permanente y sistemático de la información sobre la calidad del agua para confirmar que la fuente, el tratamiento y la distribución respondan a los reglamentos establecido (OPS, 2002).

Por otra parte el control “es el conjunto de actividades ejercidas en forma continua por el abastecedor con el objetivo de verificar que la calidad del agua suministrada a la población cumpla con la legislación” (OPS, 2002, p. 8).

2.4.8 Salud pública. (Anónimo, 2010) lo define como “la ciencia y arte de organizar y dirigir los esfuerzos colectivos destinados a promover y restaurar la salud de los habitantes de una comunidad” (p. 40). Figueroa (sf) establece que el concepto de salud pública ha cambiado a lo largo de la historia de la humanidad de acuerdo con la comprensión de la realidad y de los instrumentos de intervención disponibles, este abarca un gran conjunto de actividades entre las cuales se encuentran la protección de la salud, la promoción de la salud, prevención de la enfermedad y restauración de la salud.

2.4.9 Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA). El ministerio nacional de salud define el IRCA como,

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 número 6 de la resolución 2115 de 2007 a las características contempladas allí por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en dicha resolución (MINSALUD, 2014, p.23).

De acuerdo a la resolución 2115 de 2007 cuando se obtiene un IRCA entre el rango de 0 a 5 % el agua distribuida es apta para consumo humano y se califica en nivel sin riesgo, cuando esta entre 5,1 y 14% ya no es apta para consumo humano, pero se califica con nivel de riesgo bajo,

entre 14,1 y 35% se califica con nivel de riesgo medio y no es apta para consumo humano cuando esta entre 35,1 y 80% es un nivel de riesgo alto y del 80,1 y 100 % es un agua inviable sanitariamente y obviamente no es apta para consumo humano.

2.4.10 Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano (IRABAm). El ministerio nacional de salud define el IRABAm como,

La ponderación de los factores de: i. tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y ii. Distribución del agua en el área de jurisdicción del municipio correspondiente, que pueda afectar indirectamente la calidad del agua para consumo humano y por ende, la salud humana; este índice tiene por objeto asociar el riesgo a la salud humana causado por los sistemas de abastecimiento y establecer los respectivos niveles de riesgo, tanto a nivel de la Persona Prestadora (IRABApp) como al nivel del municipio (IRABAm), en donde se tiene en cuenta la sumatoria de los índices de riesgos de todas las Personas Prestadoras del municipio (MINSALUD, 2014, p. 23).

2.4.11 Índice de calidad del agua (ICA). De acuerdo a al IDEAM (2010) el índice de calidad del agua es un indicador que me determina las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de un cuerpo de agua y en alguna medida permite reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico.

2.4.12 Muestreo. El (IDS, 2011) define el muestreo como “proceso de toma de muestras que son analizadas en los laboratorios para obtener la información sobre la calidad del agua del sitio concertado en que fueron tomados” (p. 9). Para realizar un muestreo hay que tener

en cuenta como serán tomadas las muestras, revisar el presupuesto con el que se cuenta, el personal que realizara el muestreo el transporte, los costos de operación y los insumos requeridos (IDEAM, sf). Los muestreos pueden ser manuales o automáticos:

2.4.12.1 Muestreo manual. Este muestreo se realiza cuando existen fáciles condiciones de acceso al sitio de la toma de muestra o cuando por medio de ciertas adaptaciones se puede facilitar la toma de las muestras, este muestreo tiene la ventaja que le permite al encargado observar los cambios en las características del agua en cuanto a sustancias flotantes, color, olor o aumento o disminución del caudal (IDEAM, sf).

2.4.12.2 Muestreo automático. Este se recomienda cuando existen condiciones de difícil acceso a la toma de la muestra o cuando se justifica o se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo este tipo de muestreo, tiene como ventaja una mayor precisión de los datos y como desventaja la calibración y complejidad de su montaje (IDEAM, sf).

2.4.13 Muestra. Existen tres tipos de muestras, la cuales dependen de los recursos disponibles, tipo de fuente, facilidad de acceso, entre otras, estas son:

2.4.13.1 Muestra simple o puntual. Son aquellas “que se toman en un momento determinado y resultan apropiadas para garantizar la calidad del agua en un momento dado, generalmente se usan para el análisis de la calidad del agua” (IDS, 2011, p.23).

2.4.13.2 Muestras compuestas. “es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomada a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden

tener volúmenes iguales a ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras”

(IDEAM, sf).

2.4.13.3 Muestras integradas. Es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible, por ejemplo, un río que varía o corriente que varía en composición de acuerdo con el ancho y la profundidad

(IDEAM, sf, p. 17).

2.5 Marco teórico

2.5.1 Calidad del agua. De acuerdo a Romero (1999) la purificación del agua es uno de los principales desafíos que afrontan los profesionales de la ingeniería civil y ambiental, teniendo en cuenta que el primordial objetivo es proveer a la comunidad de agua potable para satisfacer su bienestar y comodidad.

La definición de “calidad del agua” tiene un empleo muy generalizado según Pérez (1981) este varia teniendo en cuenta el uso que cada persona requiere entre los que se encuentran uso domiciliario, comercial, industrial, recreativa, etc. por tanto este término debe considerarse desde el punto de vista al cual el agua es destinada.

Para fines de esta investigación tomaremos la definición del decreto 1575 de 2007 el cual establece que: la calidad del agua es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

Romero (1999) afirma que la calidad del agua de las fuentes varía ampliamente de un lugar a otro, y por consiguiente el tratamiento requerido para su potabilización también varía, por tanto para el diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica se debe basar en un buen estudio de la calidad de la fuente y selección de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y al menor costo posible; en base a esto y teniendo en cuenta que no existe una fórmula que permita seleccionar cual es el método de tratamiento más eficiente de acuerdo a las características de la fuente de agua, se han desarrollado algunos criterios generales de tratamiento de agua cruda que sirve como referente, un ejemplo de este es los requisitos de tratamiento de los *Servicios de salud pública de los Estados Unidos* (USPHS por sus siglas en ingles) en relación con la calidad bacteriológica del agua cruda expuestos en la tabla 1.

Tabla 1

Requisitos de tratamiento según la USPHS de acuerdo a la calidad bacteriológica

Grupo	Tipo de tratamiento	Contenido de bacterias coliformes
I	Ninguno	Limitado a aguas subterráneas no sujetas a ningún tipo de contaminación
II	Cloración	Promedio en cualquier mes 50/100mL
III	Completo con filtración rápida en arena y poscloración	Promedio en cualquier mes 5000/100 mL sin exceder este valor en más del 20% de las muestras examinadas en cualquier mes
IV	Tratamiento adicional presedimentación y precloración	Promedio en cualquier mes 5000/100 mL pero excediendo este valor en más del 20% de las muestras analizadas en cualquier mes, y sin exceder de 20.000/100 mL en más del 5% de las muestras examinadas en cualquier mes

Nota. La tabla 1 indica los requisitos de tratamiento en relación con el contenido de bacterias coliformes, este es usado por el *Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos*. Fuente: Romero (1999).

2.5.2 Estándares de calidad de agua cruda para seleccionar un sistema de potabilización en Colombia. Para el caso particular de Colombia el decreto 1594 de 1984 en su capítulo IV, artículo 38, establece unos criterios de calidad admisibles para la destinación del

recurso para consumo humano y uso doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional siempre y cuando este bajo los rangos allí establecidos y el artículo 39 del mismo decreto establece otra serie de criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico cuando la potabilización solo requiere de desinfección, estos se resumen en la tabla 2.

Tabla 2

Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano

Parámetro	Requiere tratamiento convencional (mg/L)	Requiere solo desinfección (mg/L)
Amoniaco	1,0	1,0
Arsénico	0,05	0,05
Bario	1,0	1,0
Cadmio	0,01	0,01
Cianuro	0,2	0,2
Cinc	15,0	15,0
Cloruros	250,0	250,0
Cobre	1,0	1,0
Color	75 unidades platino-cobalto	20 unidades platino-cobalto
Fenoles	0,002	0,002
Cromo hexavalente	0,05	0,05
Difenil policlorados	No detectable	No detectable
Mercurio	0,002	0,002
Nitratos	10,0	10,0
Nitritos	1,0	1,0
pH	5,0-9,0 unidades	6,5-8,5 unidades
Plata	0,05	0,05
Plomo	0,05	0,05
Selenio	0,01	0,01
Sulfatos	400,0	400,0
Tensoactivos	0,5	0,5
Turbiedad	---	10
Coliformes totales NMP/100mL	20000	1000
Coliformes fecales NMP/100mL	2000	---

Nota. Los valores expuestos en la tabla 2 son algunos parámetros que el decreto 1594 de 1984 plantea para la selección del proceso de tratamiento más adecuado de acuerdo a la calidad de la fuente hídrica, estos se encuentran en el artículo 38 y 39 del mismo decreto. Fuente: decreto 1594 de 1984.

2.5.3 Índices de calidad del agua en Colombia. El índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías la calidad del agua de una corriente superficial,

con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (Castro et al., 2014, p.121).

Entre estos índices de calidad encontramos los establecidos por el IDEAM (2014) como el índice de calidad del agua (ICA) definido como la ponderación de seis variables (oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales en suspensión, pH y la relación NT/PT) el cual tiene un rango entre 0 y 1 que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua en términos de bienestar humano independientemente de su uso.

De igual manera de acuerdo a Ramírez, Restrepo y Viña (1997) existen otros tipos de índices que ayudan a determinar el grado de contaminación que una fuente hídrica tiene, los cuales permiten calificar las diferentes cualidades de los cuerpos de agua y por tanto permiten tener un panorama mucho más amplio en cuanto a la calidad de una fuente hídrica; entre estos se encuentran el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y el índice de contaminación trófico (ICOTRO). Estos índices hacen referencia a la calidad de las fuentes de agua, ya que en la legislación colombiana (para calidad de agua para consumo humano) se establecen otros índices que detallaremos a continuación.

La resolución 2115 de 2007 establece un índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en el cual se asignan unos puntajes de riesgo a ciertos parámetros físico-químicos y microbiológicos con el fin de determinar el valor de riesgo al cual están expuestos la población en cuanto al consumo de agua, y por otra parte la misma resolución establece un índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano

(IRABAm) relacionados con las condiciones de tratamiento, distribución y continuidad del servicio.

2.5.4 Agua tratada (agua potable). Como plantea Sierra (2011) para el caso de los sistemas de abasteciendo de agua municipal se debe tener claro la diferencia entre la calidad de la fuente de abastecimiento (calidad del agua cruda) y la calidad para el suministro humano (calidad del agua tratada). Para el primero se tendrá en cuenta los índices de calidad anteriormente expuestos denominados índices de calidad en Colombia y para el segundo es necesario regirse por los parámetros establecidos en la legislación colombiana específicamente la resolución 2115 de 2007.

“se entiende por agua tratada aquella a la cual se le han variado o cambiado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de utilizarla en algún uso benéfico” (Sierra, 2011, p.52). Por lo cual es necesario llevar a cabo una serie de procedimientos previos con el fin de lograr un agua en condiciones aceptables para poder dotarla a la población.

El sistema de tratamiento más común es el convencional que de acuerdo a (Rodríguez y Rojas, 2012) este “(...) se compone básicamente de seis etapas donde el agua cruda sufre cambios físicos, químicos y biológicos” (p.18) las cuales son:

2.5.4.1 Captación. El RAS (2000) define la captación como el “conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento” (p.22). De acuerdo a (Benavides *et al.*, 2006) la captación deben estar diseñadas para que el flujo requerido pueda ser usado, teniendo en cuenta que en las captaciones de agua superficial el caudal de las mismas se

encuentra sometido a fluctuaciones naturales, es decir, hay variación en la cantidad de agua que pasa por el cauce en determinadas épocas del año, principalmente en épocas de estiaje.

2.5.4.2 Coagulación. “es el proceso más importante en el tratamiento del agua, mediante el cual, al agregar productos químicos, (coagulantes) se logra desestabilizar las cargas eléctricas de las partículas coloidales que causan el color y la turbiedad” (Mendoza, 2006, p. 40). Este procesos se lleva a cabo teniendo en cuenta que según Kemmer y McKallion (1989) el agua cruda contiene material suspendido, solidos los suficientemente grandes para sedimentarse en reposo y partículas que no se asientan con facilidad, como el caso de los coloides, por lo general cada partícula de estas se encuentra estabilizada con cargas eléctricas negativas en su superficie, haciendo que se repelan mutuamente con sus partículas vecinas impidiendo que se formen masas mayores (flóculos) para su posterior sedimentación; por tanto la coagulación se encarga de desestabilizar estos solidos neutralizando las fuerzas que los mantienen separados.

2.5.4.3 Floculación. “el termino floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas” (Romero, 1999, p.79). Este es el proceso siguiente a la coagulación que permite la aglomeración de partículas de menor tamaño a otras de mayor, con el fin de lograr una sedimentación en el menor tiempo posible; de igual manera se debe tener en cuenta un mezclado lento que permita que las partículas se unan poco a poco, pues un mezclado demasiado intenso rompe los puentes formados por las partículas (Gómez, 2005).

2.5.4.4 Sedimentación. “se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denominan clarificación o espesamiento” (Romero, 1999, p.119). De acuerdo a la OPS (2004)

para que se dé la sedimentación por gravedad las partículas deberán tener un peso específico mayor al del fluido removiendo las partículas de mayor densidad; este proceso es netamente físico y constituye un proceso en el tratamiento de agua para conseguir su clarificación.

2.5.4.5 Filtración. Es la operación final de la clarificación del proceso de potabilización, este consiste en remover las partículas sólidas suspendidas y coloidales presentes en el agua que pasan a través de un medio poroso (OPS, 2014). Aunque la mayoría de los sólidos son removidos en el proceso de coagulación y de sedimentación cierta cantidad de sólidos pasan del tanque de sedimentación por tanto requieren ser removidos para evitar problemas en la desinfección, generalmente el arena de filtración remueve lo conocido como turbiedad, compuestos de floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos; los materiales de mayor uso para este proceso son la arena o arena y antracita los cuales adsorben las partículas sólidas (Romero, 1999).

2.5.4.6 Desinfección. Es el “(...) método que permite la destrucción de los agentes capaces de producir infección, mediante la aplicación directa de medios físicos o químicos. La desinfección no implica la destrucción total de la flora acuática y por eso se distingue de la esterilización” (Pérez, 1981, p. 167). El método más usado para este proceso es la cloración teniendo en cuenta que según Pérez y Espigares (1995) esta sustancia química reúne la mayoría de las propiedades del “desinfectante ideal”; siendo su principal objetivo la destrucción de los microorganismo, gracias a la acción germicida del mismo.

