

**Proyecto de Saneamiento Hídrico Rural para la Quebrada Santa Elena.
Medellín, 2017**

**Eddie Andrés Guevara Petro
Elkin Yesid Bonet Arengas
Diego Enrique Vélez Gómez**

**Trabajo de grado para optar por el título de Administrador en Salud:
Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental**

**Asesor
Gilberto de Jesús Arenas Yepes. Esp, Msc
Profesor Facultad Nacional de Salud Pública**

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
Héctor Abad Gómez
Medellín
2017**

Tabla de contenido

Resumen.....	12
1. Introducción.....	17
2. Planteamiento del problema.....	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Descripción del problema.....	23
2.2.1 Árbol de problemas	25
3. Justificación.....	26
4. Objetivos.....	28
4.1 Objetivo general.....	28
4.2 Objetivos específicos	28
5. Marcos de referencia	29
5.1 Geográfico	29
5.1.1 Demografía	31
5.2 Marco Institucional.....	32
5.2.1 Alcaldía de Medellín - Secretaría de Medio Ambiente	32
5.2.2 Corantioquia	33
5.2.3 Área Metropolitana	34
5.3 Marco conceptual	35
5.3.1 Generalidades del saneamiento hídrico	35
5.3.1.1 Historia del saneamiento básico rural en Colombia.....	35
5.3.2 Aguas residuales	36
5.3.3 Calidad del agua.....	37
5.3.4 Sistemas de tratamiento en el sitio de origen.....	37
5.3.4.1 Componentes de un sistema de tratamiento en el sitio.....	38
5.3.5 Alcantarillado sin arrastre de sólidos	40
5.3.5.1 Ventajas y desventajas del sistema	40
5.3.6 Enfermedades de origen hídrico.....	42
5.3.7 Cuenca hidrográfica.....	42
5.3.8 Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICA)	43
5.3.8.1 Metodología del Cálculo del ICA	44
5.4 Marco jurídico	52
5.4.1 Marco normativo	52

5.4.2	Marco legal	54
6.	Metodología	56
6.1	Tipo de Estudio	56
6.2	Población objeto o universo	56
6.3	Criterios de inclusión y exclusión.....	56
6.3.1	Criterios de inclusión.....	56
6.3.2	Criterios de exclusión.....	56
6.4	Recolección de la información	57
6.4.1	Técnicas de recolección de la información	57
6.4.1.1	Características del agua.....	57
6.4.1.2	Lista de caracterización y observación.....	58
6.4.2	Actividades para dar desarrollo a los objetivos	59
6.4.3	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	62
6.4.3.1	Software procesamiento datos	63
6.4.3.2	Análisis datos Sistema de Información Geográfico (SIG)	63
6.4.3.3	Proceso Toma De Muestras de agua	63
6.4.3.4	Análisis muestras de agua	64
6.4.3.5	Equipos necesarios	64
6.4.4	Estrategias para prevenir riesgos	64
6.4.5	Custodia de la información.	65
6.4.6	Estrategias de divulgación de la información.....	65
6.5	Consentimiento informado	65
7.	Resultados	66
7.1	Reconocimiento del área de estudio	66
7.1.1	Establecimiento puntos de muestreo	66
7.2	Aplicación de la encuesta	70
7.3	Aforo de la quebrada	71
7.3.1	Medición Profundidades de la Quebrada	71
7.3.2	Áreas de la sección transversal de la quebrada	76
7.3.3	Medición de Velocidades de la quebrada.....	79
7.3.4	Caudal	82
7.4	Muestreo Compuesto.....	84
7.5	Levantamiento del sistema de información geográfico SIG	87

7.5.1	Sistema de Información Geográfico (SIG)	119
7.5.2	Íconos utilizados en el SIG	119
7.6	Caracterización del agua	121
7.6.1	Comportamiento parámetros analizados	123
7.6.1.1	Color verdadero	123
7.6.1.2	Conductividad Eléctrica	124
7.6.1.3	Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO ₅	125
7.6.1.4	Demanda Química de Oxígeno - DQO	126
7.6.1.5	DBO ₅ y DQO vs Distancia	127
7.6.1.6	Potencial de Hidrógeno (pH)	128
7.6.1.7	Sólidos Totales.....	129
7.6.1.8	Sólidos Suspendidos Totales	130
7.6.1.9	Solidos Disueltos Totales	131
7.6.1.10	Turbiedad.....	132
7.6.1.11	Coliformes Totales.....	133
7.6.1.12	<i>Escherichia coli</i>	134
7.6.1.13	Oxígeno Disuelto	135
7.6.1.14	Fósforo Total	136
7.6.1.15	Nitrógeno Total.....	137
7.6.2	Índice de la calidad del agua ICA	138
7.6.2.1	Finalidad o Propósito del ICA	138
7.6.3	Clasificación RAS - 2000.....	154
7.7	Propuestas para el proyecto	161
7.7.1	Dimensión educativa.....	161
7.7.1.1	Componentes de la dimensión educativa.....	162
7.7.1.2	instituciones educativas.....	165
7.7.2	Dimensión Institucional.....	165
7.7.3	Infraestructura	167
7.7.3.1	Margen sur-occidental	170
7.7.3.2	Margen nor-oriental.....	171
7.8	Otras propuestas	174
8.	Discusión	176

8.1	Proyecto red de monitoreo ambiental	176
8.2	ICA Afluentes Rio Medellín e IRCA acueducto Santa Elena	182
8.3	Plan de ordenamiento territorial Medellín	185
8.4	Plan de Desarrollo Local Santa Elena 2015 – 2027	188
8.5	Oportunidades futuras para el saneamiento de la quebrada	190
9.	Conclusión	192
	Agradecimientos	193
	Referencias bibliográficas	194
	Anexos	201

Lista de tablas

Tabla 1. Ponderación parámetros del agua	45
Tabla 2. Calificación Calidad del agua según valores del ICA	51
Tabla 3. Parámetros analizados y método utilizado por el laboratorio de estudios ambientales UDEA.	58
Tabla 4 Levantamiento Sanitario quebrada Santa Elena Punto 1	71
Tabla 5 Levantamiento Sanitario quebrada Santa Elena Punto 2	73
Tabla 6. Levantamiento Sanitario quebrada Santa Elena Punto 3	75
Tabla 7. Cálculo Área Quebrada Punto 1	76
Tabla 8. Cálculo Área Quebrada Punto 2.....	77
Tabla 9. Cálculo área quebrada punto 3	78
Tabla 10. Caudales Quebrada Santa Elena	82
Tabla 11. Información pluviométrica del Valle de Aburrá y Subregiones	85
Tabla 12. Puntos de muestreo	122
Tabla 13. Índice de biodegradabilidad.....	128
Tabla 14. Clasificación índice de biodegradabilidad.....	128
Tabla 15. Nivel de calidad de la fuente de agua superficial (RAS 2000)	155
Tabla 16. Puntos de interés según margen.	168
Tabla 17. Cálculo de pendiente de la quebrada.....	179
Tabla 18. Parámetros del proyecto de saneamiento hídrico y red de monitoreo ambiental.....	181