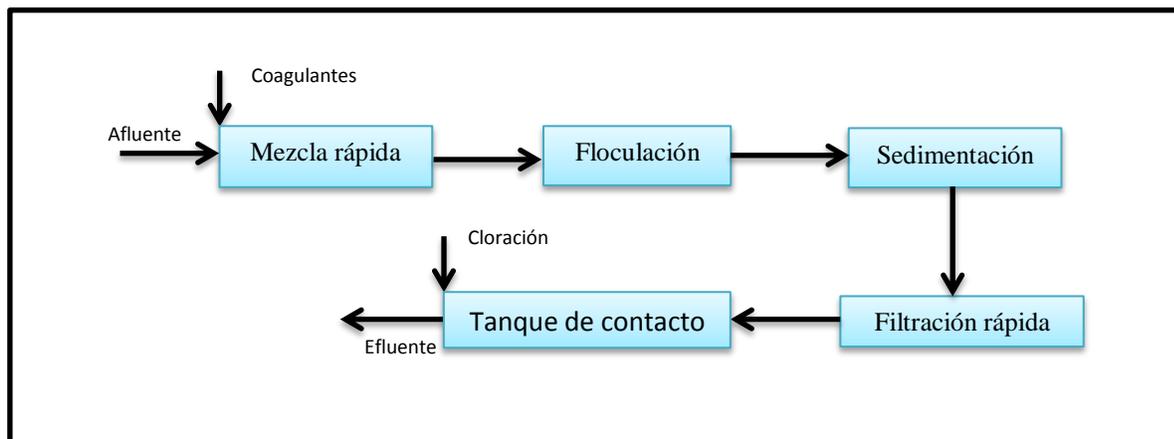


Figura 1. Modelo de planta de tratamiento convencional. Fuente. Romero (1999).

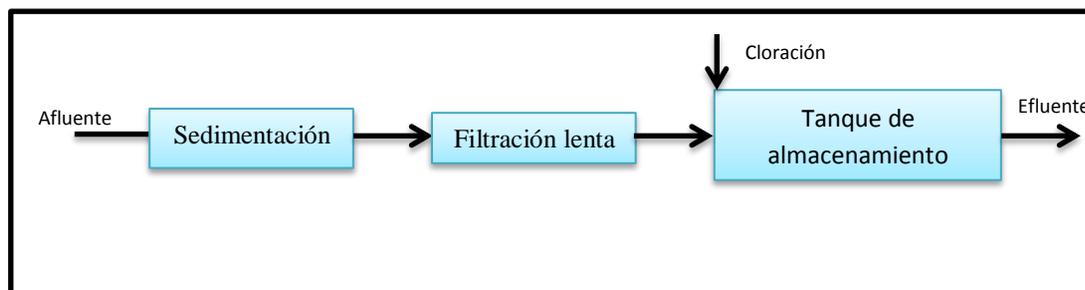


Figura 2. Planta para suministro pequeña con agua cruda de buena calidad. Fuente: Romero (1999).

2.5.5 Parámetros de calidad del agua potable. En los criterios de potabilización del agua se deben tener en cuenta parámetros físico, químicos y microbiológicos para saber qué tan pura o contaminada se encuentra el agua, teniendo en cuenta que existe una gran cantidad de parámetros y métodos sobre los cuales se puede realizar análisis, se han estandarizado a nivel mundial criterios y métodos para realizar análisis de agua en los laboratorios, estos se recopilan en la metodología *Standard Methods for Water and Wastewater Examination* conocida comúnmente como “métodos estándar” (Sierra, 2011). Los parámetros que se tienen en cuenta son:

2.5.5.1 Parámetros físicos. “los parámetros físicos son aquellos parámetros del agua que responden a los sentidos del tacto, olor y sabor” (Campos, 2003, p. 49) y como afirma Sierra (2011) estos parámetros son aquellos que tiene incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

Turbiedad. Es la resistencia que presenta un cuerpo de agua al paso de la luz, que generalmente se asocian a partículas que van desde el tamaño coloidal hasta partículas de arena gruesa, las cuales dependen del grado de turbulencia del agua y su origen puede ser mineral (limos, arcillas, etc.) u orgánicos (residuos vegetales, microorganismos, etc.) (Pérez, 1982). Su importancia para la potabilización del agua radica en que por razones estéticas puede causar rechazo por parte de los consumidores y de igual forma puede incidir de manera directa en el proceso de tratamiento del agua como la filtración y desinfección pues hace más difícil el proceso de filtración y que se requieran mayores dosis de cloro para la desinfección (Sierra, 2011).

Color. La *Organización mundial de la salud* OMS 2004) plantea que el agua para consumo humano no debe tener ningún color apreciable, teniendo en cuenta que generalmente esto se debe a la presencia de materia orgánica (ácidos húmicos y fulvicos) asociados al humus del suelo y por otra parte un nivel de color alto puede indicar una gran propensión a la generación de subproductos en los procesos de desinfección.

Olor y sabor. Se toman estos dos términos en conjunto por estar íntimamente ligados, generalmente se deben a la presencia de del plancton, compuestos orgánicos generados por la

actividad de las bacterias y algas, desechos de industria y descomposición de materia orgánica; la importancia de controlar este aspecto se encuentra en que esto puede causar rechazo en la población pues en el desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que genera que el daño que puede producir al organismo (Sierra, 2011).

Sólidos. Este término se refiere a las partículas orgánicas e inorgánicas así como líquidos inmiscibles (líquidos que no pueden mezclarse con otra sustancia) que se encuentran en el agua” (Campos, 2003, p.49) de igual forma pueden generar los siguientes problemas (Campos, 2003): Son desagradables a la vista, (poco estéticos), proveen superficies de adsorción para agentes químicos y biológicos, pueden degradarse, lo que causaría productos secundarios perjudiciales y aquellos elementos biológicamente activos pueden ser agentes tóxicos o causantes de enfermedades.

2.5.5.2 Parámetros químicos. “por razones didácticas los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases: i. indicadores (pH, acidez, alcalinidad) y ii. Sustancias químicas” (Sierra, 2011, p.59).

Indicadores. Se definen como indicadores, los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia o interacción de varias sustancias” (Sierra, 2011, p.49). Entre las cuales se encuentran: pH, acidez, alcalinidad, conductividad y dureza.

Sustancias químicas. El agua es considerada el solvente universal y por tanto tiene una gran cantidad de elementos y sustancias que pueden estar presentes en ella de acuerdo a las

condiciones de su entorno (suelos, vertimientos, etc.), por tanto se enumeraran solo aquellas sustancias que de acuerdo al autor considera tiene mayor incidencia sobre la calidad del agua (Sierra, 2011). Estas sustancias son: grasas, detergentes, hierro y manganeso, nitrógeno, fosforo, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO).

2.5.5.3 Parámetros microbiológicos. Las aguas crudas contienen gran cantidad de microorganismos que pueden ser tanto patógenos como no patógenos, entendiendo que los primeros son aquellos que pueden causar enfermedades en los seres vivos mientras que los no patógenos se entiende lo contrario; dentro de los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y que pueden causar enfermedades se encuentran las bacterias, virus, algas, hongos y algunos protozoos (Sierra, 2011). Estos microorganismos como lo afirma la OMS (2004) pueden ser el foco de grandes epidemias de enfermedades, como el cólera, la disentería y la criptosporidiosis por lo cual se hace necesario realizar una remoción total o parcial principalmente de los microorganismos patógenos.

Teniendo en cuenta todo los parámetros físicos, químicos y microbiológicos anteriormente expuestos y el daño que pueden causar a la salud humana sino se realiza un tratamiento previo al consumo, se expidió la resolución 2115 de 2007 donde se establecen unos estándares máximos permisibles de algunas sustancias, que se exponen a continuación.

En la tabla 3 encontramos las características físicas así como los valores máximos aceptables con sus correspondientes unidades de medida de acuerdo a la resolución 2115 de 2007.

Tabla 3*Características físicas según resolución 2115 de 2007*

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

Fuente: resolución 2115 de 2007.

En la tabla numero 4 están representadas las características microbiológicas, en los diferentes técnicas utilizadas para determinarlos así como los límites permisibles.

Tabla 4*Características microbiológicas según resolución 2115 de 2007*

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

Fuente: resolución 2115 de 2007.

Por último la tabla número 5 se encuentran las características químicas con su respectivo valor máximo aceptable, en estas se analizan una gran cantidad de variables las cuales dependen del mapa de riesgo y de las condiciones de la fuente de abastecimiento.

Tabla 5*Características químicas según resolución 2115 de 2007*

Características químicas	Expresado 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

Tabla 5. Continuación.

Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos totales	THMs	0,2
Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos	HAP	0,01
Carbón orgánico total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂	0,1
Nitratos	NO ₃	10
Fluoruros	F ⁻	1,0
Calcio	Ca	60
Alcalinidad total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Dureza total	CaCO ₃	300
Hierro total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Fuente: autor del proyecto adaptado de la resolución 2115 de 2007.

2.6 Marco legal

2.6.1 Decreto 1594 de 1984. Esta norma declara las condiciones y los compuestos permitidos de los vertimientos líquidos y en sus artículos 38 y 39 expresa lo relacionado con los tratamientos de potabilización del agua para consumo humano, de acuerdo a las características físico-químicas y microbiológicas.

2.6.2 Marco constitucional. Artículo 1: Colombia es un Estado social de derecho, organizado en forma de republica unitaria descentralizada, con una autonomía de sus entidades territoriales, democrática, participativa y pluralista fundada en el reposo de la dignidad humana,

en el trabajo y la solidaridad de las personas que la integran y en la prevalencia del interés general.

Artículo 2: son fines esenciales del Estado: servir a la comunidad, promover la prosperidad general, y garantizar la efectividad de los principios derechos y deberes consagrados en la constitución; facilitar la participación de todos en las decisiones que afecten y en la vida económica, política, administrativa y cultural de la nación; defender la independencia nacional, mantener la integridad territorial y asegurar la convivencia pacífica y la vigencia de un orden justo.

Las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas residentes en Colombia, en su vida, honra, bienes, creencias y demás derechos y libertades, y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y de los particulares.

Artículo 49: la atención en salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantizara a todas las personas el acceso a los servicios de promoción y recuperación en salud.

2.6.3 Ley 142 de 1994. Artículo 2: El Estado intervendrá en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia de que trata esta Ley, en el marco de lo dispuesto en los artículos 334, 336, y 365 a 370 de la Constitución Política, para los siguientes fines:

Garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios.

- Ampliación permanente de la cobertura mediante sistemas que compensen la insuficiencia de la capacidad de pago de los usuarios.
- Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico.
- Prestación continua e ininterrumpida, sin excepción alguna, salvo cuando existan razones de fuerza mayor o caso fortuito o de orden técnico o económico que así lo exijan.
- Prestación eficiente.
- Libertad de competencia y no utilización abusiva de la posición dominante.
- Obtención de economías de escala comprobables.
- Mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso a los servicios y su participación en la gestión y fiscalización de su prestación.
- Establecer un régimen tarifario proporcional para los sectores de bajos ingresos de acuerdo con los preceptos de equidad y solidaridad.

Artículo 5: Es competencia de los municipios en relación con los servicios públicos, que ejercerán en los términos de la ley, y de los reglamentos que con sujeción a ella expidan los concejos:

- Asegurar que se presten a sus habitantes, de manera eficiente, los servicios domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, y telefonía pública básica conmutada, por empresas de servicios públicos de carácter oficial, privado o mixto, o directamente por la administración central del respectivo municipio en los casos previstos en el artículo siguiente.

2.6.4 Decreto 1575 de 20007. Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.

2.6.5 Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

2.6.6 Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título B “sistemas de acueducto”. El cual tiene como propósito fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, y mantenimientos de los sistemas de acueducto que se desarrollen en la república de Colombia con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad, y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

2.6.7 Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico RAS-2000 título C “sistemas de potabilización”. Este título está dirigido al desarrollo de estudios y diseños de todos los componentes de un sistema de potabilización de agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento que se desarrolle en la república de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad, y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

2.6.8 Resolución 082 de 2009. Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.

2.6.9 Resolución 811. Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las persona prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.

Capítulo 3: Diseño metodológico

“Investigar significa el efectuar diligencias para esclarecer una cosa, constituyendo la investigación en el proceso empleado durante el esclarecimiento del objeto a investigar, en esencia la investigación busca el conocimiento de la verdad” (Cegarra, 2004, p.41) y de acuerdo a (Hernández , Fernández , y Baptista , 2010) “la investigación es el conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno” (p.4).

3.1 Tipo de investigación

El siguiente proyecto se basa en una investigación de tipo descriptiva teniendo en cuenta que se persigue la descripción de las variables técnicas y operativas de un sistema de tratamiento de agua potable así como la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tanto de la fuente de abastecimiento como la distribuida por el sistema de acueducto del municipio.

Desde el punto de vista del propósito investigativo será una investigación aplicada pues busca obtener resultados concretos que permitan proponer alternativas de mejora en el sistema de tratamiento de agua potable de la población de estudio.

Por otra parte tendrá un enfoque de tipo cuantitativo y cualitativo teniendo en cuenta que se pretende analizar un conjunto de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que pueden representarse en valores numéricos y sobre los cuales se puede llevar a cabo una evaluación cualitativa. Por último la presente investigación tendrá un diseño de investigación de campo de

tipo transeccional o transversal pues se recolectaran los datos en un punto en el tiempo (Navarro, 2009).

3.2 Población

Teniendo en cuenta la naturaleza de la investigación se contara con dos tipos de población la primera correspondiente a la fuente hídrica, quebrada la Maravilla y la segunda corresponde a la unidad de servicios públicos domiciliarios (USPSC) del municipio de San Calixto.

3.3 Muestra

Para la evaluación de la calidad del agua se tomaran tres puntos de muestreo de los cuales el primer punto se tomara en la bocatoma del sistema de acueducto con el fin de analizar la calidad de la fuente hídrica; los otros puntos de muestreo que ya han sido concertados por la persona prestadora y la autoridad sanitaria son los siguientes: uno ubicado en el barrio Betania y el último en el barrio el Carmen esto con el propósito de analizar la calidad del agua de consumo humano de dicha población, como lo muestra la figura 4; cabe resaltar que la técnica de muestreo será manual con muestras de tipo simple o puntual.

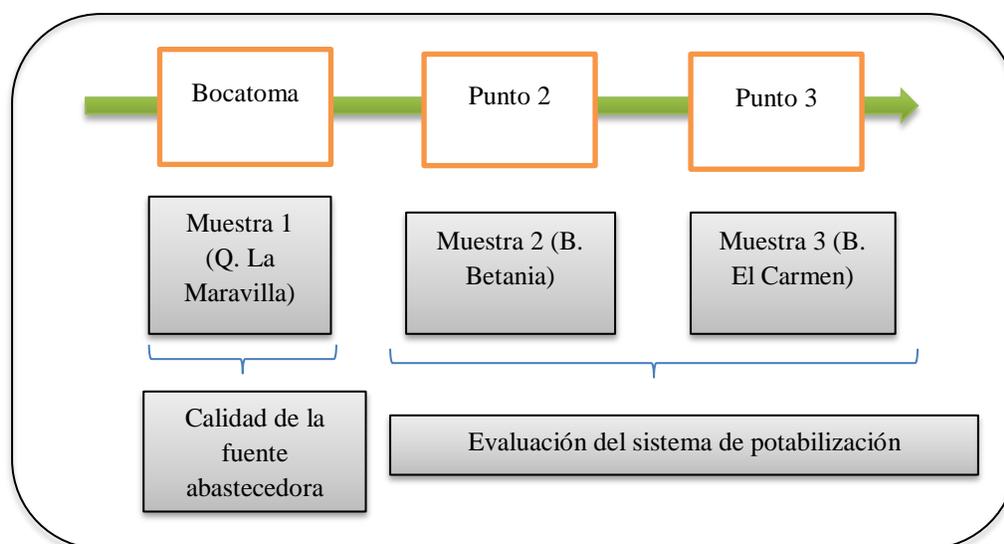


Figura 3: Puntos de muestreo. Fuente: autor del proyecto.

Teniendo en cuenta que se analizarán varias muestras, se requiere el uso de rótulos que permitan brindar información tanto al investigador como al encargado del laboratorio a cerca de las muestras de agua sobre las cuales realizará la caracterización, para esto se tendrá en cuenta la etiquetas para muestras de agua expuestas en la tabla 6.

Tabla 6

Rotulo para las muestras de agua

ETIQUETAS PARA MUESTRA DE AGUA			
Nombre empresa servicio público:			
Municipio:	Localidad:	Fecha:	Hora:
Tipo de muestra:	Punto de toma:	Tipo de agua:	
Realizado por:	Firma:		

Fuente: autor del proyecto adaptado del INS (2014)

Por otra parte para la segunda población (persona prestadora, para este caso la unidad de servicio públicos domiciliarios) por ser de carácter finita no es necesario seleccionar un número de muestras.

3.4 Técnica e instrumentos de recolección de la información

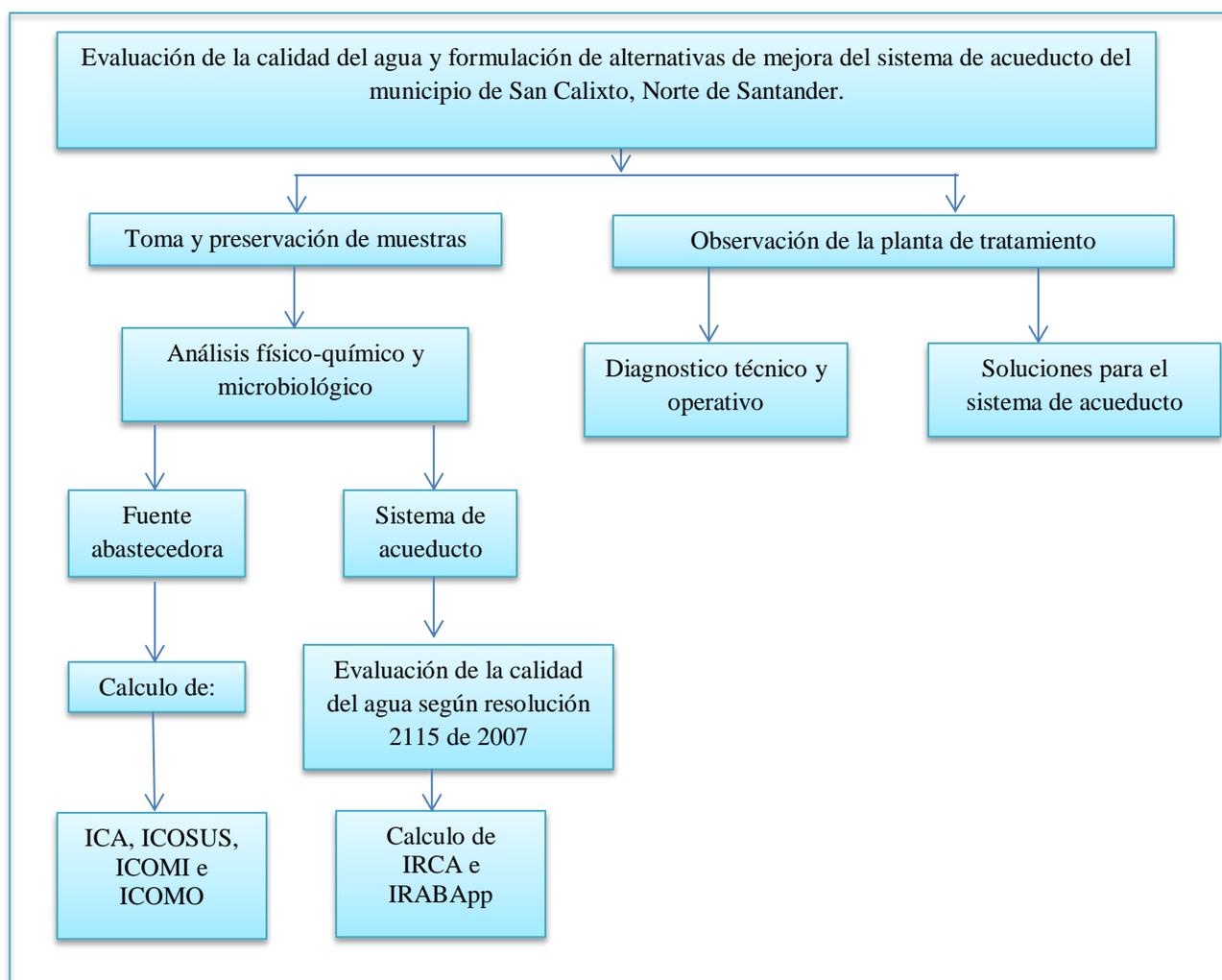


Figura 4: Estructura del diseño metodológico. Fuente autor del proyecto (2016)

Este se efectuará en cuatro etapas, las cuales se describirán de manera detallada continuación:

Etapa 1. Esta etapa comprende la toma, preservación y transporte de las muestras de agua para análisis fisicoquímico y microbiológico, se tendrá en cuenta su correspondiente cadena de custodia para el transporte hacia el laboratorio de aguas de la *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña* (UFPSO).

Para determinar la calidad de la fuente hídrica abastecedora y el agua de consumo humano se tendrán en cuenta los siguientes parámetros, para el ICA oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH, ICOMO la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales, porcentaje de saturación de oxígeno, ICOSUS los sólidos suspendidos y para el ICOMI la conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad estos en cuanto a calidad de la fuente hídrica y para el agua de consumo humano se calculará el IRCA en cual contempla los siguientes parámetros turbiedad, cloruros, dureza, hierro, color aparente y cloro residual libre o residual del desinfectante utilizado, coliformes totales y *Escherichia coli*; para la realización de las pruebas se tendrá en cuenta lo expuesto en el *Standard Methods for Water and Wastewater Examination*.

Etapa 2. Para el desarrollo del diagnóstico técnico y operativo de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de San Calixto a cargo de la unidad de servicios públicos domiciliarios se utilizará la técnica de encuesta con el instrumento de cuestionario en donde se pretende conocer los siguientes factores: usuarios, componentes (descripción), tiempo de operación, mantenimiento, continuidad, cobertura (población servida, población municipal),

operación, frecuencia monitoreo, caudales (de entrada y salida), macromedidores y estado de la microcuenca aguas arriba de la bocatoma.

Etapa 3. Para el desarrollo de esta etapa se requiere conocer previamente los resultados de la calidad fisicoquímica y microbiológica tanto de la fuente hídrica como del sistema de potabilización y el diagnóstico técnico y operativo de la planta de tratamiento para la generación de una matriz DOFA que permita identificar las estrategias de mejora del sistema de tratamiento.

3.5 Análisis de información

Para el cálculo y análisis de la información se tendrá en cuenta la resolución 2115 de 2007, los criterios emitidos por el IDEAM.

Para el cálculo de los índices de calidad del agua de la fuente hídrica se evaluarán con base en el software ICATest V1.0. Esta herramienta facilita el cálculo de gran variedad y cantidad de índices de calidad del agua e índices de contaminación, los cuales se presentan discriminados por país y/ autor, de igual forma este ha sido aprobado en entidades como el IDEAM, CORPONOR, ECOPETROL regional norte y EMPOPAMPLONA E. SA.S. PS, entre otras (Fernández *et al.*, 2004, p. 88); este se realizará de la siguiente manera:

3.5.1 Cálculo de los índices de calidad de la fuente hídrica.

3.5.1.1 Índice de calidad del agua (ICA).

$$ICA = \sum_{i=1}^n W_i * I_i$$

Dónde:

I= cada uno de los cinco parámetros que requiere el cálculo del ICA

I= subíndices correspondientes a cada variable

W= peso asignado a cada variable.

El valor obtenido del índice de calidad del agua, ICA, se clasificara de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 7

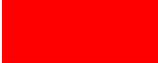
Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

<i>Escala de color contacto primario</i>		
<i>Excelente</i>	<i>75,1-100</i>	
<i>Buena</i>	<i>50,1-75</i>	
<i>Mala</i>	<i>25,1-50</i>	
<i>Regular</i>	<i>0-25</i>	

Fuente: ICATest v 1.0 (2016)

Tabla 8

Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

<i>Escala de color contacto primario</i>		
<i>Excelente</i>	<i>4,1-100</i>	
<i>Mala</i>	<i>0-4</i>	

Fuente: ICATest v 1.0 (2016).

3.5.1.2 *Índice de contaminación por mineralización (ICOMI). Integra la conductividad, dureza y alcalinidad.*

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{conductividad}} + I_{\text{dureza}} + I_{\text{alcalinidad}})$$

Tabla 9

Escala de color de acuerdo al valor del ICOMI

Escala de color		
Ninguno	0,0- 0,2	
Bajo	0,2 - 0,4	
Medio	0,4 - 0,6	
Alto	0,6 – 0,8	
Muy alto	0,8 – 1	

Fuente: ICATest v 1.0 (2016)

3.5.1.3 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

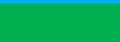
Se obtienen a través de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno (%).

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo de agua.

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO} + I_{coliformes} + I_{oxigeno\%})$$

Tabla 10

Escala de color del ICOMO

Escala de color		
Ninguno	0,0- 0,2	
Bajo	0,2 - 0,4	
Medio	0,4 - 0,6	
Alto	0,6 - 0,8	
Muy alto	0,8 - 1	

Fuente: ICATest v 1.0 (2016)

3.5.1.4 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS). Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas e inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,0003 \text{ solidos suspendidos (mg/L)}$$

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L tienen un ICOSUS igual a 1.

Sólido suspendido menor a 10 mg/L tiene un ICOSUS igual a 0.

Tabla 11*Escala de color del ICOSUS*

Escala de color		
Ninguno	0,0- 0,2	
Bajo	0,2 - 0,4	
Medio	0,4 - 0,6	
Alto	0,6 – 0,8	
Muy alto	0,8 - 1	

Fuente: ICATest v 1.0 (2016)

3.5.2 Calculo del IRCA e IRABApp

3.5.2.1 *Calculo del IRCA.* El cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano se realizara utilizando la siguiente formula:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntuajes de riesgo asignados a las características no aceptadas}}{\sum \text{puntuajes de riesgo asignadas a todas las características analizadas}}$$

3.5.2.2 *Calculo del IRABApp.* Para el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora (IRABApp), se procederá mediante la siguiente formula.

$$IRABApp = 100 - (IT + IC)$$

Dónde:

IRABApp= índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora

IT= índice de tratamiento

IC= índice de continuidad

Capítulo 4: Resultados

En el siguiente capítulo encontraremos de manera detallada los resultados de la ejecución de cada uno de los objetivos específicos propuestos, con el fin de dar respuesta a la formulación del problema planteada al inicio del presente proyecto de investigación.

4.1 Análisis de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento y de consumo humano del municipio de San Calixto.

Con este objetivo se pretende conocer el estado de la calidad del agua que ingresa al sistema de acueducto del municipio de San Calixto Norte de Santander y de igual forma evaluar la calidad del agua tratada por la planta potabilizadora; para esto se efectuaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos que permitirán conocer el grado de cumplimiento de los parámetros que establece la legislación colombiana encargada de regular el tema en dicha materia.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, tanto para evaluar la calidad de la fuente como el agua tratada por el sistema de potabilización, se encuentran en el apéndice A.

Tabla 12

Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente abastecedora.

Parámetros	Unidad	Valor
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	30
Dureza	mg/L CaCO ₃	19
DQO	mg/L	4,2
Turbidez	NTU	0,0
Nitratos	mg/L	4,8
Nitritos	mg/L	6,6
Potencial de hidrogeno	pH	7,0
Conductividad	μS/cm	30,8
Color aparente	UPtCo	85,0
Oxígeno disuelto	mg/L	9,1
Solidos suspendidos	mg/L	370
Sulfatos	mg/L	2,0
DBO ₅	mg/L	1,9
Fluoruros	mg/L	0
Cloruros	mg/L	1,9
Coliformes totales	NMP/100 mL	93
Coliformes fecales	NMP/100 mL	23

Fuente: autor del proyecto (2016).

4.1.1 Calculo de los índices de calidad e índices de contaminación. Para el cálculo de los índices de calidad e índices de contaminación se tuvo en cuenta el software ICATest v 1.0 la cual es una herramienta informática para el análisis y valoración de la calidad del agua desarrollado por la universidad de Pamplona. Los resultados fueron los siguientes.

4.1.1.1 cálculos del índice de calidad del agua (ICA). A continuación encontraremos el índice de calidad del agua de la corriente superficial de la quebrada la Maravilla, el cual mediante dicho índice se podrá clasificar en una de las cinco categorías establecidas por el IDEAM.

Tabla 13*Resultados del cálculo del ICA*

	Resultado
Valor del índice	92,1027
Contacto primario	
Rango	75,1-100
Escala de color	Verde
Contacto secundario	
Rango	4,1-100
Escala de color	verde

Nota. En la tabla 13 se puede observar los resultados arrojados por el software ICATest v 1.0 relacionado con el índice de calidad ambiental del agua de la quebrada la Maravilla (fuente abastecedora del sistema de acueducto del municipio de san Calixto). Este arroja un valor que se clasifica en rangos establecidos previamente y que se describen en la metodología. Fuente: autor del proyecto (2016).