Listado de Cuadros

Cuadro 1. Marco normativo	52
Cuadro 2. Marco legal.....	54
Cuadro 3. Actividades para dar desarrollo a los objetivos	59
Cuadro 4. Medición De Velocidad Con Flotadores Quebrada Santa Elena Punto 1.....	80
Cuadro 5. Medición De Velocidad Con Flotadores Quebrada Santa Elena Punto 2.....	81
Cuadro 6. Medición De Velocidad Con Flotadores Quebrada Santa Elena Punto 3.....	82
Cuadro 7. Caracterización puntos de la quebrada	87
Cuadro 8. Resultados de laboratorio.....	121
Cuadro 9. Clasificación de la calidad del recurso hídrico según IDEAM	138
Cuadro 10. Resumen de los resultados del ICA por punto de muestreo según IDEAM	153
Cuadro 11. Calificación Ica Promedio	154
Cuadro 12. Resultados promedio de la aplicación del índice de calidad de agua ICACOSU de los muestreos realizados en las principales quebradas afluentes al río Medellín - Aburrá en el primer semestre de 2010 (Marzo – Mayo 2010)...	183
Cuadro 13. Resultados promedio del índice de calidad de agua ICACOSU de los muestreos realizados en el río Aburrá - Medellín en el primer semestre de 2010 (Marzo – Mayo 2010)	184
Cuadro 14. Informe mensual del Índice de Riesgo de Calidad del Agua - acueductos rurales - Antioquia 2015.....	184
Cuadro 15. Jerarquía corredora de agua y afluente del río Medellín.	185
Cuadro 16. Ideas de proyectos – Línea 4: Ambiental	190

Lista de figuras

Figura 1. Esquema árbol de problemas.....	25
Figura 2. Captura satelital cuenca quebrada Santa Elena.....	31
Figura 3. Esquema red de alcantarillado sin arrastre de sólidos.....	41
Figura 4. Recorrido por la quebrada.....	66
Figura 5. Viviendas en la orilla de la quebrada.....	66
Figura 6. Descarga ARD.....	66
Figura 7. Descarga ARD.....	66
Figura 8. Bocatoma Acueducto.....	66
Figura 9. Vista superior Bocatoma Acueducto.....	67
Figura 10. Vista Satelital superior Área de estudio.....	68
Figura 11. Vista Satelital y apreciación de la pendiente.....	69
Figura 12. Vista Satelital y apreciación de la pendiente.....	69
Figura 13. Aplicación de la encuesta.....	70
Figura 14. Viviendas Encuestadas.....	70
Figura 15. Medición sección transversal.....	71
Figura 16. Medición de profundidades.....	71
Figura 17. Área transversal quebrada Santa Elena Punto 1.....	72
Figura 18. Área transversal quebrada Santa Elena Punto 2.....	74
Figura 19. Área transversal quebrada Santa Elena Punto 3.....	76
Figura 20. Aforo con Flotadores.....	79
Figura 21. Medición distancia de 10 m.....	79
Figura 22. Caudal en los puntos de muestreo.....	83
Figura 23. Velocidad en los puntos de muestreo.....	83
Figura 24. Área en los puntos de muestreo.....	83
Figura 25. Preservación de las muestras.....	84
Figura 26. Proceso toma de muestras.....	84
Figura 27. Comparación pluviosidad en distintos puntos.....	85
Figura 28. Comparativo entre pluviómetro Santa Elena y San Javier.....	86
Figura 29. Sistema de información geográfico.....	120
Figura 30. Sistema de información geográfico.....	120

Figura 31. Color Verdadero	123
Figura 32. Conductividad Eléctrica	124
Figura 33. Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO ₅	125
Figura 34. Demanda Química de Oxígeno	126
Figura 35. DBO ₅ y DQO vs Distancia.....	127
Figura 36. pH.....	128
Figura 37. Sólidos Totales	129
Figura 38. Sólidos Suspendidos Totales	130
Figura 39. Solidos Disueltos Totales	131
Figura 40. Turbiedad.....	132
Figura 41. Coliformes Totales	133
Figura 42. <i>Escherichia coli</i>	134
Figura 43. Oxígeno disuelto	135
Figura 44. Cascada	135
Figura 45. Bocatoma.....	136
Figura 46. Fósforo Total	136
Figura 47. Nitrógeno Total.	137
Figura 48. Comparativo DBO ₅ vs RAS - 2000	156
Figura 49. Comparativo Coliformes Totales vs RAS - 2000.....	157
Figura 50. Comparativo pH vs RAS – 2000	158
Figura 51. Comparativo Unidades nefelométricas de turbiedad vs RAS - 2000	159
Figura 52. Comparativo Unidades de Color vs RAS - 2000	160
Figura 53. Puntos de interés en la quebrada según margen.	168
Figura 54. Lugares sugeridos para la instalación de sistemas de tratamiento “in situ”	170
Figura 55. Vista margen nor-oriental, carretera y margen sur-occidental del área de estudio	171
Figura 56. Alcantarillado EPM	172
Figura 57. Red de alcantarillado público de EPM y alcantarillado sin arrastre de sólidos	173

Figura 58. Viviendas ubicadas en el área seleccionada para instalación de la RAD	174
Figura 59. Puntos de monitoreo proyecto de saneamiento y proyecto red de monitoreo.....	177
Figura 60. Puntos de monitoreo proyecto de saneamiento y punto inicial proyecto red de monitoreo.....	179
Figura 61. Perfil quebrada Santa Elena.....	180
Figura 62. Densidad habitacional máxima municipio de Medellín - POT.....	187
Figura 63. Estructura del Plan de Desarrollo Local Santa Elena 2015-2020 ..	188
Figura 64. Línea Estratégica 4 y sus componentes.....	189

Lista de anexos

Anexo 1 Formulario de encuesta	201
Anexo 2 Formato de consentimiento Informado	204
Anexo 3. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales IDEAM..	208
Anexo 4 Resultados Análisis del Laboratorio	214
Anexo 5. Manual mantenimiento pozos sépticos Corantioquia	217

Resumen

Dentro de los diversos problemas ambientales que afectan a la quebrada Santa Elena, resaltan las descargas de agua residual que existen, impactando negativamente el recurso hídrico y generando riesgos para la salud de las personas que viven próximas a la quebrada y aquellas que la utilizan para su abastecimiento, como viviendas, industrias y acueductos veredales. **Objetivo:** Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín, a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar. **Metodología:** El proyecto planteado parte de una fase diagnóstica donde se utilizaron herramientas de estudio descriptivo y de corte transversal, el cual brindó la fundamentación del proyecto. Se obtuvo información de primera mano, la cual fue en base a visitas de campo donde la observación y diálogo con la comunidad permitió realizar el diagnóstico de la situación de saneamiento en la que se encuentra la quebrada, así como el manejo de residuos sólidos, líquidos y formas de abastecimiento de las personas. Se realizó una caracterización del agua de la quebrada en tres puntos y se calculó el índice de la calidad del agua (ICA) para cada uno de estos, además se identificó la totalidad de descargas de agua residual de forma directa. En base a esta información primaria se propuso un proyecto de saneamiento hídrico rural con tres dimensiones: Educativa, Institucional e Infraestructura. **Resultados:** Los análisis de los parámetros en el laboratorio así como el ICA, permiten evidenciar el deterioro que presenta la quebrada Santa Elena en su paso por la parte central corregimiento. Se elaboró un Sistema de Información Geográfico donde se identificó las descargas de agua residual y captaciones que se realizan, así como la ubicación de los sistemas de tratamiento "In situ" y alcantarillado sin arrastre de sólidos, los cuales son necesarios para que no exista este tipo de afectación a la quebrada, además se proponen acciones educativas e institucionales que en conjunto forman el proyecto de saneamiento hídrico rural.

Palabras Clave: Saneamiento hídrico rural, caracterización del agua, Índice de Calidad del Agua - ICA, Salud Pública, quebrada Santa Elena, Sistema de Información Geográfico - SIG, descarga de agua residual, captación de agua superficial.

Términos y definiciones

A continuación se muestran las definiciones utilizadas a lo largo del proyecto y que son útiles para el análisis.

Proyecto: Proyecto se aplica a la intención de hacer o ejecutar algo. Un proyecto no es otra cosa que la intención organizada de transformar una situación actual insatisfactoria en una situación futura deseada. Es decir, el proyecto es un puente entre un problema y una solución.

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, la cual tiende a resolver una necesidad humana o satisfacer las necesidades del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser: educación, alimentación, salud, ambiente, cultura, etcétera.