A continuación se presenta la salida grafica que representa el valor del índice que tiene la fuente de abastecimiento de la quebrada la Maravilla.

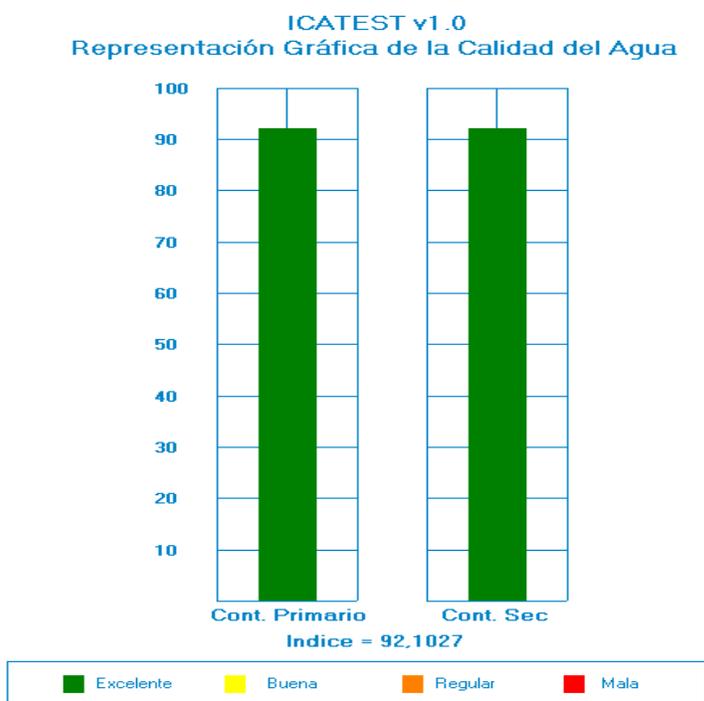


Figura 5: Gráfica del ICA de la quebrada la Maravilla. Fuente: autor del proyecto (2016)

Los resultados anteriormente obtenidos permiten valorar la calidad del agua que fluye por la quebrada la Maravilla en la categoría excelente que corresponde al color verde, es decir, es una fuente que presenta un alto grado de calidad del recurso hídrico independientemente de su uso; de igual forma permite determinar que los tratamientos a llevar a cabo para su posterior potabilización serán mínimos teniendo en cuenta que existen bajos niveles de contaminación.

En este sentido Torres *et al.* (2009) plantean que aquellas fuentes superficiales para abastecimiento humano, que tenga valores entre 90 y 100 de la generalidad de los ICA, implican menores tratamientos como solo desinfección, mientras que entre 50 y 90 requieren un tratamiento convencional y en algunos casos tratamientos especiales que están asociados a mayores costos y complejidad.

4.1.1.2 cálculos del índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS). Este índice se trabaja únicamente con un parámetro y como su nombre lo indica son los sólidos suspendidos presentes en el cuerpo de agua; este se define como la porción de solidos retenidos en un filtro que después se seca hasta obtener un peso constante. Para el cálculo de dicho valor se usó el software ICATest v 1.0 y los resultados son los siguientes.

Tabla 14*Resultado del cálculo del ICOSUS*

Resultados	
Valor del índice	1
Clasificación	Muy alto
Rango	0,8-1
Escala de color	Rojo

Nota. En la tabla 14 se puede identificar el índice de contaminación por sólidos suspendidos, para su interpretación se han clasificado cinco categorías las cuales se ajustan de acuerdo a un rango definido, el cual se especifica en el diseño metodológico. Fuente: autor del proyecto (2016).

La anterior tabla se puede apreciar de manera más detallada en la figura 5 expuesta a continuación.

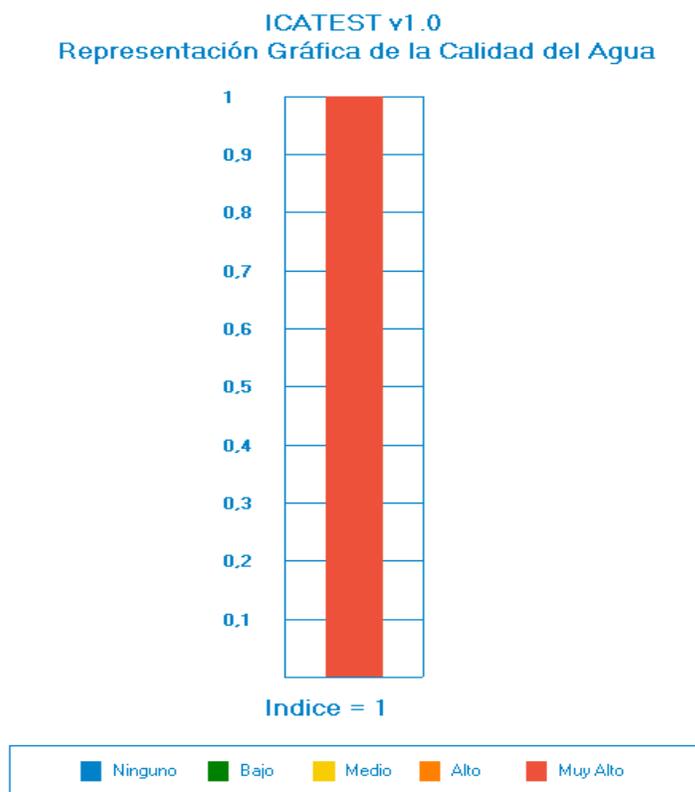


Figura 6: Gráfica del ICOSUS quebrada la Maravilla. Fuente: autor del proyecto (2016)

Con los resultados expuestos en la tabla 14 y grafica 5 se puede evidenciar claramente que existen altos contenidos de solidos suspendidos en la fuente de la quebrada la Maravilla, esto en consecuencia de la intervención antrópica presentada en una de sus vertientes, dicha afectación se da por el asentamiento de un número considerable de familias allí que han establecido cultivos para su sustento económico, sumado a esto gran parte de la vegetación de mayor importancia ecológica ha sido talado reduciéndose dicha área a un rastrojo bajo que permite el fácil arrastre de material solido del suelo, principalmente en épocas de lluvias, que trae posteriormente problemas en el proceso de potabilización, como lo plantea Cañas (2013), pues al momento en que estas partículas sólidas entran en contacto con las estructuras hidráulicas a lo largo de una conducción o una planta de tratamiento pueden generar taponamiento de válvulas por ejemplo.

“La presencia de los diferentes formas de solidos indican la presencia de sales disueltas, partículas en suspensión de carácter orgánico o inorgánico” (Sierra, 2015, p. 83) que deben ser removidas en el proceso de tratamiento con el objetivo de abastecer a la población de un agua de excelente calidad; estos se deben evitar también, debido a que la presencia de sólidos en el proceso de cloración influyen directamente en este, ya que muchos microorganismos se ocultan entre las partículas requiriendo mayores cantidades de cloro para eliminarlos.

Otro aspecto importante es la filtración del agua ya que se vuelve más difícil y costosa por la obstrucción de los filtros generando problemas de operación en el tratamiento del agua y ocasionando un aumento en la frecuencia de lavado de las unidades (Sierra, 2015).

4.1.1.3 cálculos del índice de contaminación por mineralización (ICOMI). Este es un índice que relaciona tres parámetros fundamentales como lo son la conductividad, la dureza y alcalinidad, los resultados que a continuación se describen se procesaron mediante el software ICATest v 1.0.

Tabla 15

Resultados del cálculo del ICOMI

Resultados	
Valor del índice	0,018
Grado de contaminación	Ninguno
Rango	0 – 0,2
Escala de color	Azul

Nota. Los resultados expuestos en la anterior tabla indican el grado de contaminación por mineralización de la quebrada la Maravilla, este fue procesado mediante el *software ICATest v 1.0*, y su interpretación se realiza mediante lo expuesto en el diseño metodológico. Fuente: autor del proyecto (2016).

Los datos tanto del valor del índice como de cada uno de los parámetros analizados se pueden observar en la siguiente figura.

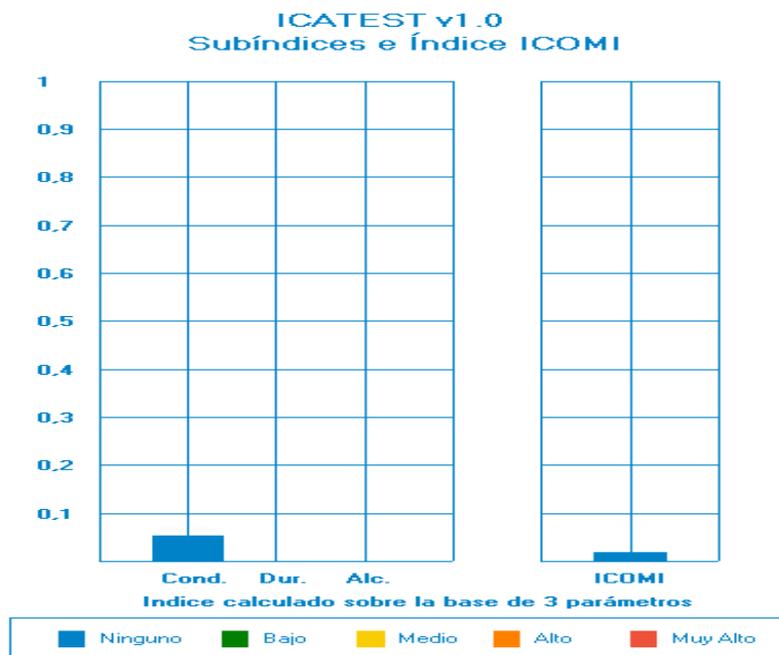


Figura 7: Grafica del ICOMI quebrada la Maravilla. Fuente: autor del proyecto (2016)

De la tabla 15 y figura 6 expuestas anteriormente podemos observar que el valor del índice es muy cercano a cero, por lo que se puede pensar, y a su vez observar e la gráfica 6, que los valores de los parámetros analizados son también bajos “analizando de esta manera un bajo contenido de sales de magnesio y calcio que son las responsables de un incremento de la dureza de un determinado cuerpo de agua” (cañas, 2013, p. 7).

Por otra parte la conductividad fue el parámetro que mayor valor obtuvo de acuerdo a la figura 6, lo cual según (Torres D. , 2008) “esta es el reflejo de los sólidos disueltos presentes en un cuerpo de agua” (p.62), lo cual obedece al alto valor que se obtuvo en el ICOSUS y que se puede ver claramente en la figura 5.

4.1.1.4 cálculos del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO). Los valores obtenidos del cálculo del ICOMO mediante el software ICATest se expresan en la tabla 15 y figura 7 que se muestran a continuación.

Tabla 16

Resultado del cálculo del ICOMO

Resultados	
Valor del índice	0,063
Grado de contaminación	Ninguno
Rango	0 – 0,2
Escala de color	Azul

Nota. Los valores anteriormente expresados representan el índice de contaminación por materia orgánica, de fuente de abastecimiento de la PTAT del municipio de San Calixto, específicamente la quebrada la maravilla, para la interpretación del mismo se debe tener en cuenta lo expuesto en el diseño metodológico del presente trabajo. Fuente: autor del proyecto (2016).

El análisis de estos parámetros y de su respectivo índice se puede realizar mediante la siguiente figura.

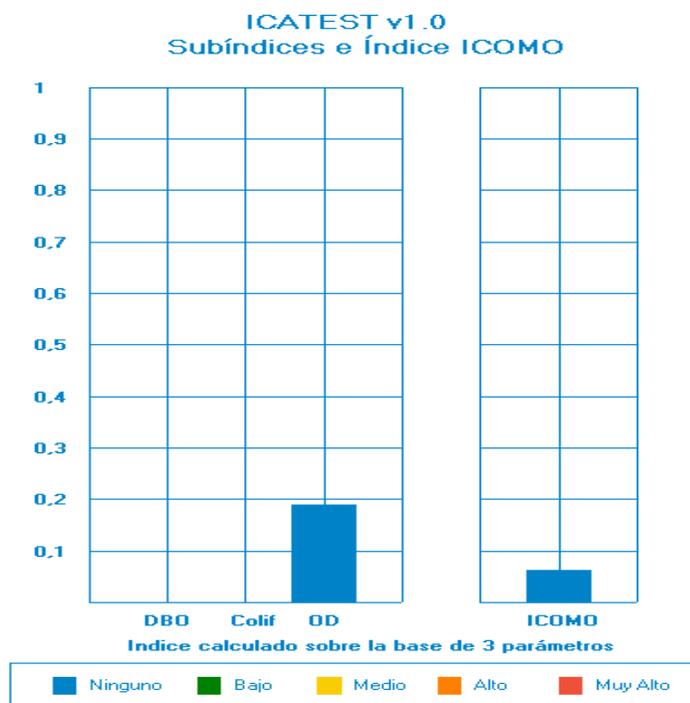


Figura 8: Grafica del ICOSUS quebrada la Maravilla. Fuente: autor del proyecto (2016)

El índice de contaminación por materia orgánica es uno de los valores más bajos junto al ICA e ICOMI, característico de áreas poco contaminadas. El oxígeno disuelto (OD) presenta el subíndice más alto respecto a la DBO_5 y los coliformes, sin embargo, este parámetro es óptimo ya que se encuentra dentro de la escala de color azul, según (Roldán y Ramírez , 2008)“el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores” (p. 181); situación que observando la gráfica 7 se puede considerar casi que nula por el bajo valor que obtuvo la DBO_5 , entendiendo que la DBO_5 está relacionada con la presencia de materia orgánica en el agua y por ende la presencia de microorganismos.

En síntesis los índice de calidad del agua como de contaminación muestran un resultado positivo para el uso de la fuente hídrica para el sistema de abastecimiento de la planta de tratamiento de agua potable, exceptuando el ICOSUS que fue el índice de mayor valor y que representa un problema en el proceso de potabilización del agua; estos índices nos indican que los procesos de potabilización a realizar son pocos y que el costo de operación y manejo de la planta son mínimos también.

4.1.1.5 determinaciones del proceso de tratamiento de acuerdo al ras 2000. El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, RAS 2000 título B , es más preciso respecto al decreto 1594 de 1984 para la determinación del tipo de tratamiento a partir de la calidad del agua de la fuente; para tal fin nos basaremos en lo estipulado en el RAS 2000 título B, B.3.3.2.1 tabla B.2.1 a partir de los análisis realizados a la muestra de agua cruda tomada en la bocatoma del sistema de acueducto y así determinar el proceso de potabilización más adecuado y analizar si este cumple con lo requerido.

Tabla 17

Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución RAS 2000

Parámetros	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente deficiente	Fuente muy deficiente
DBO ₅ (mg/L)	1-3	3-4	4-6	>6
Coliformes totales (NMP/100MI)	0-50	50-500	500-5000	>5000
Oxígeno disuelto(mg/L)	≥4	≥4	≥4	<4
pH promedio	6,0-8,5	5,0-9,0	3,8-10,5	
Turbiedad (NTU)	<2	2-40	40-150	≥150
Color verdadero (UPC)	<10	10-20	20-40	≥40
Gusto y olor	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L-Cl)	<50	50-150	150-200	>200
Fluoruros (mg/L-F)	<1,2	<1,2	<1,2	>1,7
Procesos de tratamiento utilizados	(1)=desinfección + estabilización	(2)=filtración lenta o directa + (1)	(3)= pretratamiento +[coagulación +sedimentación]o[filtración lenta diversas etapas]+(1)	(4)=(3)+tratamiento específicos

Nota. La tabla 17 muestra algunos valores máximos admisibles de las normas microbiológicas, fisicoquímicas y organolépticas de la calidad del agua para caracterizar fuente superficial o subterránea según su nivel de calidad. Fuente: autor del proyecto adaptado del RAS 2000 título B (2016).

En base a la tabla 17 podemos observar que la mayoría de los parámetros analizados indican que la calidad de la fuente es aceptable, es decir, que de acuerdo al RAS 2000 los procesos de tratamiento a utilizar son desinfección más estabilización; pero en base a que dos de los parámetros se ubican en una fuente regular lo más recomendable es utilizar los procesos de filtración lenta más el proceso de desinfección y estabilización, esto con el fin de lograr una mayor eficiencia en el proceso de potabilización y que el riesgo de distribuir un agua de mala calidad sea mínimo.

4.1.1.6 cálculos del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano

(IRCA). Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua a través de

la red de distribución, se presentan en la tabla 16. Utilizando el IRCA se determina el nivel de riesgo del agua que distribuye el acueducto municipal.

Tabla 18

Resultados de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas de agua potable

Calidad del agua suministrada por la USPSC					
Parámetro	Unidad	Norma exigida por el ministerio de la protección social resolución 2115 de 2007	Puntaje asignado por la resolución 2115 de 2007	Calidad suministrada por la USPSC	
				Punto 1(B. Betania)	Punto 2 (B. el Carmen)
Hierro	mg/L	0,3	1,5	0,06	0,1
Dureza	mg/L CaCO ₃	300	1	26	20
Potencial de hidrogeno	pH	6,5 – 9,0	1,5	7,8	7,8
Color aparente	UPtCo	15	6	11	9,0
Turbiedad	NTU	2	15	0,0	0,0
cloruros	mg/L	250	1	2,8	2,8
Cloro residual libre	mg/L	0,3-2	15	0	0
Coliformes totales	NMP/100 mL	0	15	1	2
Coliformes fecales	NMP/100 mL	0	25	1	2
IRCA (%)				67	67
Nivel de riesgo				Alto	

Nota. Los valores corresponden a un muestreo realizado el 17 de noviembre de 2016, en dos puntos de la red de distribución de agua potable del municipio de San Calixto. Fuente: autor del proyecto (2016).

Según el resultado del IRCA (67%) la población de San Calixto consume un agua de baja calidad clasificada en un nivel de riesgo alta de acuerdo a la resolución 2115 de 2007. Este nivel de riesgo es causado principalmente por la deficiencia en el proceso de cloración, teniendo en cuenta que las estructuras que tiene la planta para este proceso no son las adecuadas y que el único operario de la planta no se encuentran certificado, otro aspecto que nos indica que se está fallando en el proceso de cloración son los puntos en los cuales se tomaron las muestras, ya que el punto 1 (correspondiente al barrio Betania) que se encuentra al intermedio de la red de distribución presenta en los valores microbiológicos un valor de uno y para el punto dos (ubicado en el barrio el Carmen al final del sistema de distribución) estos parámetros arrojaron un valor de

dos unidades, lo cual indica que la cantidad de cloro aplicado respecto al caudal de entrada a la planta de tratamiento no corresponde al requerido.

En relación a los otros parámetros y lo establecido en la resolución estos cumplen satisfactoriamente gracias a la buena calidad de la fuente de abastecimiento, como queda evidenciado en los índices de calidad ya vistos.

El valor del IRCA se encuentra clasificado en un rango alto teniendo en cuenta que de los nueve parámetros analizados los tres en los cuales no cumple la norma son los parámetros de mayor peso, es decir, que cuentan con un mayor puntaje de riesgo asignado por la resolución.

4.1.1.7 cálculos del índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora (IRABApp). Este índice relaciona los criterios de tratamiento y continuidad del servicio de agua potable de la persona prestadora, a continuación mediante dicho índice podremos calcular el riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora.

Tabla 19

Cálculo del índice de tratamiento

Índice de tratamiento	
Descripción del tratamiento	Puntaje
Si se realizan todos los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es intermitente.	25
Dotación básica de laboratorio en la planta de tratamiento	Puntaje
Demanda de cloro	3
Trabajadores certificados	Puntaje
Menos del 50% de los trabajadores que son operadores de la planta están certificados.	0
Sumatoria total del índice de tratamiento	$\Sigma=28$

Nota. En la tabla 19 se ilustra el cálculo del índice de tratamiento de acuerdo a lo establecido en la resolución 2115 de 2007, el cual se basa en un conjunto de parámetros como lo son los procesos de tratamiento, dotación del laboratorio y los trabajadores certificados. Fuente: autor del proyecto (2016)

Tabla 20*Cálculo del índice de continuidad*

Índice de continuidad	
$IC = \frac{120horas * 1670habitantes}{730horas * 1670hbitantes} * 24 \frac{horas}{dia} = 3,9 \frac{horas}{día}$	Puntaje 0
Continuidad del servicio- IC 0-10 horas/día (insuficiente)	

Nota. El cálculo del índice de continuidad está basado en una fórmula que permite a partir del número de horas servidas en una población por mes y de acuerdo al número de habitantes estimar si la continuidad del servicio satisface o no a la población, para lo cual asigna unos rangos de acuerdo al número de horas prestadas. Fuente: autor del proyecto (2016).

A partir de los datos obtenidos, se procede aplicar la fórmula para calcular dicho índice de la siguiente manera.

$$IRABA_{pp} = 100 - (IT + IC)$$

Obteniendo,

$$IRABA_{pp} = 100 - (28 + 0) = 72$$

Se puede observar que el IRABApp se encuentra por encima de 70,1 y a partir de este valor dicho índice se considera en un nivel de riesgo muy alto para la salud humana lo cual requiere de la formulación inmediata de un plazo de cumplimiento a corto, mediano y largo plazo por parte de la persona prestadora, bajo la verificación de la SSPD.

4.2 diagnóstico técnico y operativo de la planta de tratamiento de agua potable de la cabecera municipal de San Calixto

Durante esta fase se realizaron visitas periódicas al municipio con el fin de hacer una revisión inicial así como la recopilación de información referente a la investigación.

En el municipio de San Calixto de acuerdo a las proyecciones estimadas por el DANE para el año 2016 la población total del municipio será de 13.631 habitantes de los cuales 2.185 viven en la cabecera municipal.

En la actualidad existen 334 usuarios conectados al sistema de acueducto, 380 usuarios que reciben recolección de residuos sólidos y 403 usuarios conectados al sistema de alcantarillado del municipio; cómo podemos apreciar existe una diferencia de 69 usuarios entre quienes están conectados al sistema distribución de agua potable y al sistema de alcantarillado, esto obedece a la existencia de dos acueductos independientes (uno para el barrio Manizales y otro para el barrio Henry Alfonso Machado) los cuales se encargan de brindar solo el suministro de agua potable.

4.2.1 Componentes del sistema. El sistema de acueducto del municipio de San Calixto fue construido en el año 1993 y desde el año 1997 es operado y administrado por la Unidad de Servicios Públicos Domiciliarios del municipio y la cual fue creada mediante acuerdo No. 080 del 11 de noviembre de 1997.

La planta de tratamiento de agua potable se encuentra a 500 m de la cabecera principal, está se encuentra aislada y protegida en maya eslabonada en un área de 25 m² de 5 m * 5 m y se ubica a una altura de 1700 msnm.

4.2.2 Fuente de abastecimiento. La planta de tratamiento del municipio de san Calixto se abastece de la Quebrada la Maravilla, la cual a su vez abastece a la verdad la Quina y un número considerable de fincas quienes utilizan el agua tanto para riego como para uso doméstico. La microcuenca ha sufrido una alta intervención antrópica, principalmente en la vertiente derecha donde se han asentado varias familias y establecido diverso cultivos para su sustento. Sumado a esto se han introducido especies foráneas que han afectado a las especies nativas y han invadido gran parte de la microcuenca, especialmente con la especie *Pinus patula* conocida comunmente como pino, que según Ruiz (2014) uno de los principales impactos de esta especie es que afecta no solo a los ecosistemas, sino a las poblaciones humanas debido a la alteracion que implica en las propiedades hidrológicas.

4.2.3 Bocatoma. La bocatoma de la planta de tratamiento se encuentra ubicada a unos 1.300 m del casco urbano, el tipo de captación es toma de rejilla, el cual consiste en un muro de concreto ubicado perpendicularmente al flujo de la corriente y protegida con una rejilla metálica que permite retener materiales de acarreo de cierto tamaño y esta estructura funciona totalmente por gravedad.

La unidad de servicios públicos domiciliarios cuenta con concesión de aguas expedida por la corporación autónoma nororiental (CORPONOR) mediante resolución N° 009 de 2013 por un periodo de 5 años y un caudal otorgado de 4,45 L/s.

4.2.4 Desarenador. El sistema de acueducto cuenta con dos desarenadores el primero ubicado en la quebrada la Maravilla a 50 m de la captación, y el segundo aproximadamente a 650m.

Las dimensiones generales de la cámara de entrada del primer sedimentador son de 0,6m*0,6m *0,7m; la cámara central tiene una dimensión de 5m*2m*0,7m, y la cámara de salida es de 6"; el segundo desarenador de igual dimensiones con una capacidad de 30,9 L/s.

El mantenimiento de los sedimentadores se realiza de acuerdo al nivel de colmatación de los lodos presentados por cada desarenador.

4.2.5 Aducción. La línea de conducción desde el segundo desarenador hasta la planta de tratamiento funciona por gravedad y posee una tubería de PVC de 4" con una longitud de 1001 m aproximadamente. Actualmente presenta una pérdidas evidentes desde la bocatoma hasta la PTAP y épocas de bajas precipitaciones este problema se evidencia con mayor rigor, ya que muchos campesinos en necesidad por mantener la producción de sus cultivos perforan la línea de conducción para instalar mangueras has sus fincas.

4.2.6 Sedimentación. El proceso de sedimentación está constituido por 6 tanques que se encuentran en el segundo nivel de la estructura de la planta de tratamiento, por el cual es transportada el agua y se sedimentan gran cantidad de material de solidos sedimentables, y a

aquellos que no logran ser removidos por su naturaleza, el ejemplo solidos coloidales, pasan al proceso de filtración.

4.2.7 Filtración. El sistema de filtración fue instalado en el año 2012, es una estructura reciente y está constituido por grava, arena y antracita, esto con el fin de remover sólidos en suspensión que puedan afectar el proceso de cloración.

4.2.8 Tanque de cloración. Este se encuentra construido por una estructura poco convencional, debido a que han instalado un tanque aéreo de 500 L en el cual preparan la mezcla de cloro diariamente y el operario de la planta, conocido como fontanero, debe graduar manualmente el goteo de la misma respecto a la cantidad de caudal que entra, siendo este el inconveniente principal, debido a la variación que presenta el caudal de la quebrada, donde en épocas de invierno este aumenta y por tanto el goteo debe aumentar y en verano viceversa; y sumado a esto no se tiene macro medición ni a la entrada y salida de la planta de tratamiento.

4.2.9 Tanque de almacenamiento. El sistema de acueducto cuenta con dos tanques de almacenamiento semienterrados, el primero ubicado a 10 m de la planta de tratamiento con unas dimensiones de 5,5m*5m*2,5m para un volumen o capacidad total de 76m³, y el segundo denominado “tanque bajo” con dimensiones de 10m*10m*3,5m para una capacidad de 350 m³ y ubicado a nos 250 m aproximadamente desde la planta de tratamiento.

El lavado de los tanques se realiza semestralmente, de acuerdo a información suministrada por la unidad de servicios públicos, en la actualidad están funcionando normalmente y se le ha realizado mejoramientos a la estructura física del tanque de mayor capacidad, esto en

consecuencias a grietas o fallas de las estructuras que se originaron por un movimiento de tierra ocurrida en el año 2010 a raíz de la época invernal que se presentó en este periodo de tiempo.

4.2.10 Red de distribución. El proceso de distribución del agua potable se realiza mediante gravedad, en el cual desde los tanques de almacenamiento se distribuye el agua a través de tuberías de PVC de diferentes pulgadas que van desde 4 hasta 2 pulgadas.

En el municipio según del departamento nacional de planeación (DNP, 2013) existe una cobertura del servicio de agua potable del 92%, esto obedece a que existen dos barrios que no se han conectado a la red de distribución y se abastecen de acueductos independiente; en las acometidas de las viviendas hay micromedidores, pero la mayoría están averiados y no se ejecuta ningún registro sobre estos para determinar el consumo de agua por vivienda.

La PTAP está a cargo de un operario el cual no se encuentra certificado para el manejo de la misma, quien se encarga del proceso de cloración, apertura y cierre de válvulas así como del mantenimiento de los componentes del sistema y posibles fallas que se presenten a lo largo de la red de distribución.

La planta de tratamiento funciona las 24 horas, pero teniendo en cuenta que no existe un programa de uso y ahorro eficiente del agua la continuidad de este se ve afectado, principalmente en épocas de estiaje donde se alcanzan bajos niveles del caudal, tal y como se puede observar en la encuesta, donde la totalidad de la población contestó que el agua llega de 0-10 horas/día, valor

que de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 es considerada como insuficiente para abastecer a la población.