Proyecto de inversión: El proyecto de inversión es un plan que, si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, producirá un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad(1).

Agua: El agua es un elemento vital del planeta(2), vital para la supervivencia humana y para la seguridad alimentaria y, a su vez, se configura como un recurso estratégico para la industrialización, el desarrollo económico, la seguridad energética o el transporte. Su reducción o pérdida podría generar graves dificultades en términos económicos, sociales, políticos, ambientales y de salud pública(3).

El agua es el componente fundamental en mayor cantidad de los organismos de los seres vivos, indispensable para la mayoría de las funciones vitales(2).

Saneamiento básico: Según la OMS, *Saneamiento básico* es la tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y aguas

residuales y tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en las proximidades de los usuarios(4).

Para la Organización Panamericana de la Salud el saneamiento básico incluye(3): El abastecimiento de agua para consumo humano. El manejo y disposición final adecuada de las aguas residuales y excretas. El manejo y disposición final adecuada de los residuos sólidos municipales.

El saneamiento básico es la opción de menor coste que asegura el acceso sostenible a seguras, higiénicas y adecuadas instalaciones y servicios de eliminación de excretas y agua negras, a la vez que proveen privacidad, seguridad y dignidad mientras aseguran un entorno limpio y saludable para el usuario y sus vecinos(5).

Agua Potable: De acuerdo con la OMS, agua potable es el agua utilizada para los fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar(6).

El agua potable se define como el agua que es segura para el consumo humano y accesible en cantidad suficiente para usos en el ámbito doméstico de consumo directo (deglución), de preparación de alimentos e higiénicos(5).

Un agua potable es aquella que se puede consumir sin peligro para la salud, no siendo tóxica ni estando infestada de bacterias, parásitos o virus nocivos para el ser humano.

Es toda agua que empleada para ingesta humana, no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos establecidos en las normas nacionales de cada país (5).

Desinfección del agua: Proceso de eliminación de bacterias y organismos patógenos en el agua. La desinfección del agua puede obtenerse a través de procesos físicos (ebullición) o químicos (cloro, yodo, ozono)(5).

Potabilización del agua: Tratamiento que se realiza al agua para eliminar sustancias inadecuadas (causantes de enfermedades), presentes en ella, garantizando agua apta para consumo(6).

Saneamiento hídrico: Saneamiento hídrico es la recolección, transporte y tratamiento de los residuos líquidos(7).

Sistema de Agua Potable: Conjunto de componentes construidos e instalados para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir agua a los clientes. En su más amplia acepción comprende también las cuencas y acuíferos(6).

Turbiedad: La turbiedad mide el grado en el que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Es un indicador de la calidad del agua así como del tratamiento. La turbiedad en el agua para consumo humano no debe superar las 2 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad), e idealmente debe estar por debajo de 1 UNT(8).

Sistema de Alcantarillado: Es el conjunto de obras, equipos y materiales empleados por la persona prestadora del servicio, para la recolección, conducción, tratamiento y evacuación de los residuos líquidos desde la fuente productora (de los residuos) hasta el sitio de disposición final(4).

Aguas combinadas: Corriente de aguas lluvias que se mezcla con descargas de agua residual provenientes de una vivienda o industria.

Siglas Utilizadas

ARD: Agua residual doméstica

ARnD: Agua residual no doméstica

RAD: Redes de aguas decantadas

ICA: Índice de la calidad del agua

IRCA: Índice de riesgo de la calidad del agua

ONAC: Organismo Nacional de Acreditación de Colombia

SIATA: Sistema de alerta temprana

1. Introducción

Las condiciones de insalubridad en que viven millones de personas en el mundo, la poca cobertura de saneamiento básico y el acceso al agua no potable generan un elevado impacto negativo en la salud de las personas, ocasionando enfermedades que afectan a las poblaciones (11).

Suramérica es una de las regiones con mayor disponibilidad de agua en el mundo, pero el panorama en la mayoría de sus países es el de una baja cobertura en agua potable para sus habitantes e inadecuado manejo de los residuos líquidos y sólidos (13).

Se estima que cerca del 86% de las aguas residuales son evacuadas en los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento, desencadenando problemas en el medio ambiente y en la salud de las personas, más aún en aquellas poblaciones que se asientan en las cercanías a estos (13).

La contaminación que sufre la quebrada Santa Elena es un factor de riesgo para las poblaciones cercanas a ésta, pues la mala disposición de residuos sólidos, líquidos y la insalubridad del entorno, junto con el consumo de agua no apta genera enfermedades de origen hídrico, deterioro de la calidad de vida de la población e impacto negativo a los recursos naturales.

Teniendo en cuenta este contexto, se evidencia una necesidad de saneamiento hídrico con relación a la problemática mostrada, siendo necesario fortalecer las acciones para mejorar las condiciones higiénico-sanitarias del lugar y así minimizar riesgos para la salud pública (15).

El proyecto parte de un diagnóstico de la quebrada Santa Elena, de encuestas a las personas de las viviendas asentadas alrededor de la quebrada y de las condiciones higiénico-sanitarias en que se encuentran a través de actividades

tales como visitas de reconocimiento del lugar, establecimiento de puntos de muestreo, análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, geo-referenciación de las principales tomas, descargas de agua y sitios de disposición de residuos sólidos, medición caudales y registro fotográfico.

Llevando a cabo las actividades mencionadas se logrará diagnosticar la situación sanitaria y ambiental del recurso hídrico, evidenciando así las afectaciones y problemáticas como consecuencia de la contaminación por descargas de agua residual y de residuos sólidos a la quebrada. Además de generar una fuente de información primaria que brinde los elementos necesarios que permitan proponer soluciones a través de la formulación de un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena.

El proyecto es factible y viable ya que cuenta los métodos, técnicas y procedimientos adecuados, y puede contar a futuro con recursos financieros y físicos por parte de la administración municipal, pues está alineado con algunos de sus propósitos a nivel medioambiental, además cuenta con el apoyo y aceptación de la comunidad.

2. Planteamiento del problema

2.1 Antecedentes

Según informes sobre el programa conjunto de monitoreo, progresos en materia de saneamiento y agua de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la UNICEF, para el año 2015 a nivel mundial solo el 68% de la población utilizaba instalaciones de saneamiento mejoradas, dando lugar a que una de cada tres personas en todo el mundo (2.400 millones de personas) no tengan acceso a un adecuado saneamiento y 946 millones hagan sus necesidades al aire libre (9).

El Foro Económico Mundial pone en evidencia que la población mundial tiene una crisis de abastecimiento de agua, el cual ha sido clasificado como "el segundo riesgo global de mayor impacto y entre los cinco riesgos más probables a nivel mundial". Además, asegura que "por lo menos 780 millones de habitantes no tienen acceso a agua potable segura. En algunos países, esto genera anualmente la muerte de 4000 niños y pérdidas de hasta el 7% del producto interno bruto (PIB)" (10).

Teniendo en cuenta que la población mundial aumenta, se prevé que para el 2050 se requerirá un 50% más agua que la actual para abastecer a una población estimada de 9.000 millones de habitantes y por ende aumentarán las descargas de aguas residuales. Los aumentos poblacionales de manera acelerada y excesiva a nivel mundial han generado a lo largo del tiempo un impacto negativo en los recursos naturales renovables y no renovables, alterando en ellos sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas; lo que produce su agotamiento (10).

El rápido crecimiento demográfico, la urbanización y la pobreza en las familias y las comunidades han sobrepasado la capacidad de facilitar a todos un alojamiento salubre y adecuado, especialmente en los países en desarrollo como

Colombia. Las condiciones de insalubridad en que viven millones de personas en el mundo, la poca cobertura de saneamiento básico y el acceso al agua no potable generan un elevado impacto en la salud de las personas, ocasionando enfermedades como la hepatitis A, infecciones en la piel, cólera, fiebre tifoidea, disentería, giardiasis, esquistosomiasis y enfermedades diarreicas. De éstas últimas se presentan cuatro mil millones de casos anualmente, de los cuales el 88% es atribuible a la insalubridad del agua y a la deficiencia en el saneamiento (11).