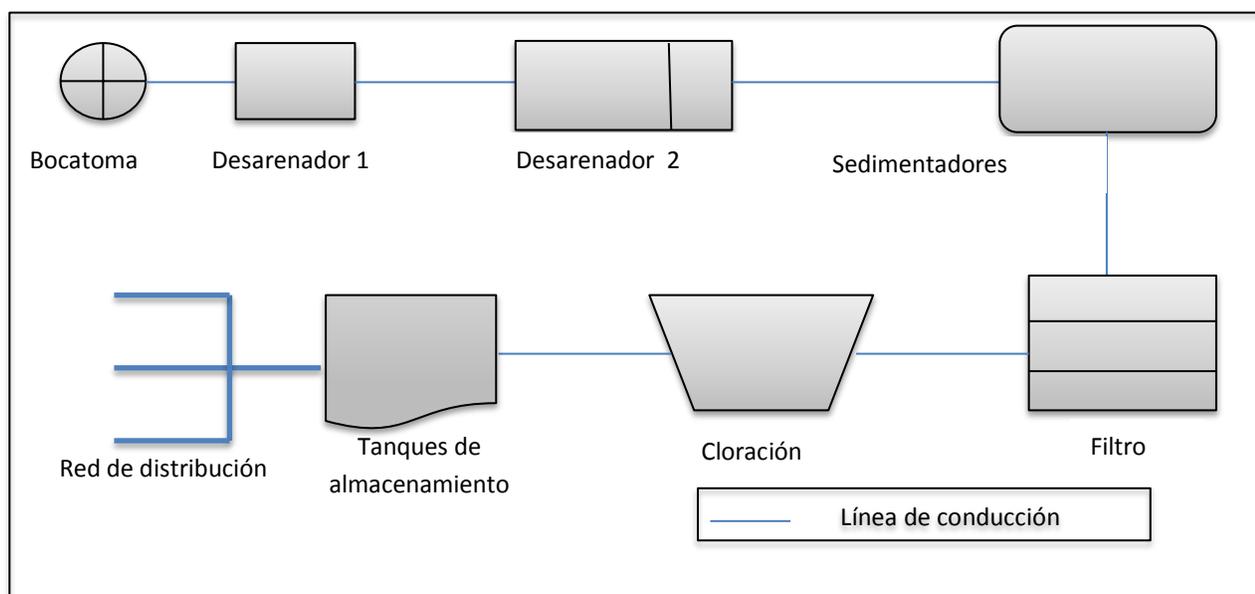
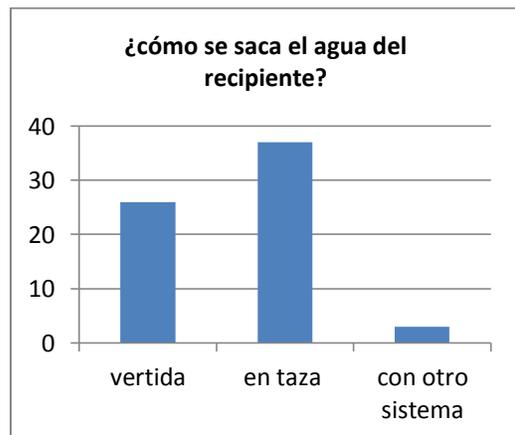
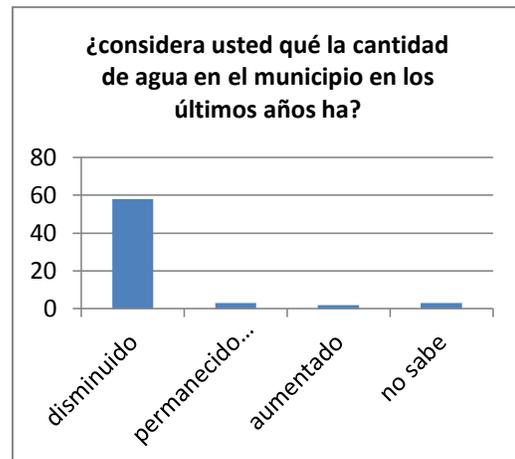
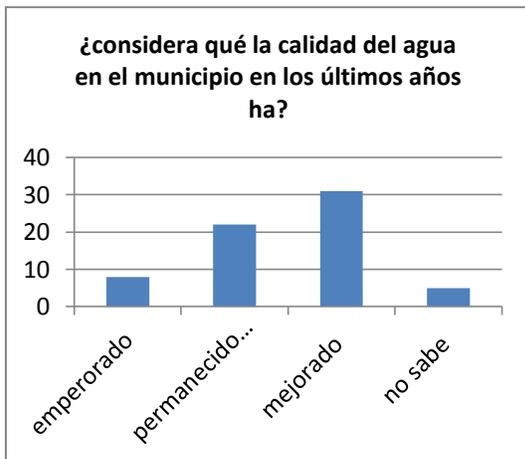
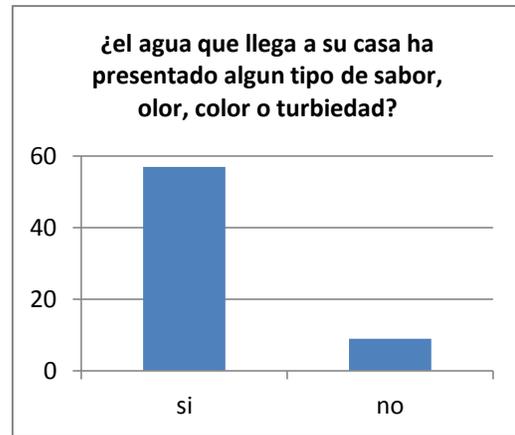
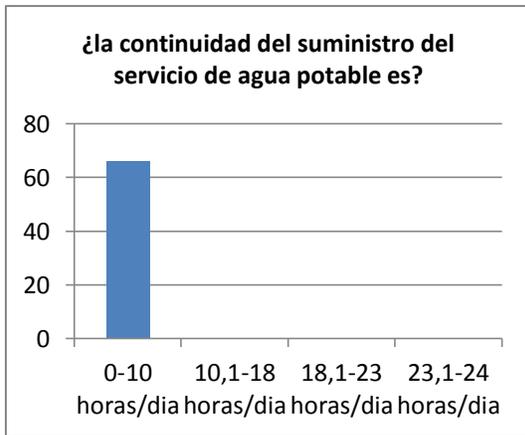
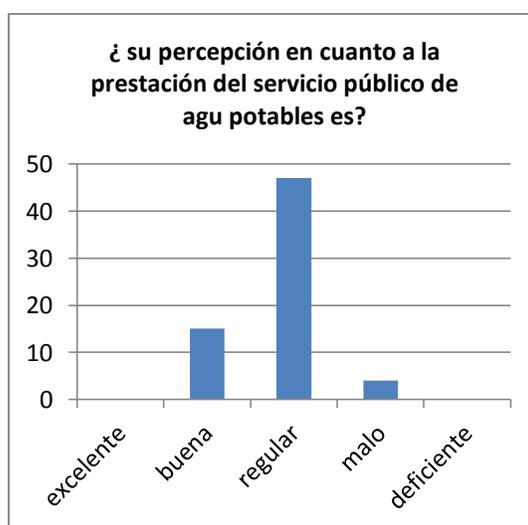
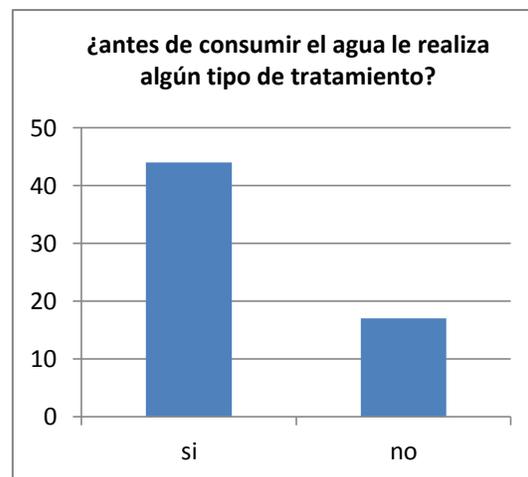
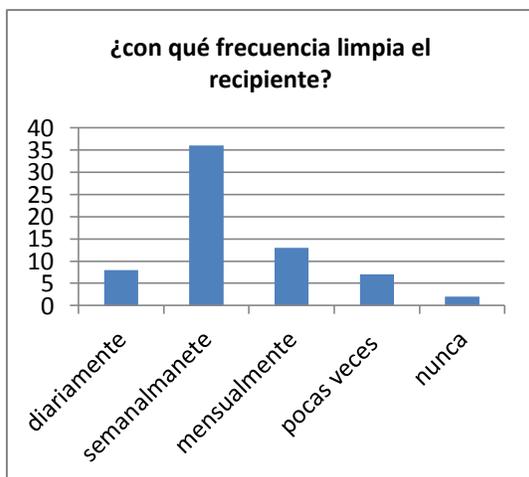


Figura 9: Esquema de la planta de tratamiento del municipio de San Calixto. Fuente: autor del proyecto (2016)

Con el fin de conocer la percepción de la población servida por el sistema de acueducto respecto a la calidad del agua se aplicó una encuesta la cual se encuentra en el apéndice B y los resultados son los que se detallan a continuación.





Teniendo en cuenta los resultados de la encuesta aplicada, se puede observar que el índice de continuidad en el suministro del agua potable está en el rango de 0 a 10 horas/día, rango que de acuerdo a la resolución 2115 de 2007 es insuficiente y que a su vez quedo demostrado en el cálculo de dicho índice el cual arroja un valor de 3,9 horas/día.

A pesar de que la mayoría de los encuestados considera que la calidad del agua en los últimos años ha mejorado, estos expresan a su vez que se siguen presentando problemas en el proceso de potabilización, ya que más del 70% de los encuestados respondieron que el agua que

llega a sus hogares ha presentado algún tipo de sabor, color, olor o turbiedad, donde expresaban que principalmente encontraban el agua con un sabor característico al cloro y en épocas de lluvias este llegaba un poco turbia.

En cuanto a la pregunta si almacenan el agua en algún tipo de recipiente la mayor parte de los encuestados respondió que sí, y a su vez mas del 50% de los encuestados manifestó que la forma en que ellos sacan el agua de dichos recipiente es a través de tazas, lo cual implica un riesgo para la salud, pues en ocasiones dichos recipientes no son almacenados de manera adecuada y se dejan cerca de productos orgánicos, como en la preparación de alimentos, y posterior estos son usados nuevamente para extraer el agua, dejando restos de residuos orgánicos dentro de los recipientes de almacenamiento que posteriormente se descompondrán.

Sin embargo a pesar de que la mayoría de la población es consciente de que han existido mejoras en la calidad del agua, ellos realizan algún tipo de tratamiento antes de consumirla siendo el más común hervir el agua y el uso de filtros purificadores evitando así que presenten problemas de salud.

4.3 Identificación de alternativas de mejora para sistema de acueducto

Para esta etapa se desarrolla la aplicación de una matriz DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas). Con esto se busca las diferentes combinaciones de los factores internos externos que puedan ayudar al mejoramiento del sistema (Véase tabla 21).

Tabla 21*Matriz DOFA*

Debilidades	Oportunidades	Fortalezas	Amenazas
Solo hay un operario en la planta y su permanencia no es constante durante el día, además no se encuentra certificado.	Existen entes nacionales que confinacion proyectos de construcción, ampliación y remodelación de acueductos.	Hay tratamiento continuo del agua.	Intervención antrópica en la microcuenca.
Perdidas en el sistema de acueducto.	Apoyo por parte de la alcaldía municipal.	Cobertura del 92% de la población del casco urbano.	Ausencia de un plan de manejo de la microcuenca.
Estructura de cloración inadecuada.	Capacitación a los operarios por instituciones del estado.	Existencia de una oficina encargada del manejo de la planta.	Falta de cultura ciudadana en el uso y ahorro eficiente del agua.
Ausencia de programas de uso y ahorro del agua	Apoyo a estrategias de conservación ambiental por parte de los habitantes de la parte alta de la microcuenca.	La calidad del agua de la fuente es óptima para su tratamiento.	Contaminación difusa por aplicación de agroquímicos.
No se monitorea el caudal de entrada ni a la salida de la planta.	Existen asociaciones campesinas capaces de gestionar recursos.	No existen descargas puntuales de aguas residuales.	Expansión de la frontera agrícola, por el crecimiento de la población.

Nota. La anterior matriz se elaboró con base en el diagnóstico técnico y operativo desarrollado en la unidad de servicio públicos domiciliarios y el recorrido realizado en la planta de tratamiento. Fuente: autor del proyecto (2016).

En base a la matriz anteriormente descrita se identifican los principales aspectos que se deben corregir para mejorar la calidad en la prestación del servicio de agua potable en el municipio de San Calixto.

4.3.1 Compra de áreas estratégicas. La microcuenca la maravilla es la única área de recarga hídrica que actualmente abastece esta planta de tratamiento de agua potable del municipio de San Calixto, que a su vez es compartida con la vereda la Quina y otras fincas que captan el agua en dicha microcuenca. La intervención antrópica en esta microcuenca es evidente, cultivos

establecidos en ambas vertientes y además se ha talado gran parte de la vegetación de mayor importancia ecológica para la regulación del ciclo hidrológico afectando la disponibilidad del recurso.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que la unidad de servicios públicos es la encargada de la prestación del servicio y a su vez esta se encuentra como una oficina adscrita a la alcaldía municipal, deben realizar inversiones conjuntamente en la adquisición de áreas estratégicas en la parte alta de la microcuenca que permita asegurar la protección total de las mismas, para evitar la pérdida del ecosistema que allí permanece; con esta medida se logra de igual forma dar cumplimiento a lo establecido en la ley 99 de 1993 artículo 111 el cual establece que “declárese de interés público las áreas de importancia estratégica para conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales y distritales” e indicando en este mismo artículo que los departamentos y municipios deben dedicar un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos, de tal forma que antes de concluido tal periodo, haya adquirido dichas zonas.

4.3.2 Elaboración del plan de manejo ambiental de la microcuenca. De acuerdo al ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible el plan de manejo ambiental de microcuencas es un instrumento de planificación que permite orientar acciones y ayuda a la toma de decisiones que favorezcan el desarrollo integral de la microcuenca, esto permitirá que se establezca un orden en cuanto a la asignación del recurso hídrico para quienes se abastecen de la quebrada la Maravilla, teniendo en cuenta que la cantidad del recurso hídrico ha disminuido considerablemente como lo muestran los resultados de la encuesta y con base en datos

suministrados por parte de la unidad de servicios públicos, la cual indica que en épocas de bajas precipitaciones a la planta ingresan 0,5 L/s.

Lo anterior obedece a que la bocatoma de la planta de tratamiento es el último punto de captación respecto a los otros usuarios, quienes captan gran cantidad de agua sin tener en cuenta el caudal ecológico que se debe dejar para no afectar las actividades que se desarrollan aguas debajo de cada captación.

4.3.3 Cálculo del caudal de diseño. Considerando que la planta de tratamiento no cuenta con macromedidores ni estructuras que permitan conocer el caudal de entrada a la planta, se debe considerar cual es el caudal de diseño requerido para la ejecución de los demás procesos dentro de la planta. Los resultados son los siguientes.