Un millón ochocientos mil personas mueren de enfermedades diarreicas cada año; la mayoría de ellas son niños menores de cinco años de edad. La falta de agua salubre contribuye a perpetuar un ciclo por el que las poblaciones pobres se vuelven aún más desfavorecidas y la pobreza se arraiga. La OMS estima que el 94 % de los casos de diarrea podrían evitarse mediante modificaciones del medio, por ejemplo, a través de intervenciones que permitan aumentar la disponibilidad de agua limpia y mejorar el saneamiento y la higiene (12).

Suramérica es un territorio en el que se ven grandes contradicciones, dado que es una de las regiones con más disponibilidad de agua en el mundo, con alrededor de 3100m³ de agua per cápita por año, posee el 33% de los recursos hídricos a nivel mundial, duplicando el promedio mundial, además gran mayoría de los países están catalogados con disponibilidades entre altas y muy altas en razón de su superficie y población, pero esto no significa que el recurso sea accesible y de calidad para toda la población, ya que el panorama en la mayoría de los países es el de una baja cobertura en agua potable para sus habitantes (13).

También se evidencia una falta de gestión en el tema de aguas residuales, pues se estima que cerca del 86% de las aguas residuales son evacuadas en los distintos cuerpos de agua de la región, estos sin ningún tipo de tratamiento, desencadenando problemas en la salud de las personas, más aún en aquellas poblaciones que se asientan en las cercanías a estos cuerpos de agua (13).

A nivel nacional, las tasas de morbilidad y mortalidad por las enfermedades causadas por un consumo de agua de baja calidad son altas, entre las que se encuentran la diarrea y el cólera, además estas generan un impacto negativo en la salud pública, pues se estima que aproximadamente 1,96 billones de pesos que son invertidos al año, el 70% corresponde al impacto de morbilidad y mortalidad por las enfermedades diarreicas y el 30% a acciones de prevención. Las zonas rurales son las que presentan mayores índices de morbi-mortalidad en todo el territorio (14).

De acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social, en Colombia para el año 2012, cerca del 59% de la población consumió agua potable de buena calidad. En la zona urbana el agua presentó un nivel de riesgo bajo pero en zona rural el nivel de riesgo es alto. Por lo anterior es necesario fortalecer las acciones para mejorar la calidad del agua suministrada en la zona rural y minimizar así riesgos a la salud pública (15).

Del total de planes de desarrollo municipales analizados por la Unicef en el territorio Colombiano, 568 municipios (56%) incluyen la cobertura urbana de acueducto en sus diagnósticos, mientras que en las zonas rurales y de población dispersa, solo el 25% tienen cobertura de acueducto mayor al 75% de la población, esto refleja los retrasos que tiene el país en temas importantes como este, que van ligados a la calidad de vida de las poblaciones, la salud pública y los recursos naturales (14).

Como resultado de la baja cobertura de sistemas de alcantarillado, en Colombia solo se le da tratamiento a un 12% de las aguas servidas, lo que genera contaminación de las fuentes hídricas, y evidencia el poco avance que se tiene en el país en materia de saneamiento básico hídrico rural (recolección, transporte y tratamiento de los residuos líquidos), esto se convierten en un problema de salud pública, puesto que los habitantes de las zonas menos favorecidas del país, como lo son las áreas rurales, realizan captaciones de aguas contaminadas y no aptas para el consumo humano (16).

De acuerdo con los documentos CONPES 3177 del 2002 sobre las acciones prioritarias para el manejo de aguas residuales (17), 3810 del 2014 sobre el saneamiento básico en las zonas rurales (18), 3463 del 2007 sobre los planes departamentales de agua (19) y 3550 del 2008 sobre salud ambiental y calidad del agua (20), se evidencia la gran importancia que tiene el recurso hídrico sobre la población, y su gran impacto sobre la salud de las personas. Cabe resaltar que el CONPES 3177 del 2002 detalla que los cuerpos de agua en Colombia reciben gran cantidad de vertimientos y en estos viene gran carga de contaminantes, estimando que Antioquia aporta el 13% del volumen de vertimientos de aguas residuales del país, es el segundo en la lista después de Bogotá, lo que evidencia gran necesidad de intervenir con alternativas esta problemática y así disminuir la carga contaminante que es vertida a las fuentes hídricas (21).

La desigualdad entre subregiones en el Departamento de Antioquia es notoria, ya que mientras para el 2010, el Valle de Aburrá, Magdalena Medio y Oriente contaban con una cobertura de acueducto del 98.14%; 82.68% y 81.23% respectivamente, la subregión de Urabá, Bajo Cauca y Nordeste siguen siendo las subregiones más rezagadas con una cobertura del 65.96; 65.86 y 61.24 % respectivamente para el 2010 (22).

El 68.4% (1.159) de sistemas de acueductos rurales no tienen implementado los procesos requeridos para darle un tratamiento adecuado al recurso hídrico, convirtiéndose así en tema de alta prioridad para las autoridades departamentales y municipales en su plan de gestión, como lo es el tratamiento de las aguas residuales (23).

2.2 Descripción del problema

La quebrada Santa Elena es uno de los principales afluentes del río Medellín y según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad está en segundo lugar después de la quebrada Iguaná (24). En las partes bajas de la cuenca (cercana a Medellín) existen urbanizaciones contempladas en el POT y cuentan con todos los Servicios Públicos Domiciliarios, contrariamente a lo que sucede aguas arriba donde hay viviendas ubicadas en terrenos "invadidos" a los alrededores de la quebrada y no cuentan con un correcto abastecimiento de agua (sistema de acueducto – agua potable) puesto que son zonas que no cuentan con cobertura; además algunas no cuentan con un sistema para la disposición de residuos líquidos como lo es el alcantarillado y sistemas de saneamiento básico como lo son letrinas, pozos sépticos y sistemas de infiltración generando un entorno de insalubridad donde hay consumo de agua no potable y descargas inadecuadas produciendo focos de contaminación y afectación al recurso hídrico y la salud de las personas que habitan el lugar (4).

Dentro de los diversos problemas ambientales que afectan a la quebrada Santa Elena, resaltan las descargas de agua residual que existen en la parte superior de la cuenca, como lo son efluentes de tanques sépticos y descargas directas, bien sea que llegan por medio de tubería al cauce de la quebrada o son arrastradas por la escorrentía de las aguas lluvias, ya que son vertidas en el terreno aguas arriba. Las viviendas en su mayoría no cuentan con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, las cuales contaminan el efluente principal de la cuenca (Quebrada Santa Helena), este abastece de forma informal asentamientos (25). Dado este panorama existe riesgo para la salud de la población (26).

Con el paso de los años el corregimiento de Santa Elena ubicado en la parte alta de la cuenca, ha sufrido gran aumento de la población tanto fija como flotante (27), como lo refleja el estudio realizado por el DANE (28), donde se afirma que la población aumenta cada año con alrededor de 713 personas nuevas, lo que

aumenta el consumo de agua y por ende el caudal de aguas residuales vertidas a la quebrada que aguas abajo pasa por las viviendas cercanas a la quebrada.

Algunos de los asentamientos ubicados en la parte baja de la cuenca, y en los alrededores de la quebrada no cuentan con cobertura de acueducto, por lo que hacen captaciones en la quebrada, la cual llega al sitio contaminada debido a los vertimientos realizados en la parte superior, sin cumplir con los parámetros físicos, químicos y biológicos mínimos (8), siendo éste un riesgo para la salud, adicionalmente, estos asentamientos no cuentan con cobertura total de alcantarillado, ni colectores paralelos a la quebrada para llevar las aguas residuales hasta los receptores del río Medellín, en unos pocos kilómetros, la quebrada pasa de tener unas características aceptables a ser un sistema hídrico contaminado, donde hasta principios del siglo pasado, se captaba el agua de buena calidad para abastecer los primeros pobladores de la ciudad de Medellín. Dado este contexto, se evidencia una necesidad de saneamiento hídrico con relación a la problemática asociada con los vertimientos, que afecta la quebrada y a la comunidad asentada en las viviendas aledañas al cauce.

2.2.1 Árbol de problemas

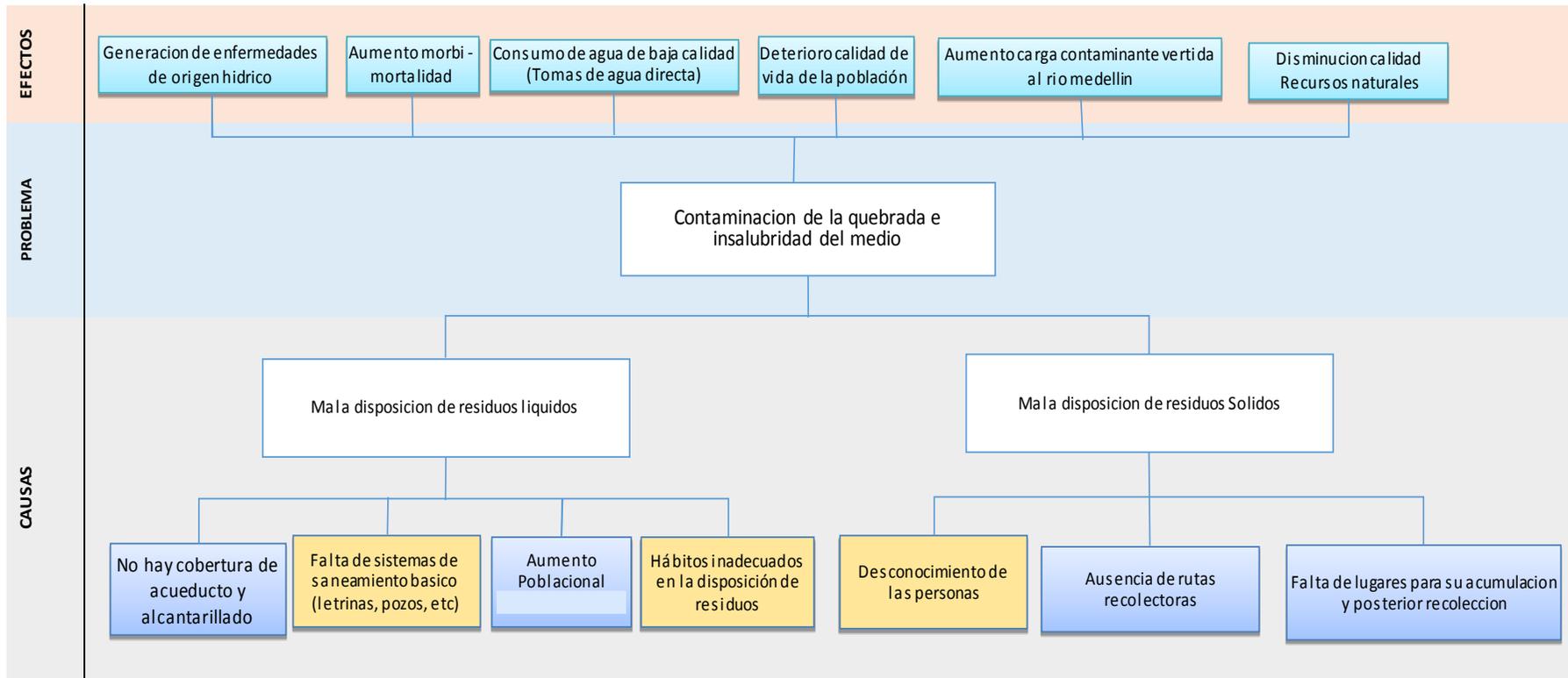


Figura 1. Esquema árbol de problemas.

3. Justificación

La legislación colombiana existente sobre saneamiento hídrico y vertimientos establece y reglamenta los niveles máximos permisibles para la disposición de residuos líquidos (29) a los recursos naturales, que con el paso del tiempo están siendo altamente contaminados (4, 30).

Es por esto que es necesario la formulación de un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena, que nos permita evidenciar la importancia del cumplimiento de la normatividad existente relacionada con este sector sanitario, es importante además hacer un estudio sobre estos temas ya que la quebrada Santa Elena no es ajena a esto, pues los vertimientos que se hacen en el cuerpo de agua son cada día mayores y elevan los niveles de contaminación del recurso hídrico afectando así la salud de las personas y los recursos naturales.

El agua como recurso fundamental para el desarrollo económico y social de una comunidad es supremamente importante para preservar la salud de las poblaciones, agricultura, manejo del medio ambiente y generar empleos(10).

Llevando a cabo la formulación del proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada, se evidenciará la problemática que se tiene en dicha quebrada y sus asentamientos, puesto que se tendrá un diagnóstico claro de las afectaciones que tiene el recurso hídrico, siendo una fuente de información primaria importante para la administración pública a la hora de ejecutar proyectos e intervenciones futuras referentes al tema; el proyecto a formular dará una alternativa de solución a los problemas más relevantes encontrados producto de la contaminación por descargas de agua residual, influyendo positivamente en la calidad de vida de las personas y su situación de salud. El proyecto propiciará condiciones sanitarias y ambientales más favorables a las ya existentes.

Un segundo aspecto es el beneficio que recibirá la cuenca por la mejora de la calidad del agua de su arteria principal, generando un impacto positivo a los recursos naturales, a la flora y fauna, además de la reducción de la carga contaminante que es vertida al río Medellín, siendo la quebrada Santa Elena el afluente principal de éste (24).

Por otra parte, con la no formulación del proyecto, se perderá la oportunidad de tener una caracterización actualizada de un trayecto importante del afluente del cual no se tiene conocimiento, y de aspectos sanitarios y ambientales respecto al manejo de residuos líquidos, siendo esto un gran insumo para intervenciones futuras, adicionalmente no se contará con la información que arrojará el proyecto el cual brindará una alternativa de solución a la problemática identificada y por ende no mejoraría la calidad de vida de las personas asentadas en el lugar y paulatinamente se incrementaría la contaminación del afluente, aspecto que día a día es más crítico y genera más dificultades para la salud, medio ambiente, contaminación de la cuenca y del río Medellín.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín, a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la calidad del agua de la quebrada Santa Elena según parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el área de estudio.
- Observar las condiciones higiénico-sanitarias de la quebrada Santa Elena y sus alrededores, analizando vertimientos, formas de abastecimiento y usos dados al agua.
- Establecer acciones encaminadas a mejorar las condiciones de insalubridad en la quebrada Santa Elena.

5. Marcos de referencia

5.1 Geográfico

La cuenca se encuentra localizada en la zona centro oriental del municipio de Medellín y su cauce principal, la quebrada Santa Elena, entrega agua directamente al río Medellín. Tiene una superficie total de alrededor de los 40 km² y una longitud del cauce principal de 12,5 km, la cual nace a 2674 msnm y desemboca en el río Medellín a 1438 msnm.

Tiene como afluentes principales los riachuelos de: Santa Bárbara, La Espadera, La Castro, La Bocana, la del Arracachal y la del Paraguas. Dicha cuenca después de ser aprovechada por los moradores de la zona, surte de agua a la planta de distribución de agua de Villa hermosa, Caicedo y Santa Elena.