Tabla 22

Nivel de complejidad

Asignación del nivel de complejidad	Nivel de complejidad población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Baja	Menor a 2.500 habitantes	Baja
Media	Entre 2.501 y 12.500 habitantes	Baja
Medio alto	entre 12.501 y 60.000 habitantes	Media
Alto	mayor a 60.000 habitantes	Alta

Fuente: RAS 2000. Título A.

Teniendo en cuenta las proyecciones estimadas por el DANE el municipio de San Calixto cuenta con una población de 1817 habitantes en el casco urbano, por tanto su nivel de complejidad es bajo.

4.3.3.1 Dotación neta. Uno de los principales factores a tener en cuenta en este aspecto es el clima, entendiendo que de acuerdo a este varía la cantidad de agua requerida por cada habitante, como se muestra en la tabla 22.

Tabla 23

Dotación

nivel de complejidad del sistema	Dotación neta máx. Para poblaciones con clima frío o templado (L/hab. –día)	Dotación neta máx. Para poblaciones con clima cálido (L/hab. –día)
Baja	90	100
Media	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: resolución número 2320 de 2009.

“La cabecera municipal se encuentra a 1600 metros sobre el nivel del mar y tiene una temperatura promedio de 23 °C” (Alcaldía de San Calixto, 2016). Por tanto la dotación neta máxima es de 90 L/hab. –día, el cual ajustado de acuerdo a la tabla de correcciones de la dotación neta según el clima, el valor de este es de 99 L/hab. –día.

4.3.3.2 Dotación bruta. La dotación bruta se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

De acuerdo a dicha ecuación y considerando la resolución 2320 de 2009, la cual dice que el porcentaje de pérdidas técnicas máximas admisibles para dicha ecuación no deberá superar el 25%, el resultado de este es de 132 L/hab. –día.

4.3.3.3 Caudal medio diario (Q_{md}). Es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada.

$$Q_{md} = \frac{P. d_{bruta}}{86.400}$$

Donde p es la población que equivale a 1817 habitantes y dbruta a 132 L/hab. –día; por tanto el valor del Q_{md} es de 2.77 L/s.

4.3.3.4 Caudal máximo diario (Q_{MD}). Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario k_1 , el cual equivale a 1.30 para el nivel de complejidad bajo.

$$Q_{MD} = Q_{md} * k_1$$

Por tanto el valor de caudal máximo diario es de 3.0 L/s.

Con los resultados anteriormente expuestos se podrán tomar decisiones en cuanto a modificaciones o adecuaciones futuras de la planta de tratamiento, de igual forma permitirá la conocer cuanta es la cantidad del cloro que deben preparar para el proceso de desinfección, ya que es el único compuesto químico que se agrega al agua en esta planta de tratamiento. Por otra parte se hace necesario la adecuación de una estructura que permita controlar el caudal de entrada, ya que en épocas de invierno la cantidad de agua aumenta e ingresa directamente a la planta potabilizadora captando más agua de la concesionada y por tanto requiriendo mayores gastos en su tratamiento.

4.3.4 Construcción de una canaleta tipo Parshall. “Las canaletas tipo Parshall en las plantas potabilizadoras se utilizan generalmente con una doble finalidad, la de medir el afluente y realizar una mezcla rápida” (UNAD, 2012); sin embargo, teniendo en cuenta la calidad del agua de la fuente de abastecimiento de la PTAP, esta no requiere la adición de ningún tipo de coagulante, por tal motivo la instalación de dicha canaleta será con el fin único de medir caudal a la entrada de la planta y poder realizar el proceso de cloración correctamente.

Estos canales consisten en una sección convergente con un nivel del suelo, una sección de garganta con un suelo de pendiente negativa, y secciones divergentes con un suelo de pendientes negativas (Bermeo et al., 2010, p. 8).

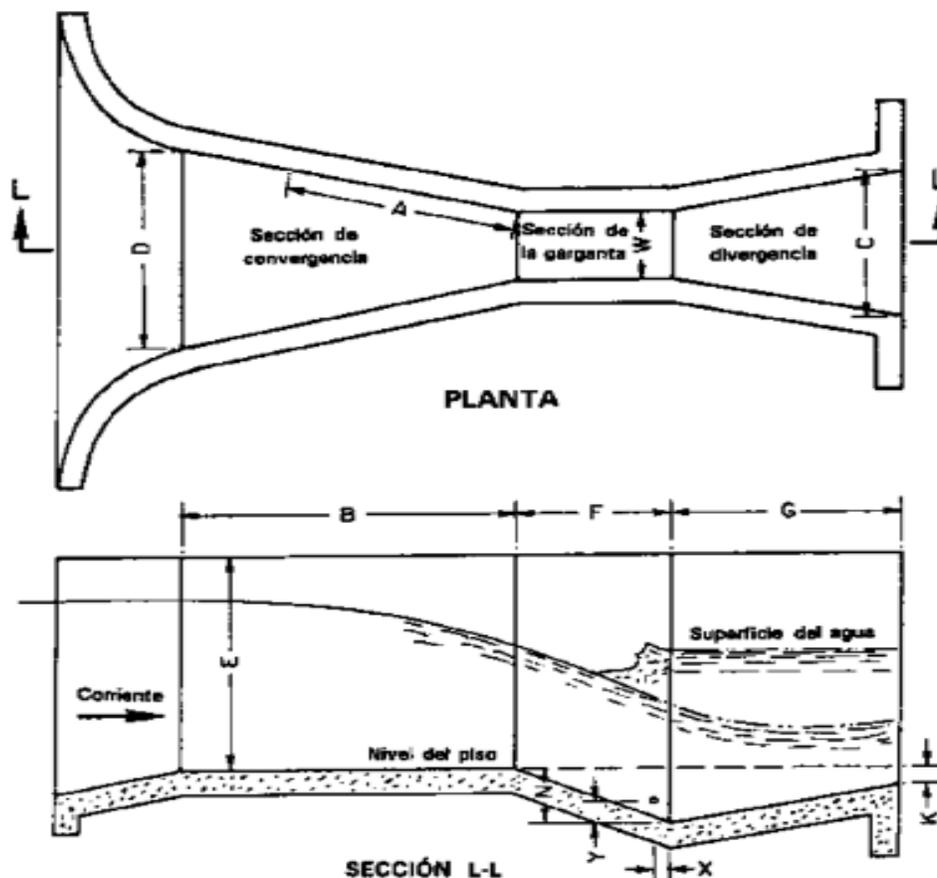


Figura 10: Canaleta tipo Parshall. Fuente: UNAD (2012)

Para el cálculo del caudal que fluye sobre este, se utiliza la ecuación $Q=C*(H_a)^n$, donde Q representa el caudal de entrada, C y n son coeficientes y se definen según el ancho de la garganta y H_a es la profundidad medida en el punto de aforo en la sección convergente; por tanto podemos observar que C y n permanecen constantes requiriendo únicamente medir regularmente el valor de H_a para poder hallar el caudal, esto con el objetivo de conocer la cantidad de agua que ingresa diariamente a la planta y poder realizar las dosificaciones requeridas de cloro, teniendo en cuenta que el caudal de la quebrada es muy variable en el tiempo.

4.3.5 Sedimentador. En la actualidad la planta cuenta con 6 tanques de baja capacidad volumétrica y retención hidráulica que funcionan como sedimentadores, a su vez los resultados del ICOSUS el cual se encuentran en un valor muy alto, requiere que la infraestructura utilizada para este proceso sea la de mayor cuidado y atención, ya que se pueden presentar problemas en el proceso posteriores de filtración y cloración respectivamente.

Con base en lo anterior y lo establecido por el RAS 2000 título C el cual indica que para los niveles de complejidad bajo se requiere tener como mínimo dos unidades que permitan realizar el proceso de sedimentación, el tipo de sedimentador más adecuado son los sedimentadores de flujo horizontal, el cual está constituido por una zona de entrada que distribuye el caudal uniformemente a través de toda la sección transversal disipando la energía del agua y garantizando una velocidad longitudinal uniforme; posteriormente debe contar con una zona de sedimentación que debe constar de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuadas para que se sedimenten las partículas; debe tener una zona de salida constituida por vertederos, canaletas o tubos con perforaciones y por ultimo una zona de recolección de lodos constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, dadas las características de la planta este proceso debe realizarse manualmente.

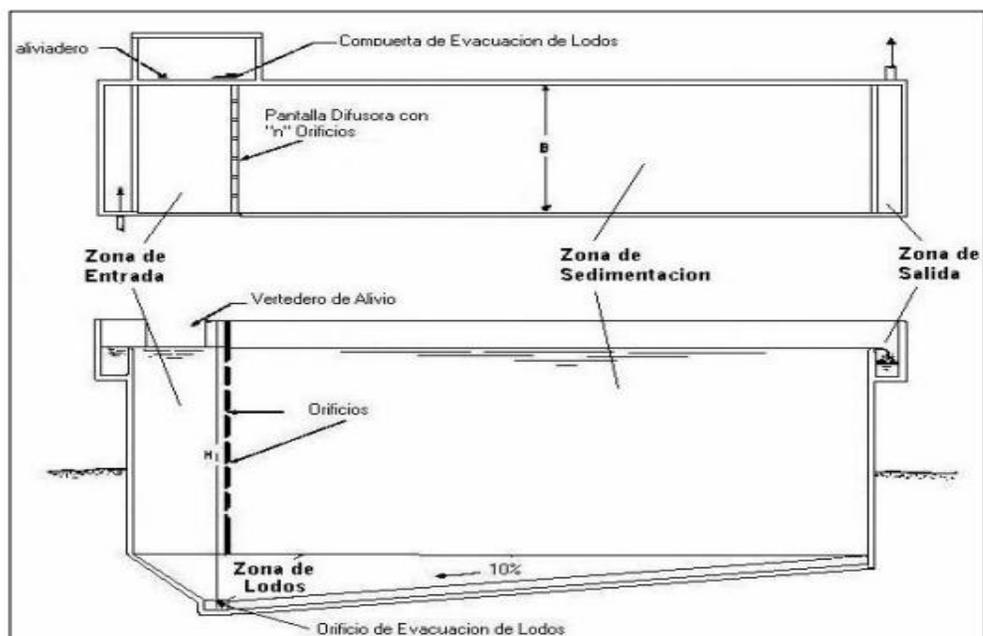


Figura 11: Modelo de sedimentador con flujo horizontal. Fuente: OPS (2005)

Como se mencionó anteriormente para el nivel de complejidad bajo se requiere tener como mínimo dos unidades que permitan realizar el proceso de sedimentación, esto con el objetivo de garantizar el normal funcionamiento de la planta y no suspender el servicio a sus usuarios.

Otros criterios que establece el RAS 2000 es el tiempo de detención que debe estar entre 2 h y 4 h para lograr una buena sedimentación de los sólidos allí presentes, la velocidad máxima del flujo horizontal debe ser de 1 cm/s, la altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m y la pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor del 2%; las características mencionadas son una parte de las exigidas por el reglamento y las cuales debe considerar el diseñador del mismo.

4.3.6 Cloración. El sistema de cloración es uno de los proceso más importantes en sistema de potabilización, ya que gracias a este se logra eliminar los microorganismos allí presentes que

puedan generar problemas a la salud, a su vez, este debe ser realizado eficientemente, ya que existe un máximo permisible por parte de la legislación colombiana, por tal motivo se plantean las siguientes soluciones.

4.3.6.1 Capacitación al operario. En la actualidad y por las dimensiones de la planta de tratamiento siempre se ha operado por una sola persona, que al mismo tiempo es la encargada de realizar las reparaciones en el sistema de distribución en caso de fugas, quienes allí han ejercido esta función no cuentan con una certificación que los avale para la ejecución de dicha labor y por tanto desconocen el funcionamiento de cada una de las estructuras de la planta.

4.3.6.2 Medidores de cloro. El instrumento con el que actualmente cuenta la planta de tratamiento para evaluar este parámetro no es el adecuado, por tal motivo se requiere una equipo especializado para esta actividad y así controlar efectivamente los niveles de cloro, no solo en la planta de tratamiento, sino a lo largo de la red de distribución; ya que en muchas ocasiones se pueden presentar problemas en las tuberías, como rupturas, que contaminen el agua y por ende el consumo de cloro será mayor.

4.3.6.3 Dosificadores de cloro. Se requiere la instalación de una bomba dosificadora de cloro que permita una desinfección adecuada respecto al caudal de entrada a la planta de tratamiento, ya que el nivel de agua de la microcuenca varía constantemente por las variables climáticas, y no se cuenta con una regulación de caudal en la bocatoma del sistema de acueducto.

4.3.7 Macro y micromedidores. El sistema de acueducto del municipio de San Calixto actualmente no cuenta con ningún tipo de macro ni micromedidores que permitan cuantificar el agua que tratan así como la distribuida a la población.

Los macromedidores se deben instalar tanto a la entrada de la planta como a la salida de la misma, con el objetivo de determinar la cantidad de agua que ingresa y sale de la planta de tratamiento, y de esta manera establecer si existen pérdidas dentro de las instalaciones, esto es recomendable ya que la planta de tratamiento cuenta con dos tanques de almacenamiento semienterrados y a simple vista es muy difícil determinar fallas en la estructura.

En cuanto a los micromedidores estos se deben instalar en cada una de las acometidas como una medida que permita contabilizar la cantidad de agua que se está distribuyendo a la población, y que a su vez restado a la cantidad de agua medida en el macro medidor ubicado a la salida de la planta, poder estimar cual es el porcentaje de pérdidas en toda la red de distribución que de acuerdo al RAS 2000 este no debe superar el 25%, a su vez con esta medida se da cumplimiento a la ley 373 de 1997 la cual en su artículo 6 establece que todas las entidades que presten el servicio de acueducto deben adelantar un programa orientado a instalar medidores de consumo a cada uno de los usuarios para lograr un uso y ahorro eficiente del agua. Esta actividad debería ir acompañada de talleres de educación ambiental con cada una de las comunidades, sobre quienes se debe impartir conocimiento en cuanto al uso y ahorro eficiente del recurso hídrico.

Capítulo 5: Conclusiones

En el municipio de san Calixto históricamente se han presentado problemas en torno a la calidad del agua, debido a los malos manejos por parte de la contratación del personal encargado de la unidad de servicios públicos y la baja inversión en el mejoramiento de la planta de tratamiento; sin embargo, en los últimos años inversiones realizadas por los mandatarios locales han logrado una mejora sustancial en la prestación del servicio mediante la adecuación del sistema de potabilización.

Los resultados de la evaluación de la fuente de abastecimiento nos permiten concluir que la calidad del agua de la misma es idónea para su uso en distintas actividades, aunque presenta ciertos problemas en cuanto a sólidos suspendidos y coliformes, esto son de fácil tratamiento en el proceso de potabilización. No obstante, la microcuenca se ha visto afectada por la intervención antrópica por lo se deben encaminar acciones que permitan frenar el proceso de deterior de este ecosistema y así mantener los servicios ecosistémicos que esta nos brindan, principalmente el de aprovisionamiento de agua.