La cuenca de la Quebrada Santa Elena limita por el norte con las subcuencas de las quebradas El Ahorcado, El Molino y parte de Piedras Blancas; por el oriente con La Cuchilla, La Gulupera (divisoria de aguas de Piedras Blancas, hasta encontrarse con el alto de Santa Bárbara; de allí hasta el alto de las Brisas, punto de intersección de los municipios de Guarne y Rio negro; al sur con el municipio de Rio negro y las subcuencas de las quebradas La Presidenta y La Poblada y al occidente con el Río Medellín (31).

Debido a que la cuenca es bastante grande (alrededor de los 40 km²), en ella se puede observar dos tipos de clima muy bien definidos; el primero se localiza entre las cotas 1400 y 2000 msnm, con una temperatura que oscila entre los 17 y 24°C y una precipitación anual de 1744 mm, identificándose la zona de vida bosque húmedo premontano. El segundo se ubica entre las cotas 2000 y 2600 msnm, con una temperatura media que oscila entre los 12 y 17°C y una precipitación de 2067 mm al año, determinándose de esta manera, la zona de vida bosque muy húmeda Montano Bajo (31).

El ramal principal de la quebrada Santa Elena tiene su afloramiento en una zona de pendientes suaves y relieve colinado. Presenta zonas pantanosas cerca al sitio de afloramiento. Se observan en esta zona pequeños asentamientos diferenciales producto de la erosión interna por aguas subterráneas.

En la zona alta el agua es usada para consumo humano a través de acueductos ubicados en las veredas El Plan y El Placer, que abastecen a gran parte de la población de la zona alta a partir de las fuentes de las quebradas como el San Pedro (32).

En la zona media el agua se recolecta para pequeños abastos por medio de tanques, en el que el agua es llevada por medio de acequias o mangueras para consumo humano y de animales. También se captan 100 litros por segundo de la quebrada Santa Helena para la planta de tratamiento La Cascada de las Empresas Públicas de Medellín y que abastecen los barrios de la zona baja.

La actividad económica del corregimiento de Santa Elena está determinada por una actividad agropecuaria de menor escala en el cultivo de papa, flores, moras, fresas, ganadería de leche y actividades extractivas de productos del bosque. También se encuentra una destacable presencia zonas recreativas y turísticas, iniciando una vocación al turismo (32).

El corregimiento está conformado por las siguientes veredas: Mazo, San Miguel, El placer, El cerro, la Palma, Pantanillo, Media Luna, El plan, El llano, Piedra gorda, Matazano y Santa Elena parte central.



Figura 2. Captura satelital cuenca quebrada Santa Elena.

Fuente: Google Earth.

5.1.1 Demografía

Según la encuesta de calidad de vida del año 2011, Santa Elena cuenta con un total de 15.198 habitantes; de estos, el 48,74% (7.407 habitantes) son hombres y el 51,26% (7.791 habitantes) son mujeres (28).

El 1,88% de la población, tiene menos de 1 año, el 6,88% tienen entre 1 y 4 años, el 19,25% de las personas tienen entre 5 y 14 años, el 48,18% entre 15 y 44 años, el 15,40% de las personas tienen entre 45 y 59 años, el 8,42% restante, tienen 60 años y más(28).

El 13,52% de las personas de Santa Elena, residen en viviendas de estrato 1 (Bajo bajo), el 53,97% en viviendas de estrato 2 (Bajo), el 21,90% en estrato 3 (Medio bajo), el 4,98% residen en viviendas de estrato 4 (Medio), el 4,69% en estrato 5 (Medio Alto) y el 0,93% de las personas residen en viviendas de estrato 6 (Alto) (28).

5.2 Marco Institucional

5.2.1 Alcaldía de Medellín - Secretaría de Medio Ambiente

La Secretaría de Medio Ambiente es una dependencia del nivel central que tendrá como responsabilidad: Definir las políticas de Medio Ambiente, así como la planeación, diseño, coordinación, ejecución y evaluación de estrategias de carácter informativo, corporativo, institucional y de movilización de la Administración Municipal (33).

Dentro de las funciones corporativas se destacan:

- Implementar estrategias y acciones de gestión del recurso hídrico en las cuencas aportantes externas a Medellín, bajo criterios de sostenibilidad urbano regional, promoviendo y viabilizando la conservación de áreas estratégicas para el mantenimiento en cantidad, calidad y regulación del recurso.
- Participar en la formulación e implementación de los instrumentos complementarios al Plan de Ordenamiento Territorial referidos a la protección y conservación de los recursos naturales.
- Dirigir el Sistema de Gestión Ambiental de Medellín (SIGAM), como herramienta estratégica para la armonización de la gestión ambiental.
- Adoptar los planes, programas y proyectos para la conservación, recuperación y protección de los recursos naturales renovables y mejoramiento de las condiciones ambientales, así como liderar la elaboración de los planes que de acuerdo a la competencia corresponda al Municipio de Medellín en materia ambiental.

- Colaborar con la Corporación Autónoma Regional y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en la elaboración de los planes regionales y en la ejecución de programas, proyectos y acciones necesarias para la conservación de los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones ambientales.

5.2.2 Corantioquia

La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia) tiene como misión contribuir al logro del desarrollo sostenible, mediante el conocimiento y mejoramiento de la oferta ambiental y la administración del uso de los recursos para responder a su demanda, a través de la construcción de una cultura ambiental del territorio.

Corantioquia se enfoca en la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre el medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente (34).

Dentro de sus funciones se destaca:

- Implantar y operar el Sistema de Información Ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente.
- Asesorar a las entidades territoriales en la formulación de planes de educación ambiental formal y ejecutar programas de educación ambiental no formal, conforme a las directrices de la política nacional.

- Ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas nacionales.
- Ejecutar, administrar, operar y mantener en coordinación con las entidades territoriales, proyectos, programas de desarrollo sostenible y obras de infraestructura cuya realización sea necesaria para la defensa y protección o para la descontaminación o recuperación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

5.2.3 Área Metropolitana

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá es una entidad administrativa de derecho público que asocia los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá. En la actualidad está integrada por los municipios de Medellín (como ciudad núcleo), Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, La Estrella, Sabaneta, Envigado y Caldas.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá fue creada mediante Ordenanza Departamental N° 34 de noviembre 27 de 1980, para la promoción, planificación y coordinación del desarrollo conjunto y la prestación de servicios de los municipios que la conformaron (35).

Actualmente cumple funciones de:

- Planificar el territorio puesto bajo su jurisdicción.
- Ser autoridad ambiental en la zona urbana de los municipios que la conforman.
- Ser autoridad de transporte masivo y metropolitano.
- Ejecutar obras de interés metropolitano.

5.3 Marco conceptual

5.3.1 Generalidades del saneamiento hídrico

Un adecuado saneamiento hídrico (recolección, transporte y tratamiento de los residuos líquidos) representa el punto de partida para mejorar o mantener las condiciones sanitarias de una población, además tiene una influencia directa en la salud pública, el medio ambiente y todas las actividades humanas responsables de la generación de residuos líquidos causante de la contaminación del recurso hídrico (16).

Dentro de la importancia que tiene el abastecimiento de agua potable y el adecuado saneamiento hídrico en una comunidad se resalta el impacto directo que tienen sobre la salud de la población (36) y a la vez son un factor protector para evitar enfermedades.

El presente proyecto va encaminado a ser una herramienta de ordenamiento del recurso hídrico, pues como lo dice la guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico (37), éste es un proceso de planificación que realiza la Autoridad Ambiental competente, con el que se contribuye al control de la contaminación y al uso eficiente del recurso hídrico superficial en el país. Con este plan, que se elabora para un periodo de mínimo diez años, se garantizan la administración y el manejo de la cantidad, la calidad y el uso del agua, considerando aspectos como el riesgo al desabastecimiento.

5.3.1.1 Historia del saneamiento básico rural en Colombia.

En 1962, se crea el programa de Saneamiento Básico Rural. Este se proyectaba a promocionar formas de autogestión comunitaria en el sector, involucrando criterios de sostenibilidad administrativa y operando a través de regionales, el

esquema se revalida en 1968 a través del Instituto Nacional de Salud, entidad de carácter investigativo.

El financiamiento del Programa de Saneamiento Básico Rural se efectúa principalmente por asignaciones del presupuesto nacional y se desarrolla una fuerte capacidad operativa.

El Programa de Saneamiento Básico Rural alcanza reconocimiento y apoyo internacional por su labor, a pesar de su efectividad relativa. Este programa presenta problemas en algunas regiones, como la de la Costa Atlántica y se evidencia una inclinación hacia las áreas que presentan condiciones de desarrollo más favorables (38).

5.3.2 Aguas residuales

Según el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), las aguas residuales son las que contienen material disuelto y en suspensión luego de ser usada por una comunidad o industria, generalmente son dispuestas en una corriente de agua, dando lugar a la contaminación de ésta, donde se causan efectos dañinos o tóxicos (39). Esto también es llamado vertimiento, que de acuerdo al decreto 3930 de 2010 (4), es una descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido. Puede ser vertimiento puntual que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, alcantarillado o al suelo, o vertimiento no puntual que es aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua o al suelo, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares (4).

5.3.3 Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño (33).

- **Características físicas:** Hacen referencia al olor, sabor, color y turbiedad.
- **Características químicas:** Hacen relación al contenido de minerales como el hierro y el manganeso, y a otras sustancias que son fácilmente identificables por su efecto sobre la ropa, ya que generalmente la mancha impide la disolución del jabón, como en el caso de alta presencia de carbonatos de calcio.
- **Características biológicas:** El término biológico hace referencia a la presencia de organismos patógenos, como huevos, quistes, bacterias y virus, que se encuentran presentes en las excretas humanas, en las basuras, en las aguas estancadas y en suelos contaminados con excrementos del hombre y los animales (40).

5.3.4 Sistemas de tratamiento en el sitio de origen

Los sistemas de tratamiento en el sitio son aquellos que se utilizan en lugares aislados, donde no existen redes de alcantarillado, o donde se requiere remover la cantidad de sólidos suspendidos antes de verter el agua residual al sistema de alcantarillado.

Estos sistemas son usados normalmente cuando las viviendas no están conectadas a una red de alcantarillado. Se utilizan para limpiar y disponer de las

aguas residuales. Son sistemas individuales que usan la tierra para tratar las aguas residuales que salen del sanitario, baño, cocina, lavadora, entre otros (39).

El origen de estos sistemas se remonta alrededor de 1861 con los primeros trabajos realizados en Francia por Jean Louis Mourais. Su aplicación está extendida por todo el mundo. Se utilizan en viviendas, hoteles y demás, donde no existe alcantarillado. Sigue siendo una alternativa de depuración por su facilidad de instalación mantenimiento y el no necesitar aporte energético para su funcionamiento (41).

5.3.4.1 Componentes de un sistema de tratamiento en el sitio

- **Trampa de grasas**

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

Existen de tipo domiciliar, normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado y de tipo colectiva, las cuales son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias.

Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas (39).

- **Tanque séptico**

Son tanques generalmente subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural. Deben llevar un sistema de pos tratamiento. Se recomiendan para áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados, alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillados locales y retención previa de los sólidos sedimentables y cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.

A estos no se puede depositar aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento. Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial (39).

- **Campo de infiltración**

Consiste en una serie de trincheras angostas y relativamente superficiales rellenas con un medio porosa (normalmente grava). Deben localizarse aguas abajo de los tanques sépticos y deben ubicarse en suelos cuyas características permitan una absorción del agua residual que sale de los tanques sépticos a fin de no contaminar las aguas subterráneas. Los canales de infiltración deben localizarse en un lecho de piedras limpias cuyo diámetro debe estar comprendido entre 10 y 60 mm. Debe evitarse la proximidad de árboles, para evitar la entrada de raíces (39).

- **Humedales artificiales de flujo sumergido**

Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal (39).

- **Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)**

Es un reactor desarrollado para el tratamiento para aguas residuales, siendo el más sencillo de los sistemas de tratamiento anaeróbico de mantener, porque la biomasa permanece como una biopelícula microbial adherida a un medio de soporte conformando una matriz la cual remueve la materia bajo condiciones anaeróbicas; de esta forma a medida que el agua residual pasa a través del FAFA entra en contacto con los microorganismos contenidos en él, logrando su tratamiento (42).

5.3.5 Alcantarillado sin arrastre de sólidos

El alcantarillado sin arrastre de sólidos también es conocido como alcantarillado de pequeño diámetro o redes de aguas residuales decantadas.

En el sistema de redes para aguas residuales decantadas (RAD), estas se decantan o sedimentan antes de ser conducidas a las redes con el fin de retener la parte sólida; la parte líquida fluye hacia los colectores como se muestra en la Figura 3.

El proceso de sedimentación de sólidos se realiza en tanques sépticos o tanques interceptores de una sola cámara y pueden recibir las aguas residuales de una o varias viviendas. (43)

5.3.5.1 Ventajas y desventajas del sistema

La principal ventaja es la reducción de costos en:

- Excavaciones, pues al no existir sólidos en el sistema, no es necesario garantizar el flujo con velocidades mínimas de auto limpieza, lo cual disminuye la pendiente de los colectores.

- Tuberías, pues se emplean colectores de pequeño diámetro.
- Obras auxiliares, ya que se reemplazan los pozos de registro por estructuras más simples como son las cajas de visita y registros de limpieza e inspección.
- Tratamiento de las aguas residuales, porque el tratamiento primario se realiza en las fosas sépticas, y ya no es necesario proyectar este proceso en las unidades de tratamiento.

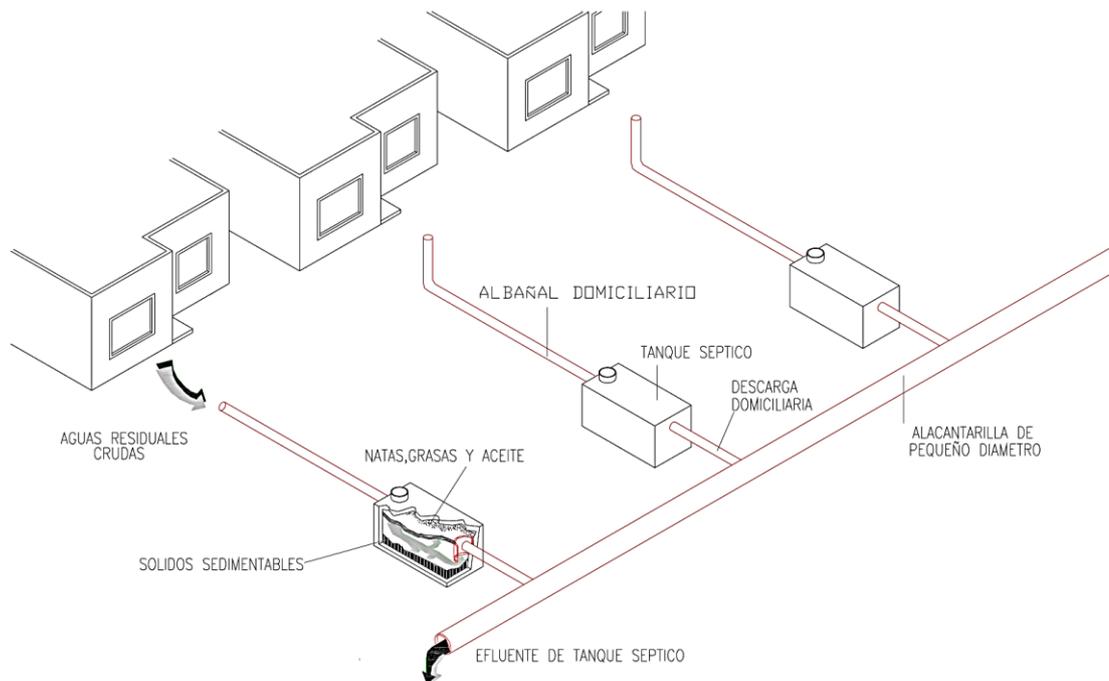


Figura 3. Esquema red de alcantarillado sin arrastre de sólidos.