En cuanto a la cálida del agua suministrada por parte de la persona prestadora se observó que de acuerdo al IRCA este se encuentra en un nivel alto, lo cual obedece a falencias en el proceso de cloración y que por ende afecta la presencia de microorganismos en el agua; cabe resaltar que el valor fue alto en consecuencia a que los parámetros que nos están cumpliendo con la norma son aquellos que presentan un mayor puntaje de acuerdo a la normatividad. Po otra parte el IRABApp se encuentra en un rango alto ya que el operario de la planta no se encuentra certificado, el índice de continuidad es insuficiente y solo cuenta con medición de cloro como

dotación básica de laboratorio, razón por la cual se deben realizar mejoras en cuanto a los aspectos mencionados y así lograr una mejor prestación del servicio.

Con base en lo anterior se requiere que se tomen acciones encaminadas a la recuperación de la parte alta de la microcuenca con el ánimo de evitar que actividades humanas continúen afectando las pocas áreas de bosque ayudan a regular el ciclo hidrológico acompañado de un plan de manejo ambiental de la misma, se debe adecuar el sistema de sedimentación como de cloración para lograr una mayor eficiencia en ambos procesos, siendo este último el de mayor priorización ya que por este proceso el IRCA puede presentar altos valores.

Capítulo 6: Recomendaciones

Según lo evidenciado a lo largo del desarrollo del proyecto, el sistema de acueducto del municipio de San Calixto cuenta con una infraestructura aceptable y sobre las cueles se deben implementar una serie de mejoras que permitan mejorar la prestación del servicio.

Por tal motivo se deben encaminar esfuerzos y asignar recursos económicos principalmente en la instalación de una canaleta tipo Parshall que permita conocer cuál es la cantidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento y poder de esta manera realizar una dosificación correcta del cloro utilizado como desinfectante, para tal proceso es indispensable la capacitación y certificación del operario de la planta de tratamiento y de esta manera realizar las dosificaciones correctas para cumplir con lo exigido por la resolución 2115 de 2007.

Como se evidenció en el cálculo de los índices de calidad, el ICOSUS es el índice que presenta el valor más alto y que no muestra un grado de afectación de la calidad del agua, en este sentido se recomienda que se rediseñe la estructura del sedimentador, pues en base a lo encontrado en el diagnóstico técnico operativo, este no cumple con las especificaciones establecidas en el RAS 2000 título C.

Se sugiere que la persona prestadora de municipio efectúe análisis constantes a lo largo de la red de distribución, pues como se evidencio en el cálculo del IRCA al final del sistema de distribución había mayor presencia de microorganismos respecto al punto tomado al intermedio del sistema de distribución. Para tal motivo es necesario que adquiera implementos básicos de laboratorio o en su defecto realizar una contratación con un laboratorio certificado.

Se hace necesario realizar la conexión de los dos barrios restantes del casco urbano que cuentan con acueductos independientes a la red de distribución principal, los cuales representan el 8% de la población urbana, quienes solo realizan una captación y es distribuida directamente a sus viviendas generando en esta medida un problema de salud pública para quienes consumen dicha agua ya que no remueven aquellos residuos y/o microorganismos patógenos que puedan causar daño a la población servida.

Por último, conociendo que esta problemática en cierta medida se vive en los distintos municipios de la región del Catatumbo y siendo la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña uno de los principales centros académicos y de investigación universitaria en la región, debería establecer convenios con estos municipios para lograr la certificación de los operarios de las distintas plantas de tratamiento de la zona y realizar a su vez un seguimiento y monitoreo constante de la calidad de agua suministrada en cada una de las poblaciones, con el objetivo de que el agua servida se encuentre bajo los estándares exigidos por la normatividad colombiana.

Referencias

- Alcaldía de San Calixto. (08 de 06 de 2016). *alcaldia de san calixto Norte de Santander* . Recuperado el 14 de 09 de 2016, de http://sancalixto-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml
- Anónimo. (2010). *Salud pública y comunitaria*. España: Vertice.
- Barrenechea, A. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En L. Canepa, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I* (pág. 278). Lima: CEPIS/OPS.
- Benavides , D., Castro, M., & Vizcaíno , H. (2006). Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timana (Huila)(tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogota, Colombia.
- Cabildo, M., Cornago, M., Escólastico, C., Soledad, S., López, C., & Sanz, D. (2013). *Bases químicas del medio ambiente*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Cano, A. (2005). *Elementos para una definición de evaluación*. Recuperado el 21 de 09 de 2016, de Elementos para una definición de evaluación:
http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/38/38196/tema_5_elementos_para_una_definicion_de_evaluacion.pdf
- Cañas, J. (2013). Determinación y evaluación de índices de contaminación (icos) en cuerpos de agua. *universidad militar nueva granada* , 1-15.
- Catro, M., Almeida, J., Ferrer , J., & Diaz , D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería solidaria*, 112-124.
- Cegarra, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica* . Madrid: Diaz de Santos.
- Fernández , N., Ramos, G., & Solano , F. (2004). ICATEST V 1.0 una herramienta informática para el análisis y valoración de la calidad del agua. *bistua*, 88-97.
- García , C., Carreón, J., Hernández, J., López, M., & Bustos, J. (2012). Actitudes, consumo de agua y sistemas de tarifas del servicio de abastecimiento de agua potable . *Polis*, 12(34), 363-401.
- Gómez , N. (2005). Remoción de materia orgánica por coagulación- floculación (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Manizales, Colombia.
- González, L., & Goyeneche, J. (2011). Evaluación de la calidad del agua de consumo humano para cuatro veredas de la cuenca del río Suárez y soluciones a corto y largo plazo para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano de la vereda San Isidro. Universidad Industrial de Santander , Santander, Colombia.
- Hernández , R., Fernández , C., & Baptista , P. (2010). *Metodología de la investigación* . México: McGraw-Hill.

- Ideam . (2014). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogota: IDEAM.
- Ideam. (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Bogota: IDEAM.
- Jiménez , B. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: LIMSA.
- Kemmer, F., & McKallion, J. (1989). *Manual del Agua su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Mexico: Mc Graw-Hill.
- Laclette, J., & Zúñiga, P. (2012). *Diagnóstico del agua en las américas*. Mexico: FCCyT.
- Mendes , J. P., & Solsona, F. (2002). *Desinfección del agua*. Lima: CEPIS/OPS.
- Mendoza, M. (2006). Tratamiento de agua potable, operacion, procesos, talleres y monitoreo (monografía). Universidad Industrial de Santander , Bucaramanga , Colombia.
- Miralles, F. (2014). *Recursos hídricos y adaptación al cambio climático en en Latinoamérica y el Caribe*. IBID.
- Navarro, L. (2009). *Desarrollo, ejecución y presentación del proyecto de investigación*. Venezuela: Panapo de Venezuela.
- Ojeda, M. (2012). Caracterización físico-química y parametros de calidad del agua de la planta de agua potable de Barrancabermeja (tesis de pregrado). Univerisdad Industrial de Santander, Santander, Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas. (22 de 10 de 2014). *Organización de las naciones unidas*. Recuperado el 21 de 09 de 2016, de Organización de las naciones unidas: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Organización Mundial de la Salud. (sf de sf de 2008). *organización mundial de la salud*. Recuperado el 15 de 09 de 2016, de organización mundial de la salud: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/
- Organización Panamericana de la Salud . (2004). *tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida*. Lima: OPS.
- Organización Panamericana de Salud. (2002). *Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: OPS/CEPIS.
- Pérez , j., & Espigares, R. (1995). Desinfección del agua. Cloración. *universidad de granada*, 1-18.
- Pérez, j. A. (1981). Tratamiento de aguas. En J. A. Pérez, *tratamiento de aguas* (pág. 1). Medellin: UNAL.
- Quijada, A. T. (2005). Relación de las variables disposicionales: conocimientos, habilidades, motivos y creencias con el desperdicio del agua (tesis de pregrado). Universidad de Sonora, Sonora, Mexico.

- Ramirez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *ciencia, tecnología y futuro*, 135-153.
- Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico. (2000). *título C sistemas de potabilización*. Bogotá: RAS.
- Rodriguez, J. (05 de 04 de 2007). *Guía de elaboración de diagnósticos*. Recuperado el 21 de 09 de 2016, de Guía de elaboración de diagnósticos: <http://www.cauqueva.org.ar/archivos/gu%C3%ADa-de-diagn%C3%B3stico.pdf>
- Rodriguez, R., & Rojas, F. (2012). Evaluación de la calidad del agua de consumo humano y soluciones para mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio del Hato Santander (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *fundamentos de limnología neotropical*. Rionegro: Universidad de Antioquia.
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua*. México: ALFAOMEGA.
- Sierra, C. A. (2011). *calidad del agua evaluacion y diagnostico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Solsona, F. (2002). *Guías para elaborar normas de calidad del agua de bebida en los países de desarrollo*. CEPIS/OPS: Lima.
- Torres, D. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca Sancotea Socorro- Santander. *ingenio libre*, 54-66.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica. *ingenierías universidad de Medellín*, 80-94.
- Vanegas, C. (2010). Evaluación de la calidad microbiológica del agua potable y residual del barrio Robles y su relación con la salud de la población. Concientización de su uso por medio de talleres a los estudiantes del colegio amigos de la naturaleza (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Apéndices

Apéndice A. Resultados de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas



LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Cruda.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: PUNTO: punto 1

TOMADA POR: Jesús Albeiro Amaya López **HORA:** 6:30 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 17 de noviembre de 2016

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 17 de noviembre de 2016. **HORA:** 10:15 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: DQO, DBO₅, Conductividad, pH, Alcalinidad, Dureza, OD, Color, Sólidos Suspendidos, Nitratos, Nitritos, Sulfatos, Turbidez.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 1
ALCALINIDAD	mg/L CaCO ₃	30
DUREZA	mg/L CaCO ₃	19
DQO	mg/L	4,2
TURBIDEZ	NTU	0,0
NITRATOS	mg/L	1,8
NITRITOS	mg/L	6,6
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	7,0
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	30,8
COLOR APARENTE	UPtCu	85,0
OXIGENO DISUELTO	mg/L	9,1
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	370
SULFATOS	mg/l	7,0
DBO ₅	mg/L	1,9

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.



Via Acaosure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax Ext. 104
info@ufps.edu.co - www.ufps.edu.co



Universidad
Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia
NIT. 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Potable.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Barrio Betania **PUNTO:** punto 2

TOMADA POR: Jesús Albeiro Amaya López **HORA:** 7:15 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 17 de noviembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 17 de noviembre de 2016. **HORA:** 10:15 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, Color, Dureza, Hierro, Turbiedad.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 2
HIERRO	mg/L	0,06
DUREZA	mg/L CaCO ₃	26
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	7,8
COLOR APARENTE	UPtCo	11
TURBIEDAD	NTU	0,0

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.



Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufpsa.edu.co - www.ufpsa.edu.co



Universidad
Francisco de Paula Santander
Ocaña - Colombia

NIT. 800 163 130 - 0

LABORATORIO DE AGUAS

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Potable.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: PUNTO: punto 3

TOMADA POR: Jesús Albeiro Amaya López **HORA:** 7:30 Hrs.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 17 de noviembre de 2016.

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 17 de noviembre de 2016. **HORA:** 10:15 Hrs.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, Color, Dureza, Hierro, Turbiedad.

PARAMETROS	UNIDAD	VALOR PUNTO 3
HIERRO	mg/L	0,1
DUREZA	mg/L CaCO ₃	20
POTENCIAL DE HIDROGENO	pH	7,8
COLOR APARENTE	UPtCo	9,0
TURBIEDAD	NTU	0,0

MSc. Diana M. Valdes S.
Coord. Laboratorio de Aguas.



Via Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104
info@ufpsa.edu.co - www.ufpsa.edu.co

Apéndice B. Formato de encuestas**APLICACIÓN DE ENCUESTA EN EL PROYECTO “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN CALIXTO, NORTE DE SANTANDER.”**

Encuesta aplicada a la población abastecida por el sistema de acueducto municipal

- 1. ¿la continuidad del suministro del servicio de agua potable es de?**
 - a. 0 a 10 horas/día
 - b. 10,1 a 18 horas/día
 - c. 18,1 a 23 horas/día
 - d. 23,1 a 24 horas/día

- 2. ¿el agua que llega a su casa presenta algún tipo de sabor, olor, color o turbiedad?**
 - a. Si
 - b. No

- 3. ¿considera que la calidad del agua en el municipio en los últimos años ha?**
 - a. Empeorado
 - b. Permanecido constante
 - c. Mejorado
 - d. No sabe

- 4. ¿Considera usted que la cantidad de agua en el municipio en los últimos años ha?**
 - a. Disminuido
 - b. Permanecido constante
 - c. Aumentado
 - d. No sabe

- 5. ¿almacena el agua potable en algún tipo de recipiente?**
 - a. Si
 - b. No

- 6. ¿Cómo se saca el agua del recipiente?**
 - a. Vertida
 - b. En taza
 - c. Con otro sistema. ¿Cuál?_____

- 7. ¿con que frecuencia limpia el recipiente de almacenamiento?**
 - a. Diariamente
 - b. Semanalmente

- c. Mensualmente
 - d. Pocas veces
 - e. Nunca
- 8. ¿antes de consumir el agua le realiza le realiza algún tipo de tratamiento? (solo en caso de que la respuesta sea si, indique cual).**
- a. Si, ¿Cuál?: __hierve el agua __ filtros purificadores __ pastillas de cloro __ ninguno
 - b. No
- 9. ¿ha presentado algún tipo de enfermedad relacionada con el agua?**
- a. Si, ¿Cuál?_____
 - b. No
- 10. ¿su percepción en cuanto a la prestación del servicio público de agua potable es?**
- a. Excelente
 - b. Bueno
 - c. Regular
 - d. Malo
 - e. Deficiente

Apéndice C. Evidencias fotográficas



Nota. En la imagen de la derecha se encuentran las muestras de agua tomadas tanto de la fuente de abastecimiento como del sistema de acueducto; la imagen de la izquierda representa la planta de tratamiento del municipio de San Calixto, y la imagen del centro representa algunos instrumentos de laboratorio utilizados para el análisis de las muestras. Fuente: autor del proyecto (2016).



Nota. de izquierda a derecha se encuentra la línea de aducción de la planta de tratamiento que presenta una fuga en la tubería, luego le sigue el sedimentador ubicado metros antes de la PTAP y por último el tanque de almacenamiento de capacidad de 76 m^3 de tipo semienterrado. Fuente: autor del proyecto (2016).