Fuente. Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México (43).

Algo fundamental para instalar este tipo de tecnologías es que cada vivienda o unidad a la cual se le tratará sus aguas residuales cuente con un sistema de tanque séptico en el cual se puedan sedimentar las AR, de lo contrario es necesario la construcción de estos.

La principal desventaja del sistema está en el mantenimiento del tanque séptico que requiere evacuación y disposición periódica de los sólidos allí acumulados. Por este motivo, debe existir disposición por parte de la administración municipal de Medellín que garantice el mantenimiento que debe realizarse a estos sistemas.

Debe existir un estricto control para evitar las conexiones ilegales a las que les podría faltar el tanque interceptor o tener conexiones erradas que posibilitarían la introducción de sólidos o aguas lluvias que causarían serios problemas de operación y mantenimiento (44).

5.3.6 Enfermedades de origen hídrico.

Dentro de las enfermedades de origen hídrico están aquellas propagadas por el agua, donde ésta actúa como medio de transporte de organismos patógenos provenientes de las materias fecales que producen enfermedades como fiebre tifoidea, amibiasis, hepatitis, diarreas virales, entre otras. Las enfermedades basadas en el agua, donde algunos organismos patógenos desarrollan un ciclo de su vida en animales acuáticos, dichos organismos producen enfermedades como la esquistosomiasis. Las enfermedades por escasez de agua en la que la falta de agua y de higiene personal produce enfermedades como la sarna, la parasitosis intestinal y la pediculosis, entre otras. Y las que son transmitidas por los vehículos de contagio relacionados con el agua o también llamados vectores, estos son insectos que se reproducen en el agua y generan afectaciones como la fiebre amarilla, dengue, dengue hemorrágico, entre otras (3).

5.3.7 Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es toda el área de terreno que contribuye al flujo de agua en un río o quebrada. También se conoce como el área de captación, su interior tiene forma de cavidad, como un gran embudo. en esta uno o varios

cauces naturales, de caudal continuo o intermitente confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar (40).

5.3.8 Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICA)

La evaluación de la calidad del agua para corrientes superficiales es realizada mediante la aplicación del Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICA) a partir del 2005 por el IDEAM.

Definición. 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 .

El índice de calidad del agua en corrientes superficiales, corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas.

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de interpretación permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente).

El indicador se puede calcular con un diferente conjunto de variables medidas, cuya cantidad y tipo depende de la disponibilidad de datos, de las diferentes presiones contaminantes a las cuales están sometidos los diferentes cuerpos de agua y del tipo de cuerpo de agua. Para el caso colombiano, se ha medido desde 2005, en las corrientes superficiales, un conjunto de cinco variables, a saber:

oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH total. Desde el 2009 con las 5 variables iniciales y la relación nitrógeno total/fósforo total) (45).

5.3.8.1 Metodología del Cálculo del ICA

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco o seis variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales (46).

La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{kjt} \right)$$

Donde:

ICA_{njt} Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

W_i Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el periodo de tiempo t y además, el ICA promedio de ese periodo, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA_{promedio_{njt}} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i * I_{kjt})}{m}$$

Donde:

m Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. $1 \leq m \leq 4$ si el periodo es anual.

En la Tabla 1 se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para el caso en el que se emplea 6 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 1. Ponderación parámetros del agua

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,17
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,17
NT/PT	---	0,17
Conductividad eléctrica, C.E.	μ S/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Cálculo del valor de cada variable.

El procedimiento general consiste en ingresar el valor que, en una determinada medición haya registrado la variable de calidad i , en la ecuación correspondiente y estimar el valor I_{ikjt} .

A continuación se muestran las ecuaciones de referencia.

- **Oxígeno disuelto (OD):**

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto **PS_{OD}**:

$$PS_{OD} = \frac{Ox \cdot 100}{Cp}$$

Donde:

Ox: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de re oxigenación.

Cp: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

Para calcular el **Cp** se hará por medio de la siguiente formula:

$$Cp = C^* \times P \left[\frac{(1 - \frac{Pw}{P}) \cdot (1 - \theta P)}{(1 - Pw) \cdot (1 - \theta)} \right]$$

Donde:

- **C***: Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión estándar de 1 atmósfera.

- P : presión no estándar (atmósferas).
- P_w : presión parcial de vapor de agua (atmósferas).
- Θ : Factor de corrección de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a condiciones estándar.

El cálculo de la concentración de equilibrio de oxígeno, se hace a partir de la ecuación:

$$\ln C^* = -139.3441 + (157570.1/TE) - (66423080/TE^2) + (12438000000/TE^3) - (862194900000/TE^4).$$

$$C^* = e^{C^*}$$

Donde:

- TE: Temperatura ($^{\circ}\text{K}$)
- TE: $T + 273.15$

Para condiciones no estándar de presión:

$$P = 1.001626 e^{-0.00012125A}$$

La presión parcial de vapor de agua:

$$\ln(P_w) = 11.8571 - (3840.7/TE) - (216961/TE^2)$$

$$P_w = e^{P_w}$$

El factor de corrección de temperatura:

$$\Theta = 0.000975 - 0.00001426T + 0.0000000643T^2$$

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor I_{OD} se calcula con la fórmula:

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%:

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * PS_{OD} - 1)$$

- **Sólidos suspendidos totales (SST):**

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$$

Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \leq 320$, entonces $I_{SST} = 0$

- **Demanda química de oxígeno (DQO):**

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

Para calcular el I_{DQO} la fórmula:

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

- **Conductividad eléctrica (C.E.):**

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:

$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} C.E.)}$ Cuando $I_{C.E.} < 0$ entonces $I_{C.E.} = 0$

- **pH:**

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$.

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 * e^{(pH * 0,520025)}$

Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8) * -0,5187742]}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

- **Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)**

Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad (estado de la calidad del agua respecto al contenido de materia orgánica degradable), empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos neotropicales (desde el norte de Argentina hasta el centro de Méjico).

La fórmula para calcular el subíndice de calidad para NT/PT es:

Si $15 \leq NT/PT \leq 20$, entonces $I_{NT/PT}=0,8$

Si $10 < NT/PT < 20$, entonces $I_{NT/PT}=0,6$

Si $5 < NT/PT \leq 10$, entonces $I_{NT/PT}=0,35$

Si $NT/PT \leq 5$, o $NT/PT > 20$, entonces $I_{NT/PT}=0,15$

- **Interpretación general del Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales**

Los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador han sido clasificados en categorías, de acuerdo a ellos se califica la calidad del agua de las corrientes superficiales, al cual se le ha asociado un color como señal de alerta. En la siguiente tabla se registra la relación entre valores y calificación:

Tabla 2. Calificación Calidad del agua según valores del ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

El estado de las corrientes superficiales se puede visualizar mediante mapas de puntos, con las estaciones categorizadas de acuerdo a los valores calculados del Índice de calidad del agua.

5.4 Marco jurídico

5.4.1 Marco normativo

Cuadro 1. Marco normativo

Manual, Guía	Entidad quien expide. Fecha Expedición.	Objeto del Marco Normativo	Secciones de interés
Documento Conpes 3177	República de Colombia.	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales	Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales (pmar). Parte b. Estrategias de gestión.
	Departamento Nacional de Planeación.		
	Consejo Nacional de Política Económica y Social. Julio 15 de 2002		
Documento Conpes 3810	República de Colombia.	Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural	Diagnóstico. Capítulo 4. Dificultades en la estructuración, ejecución e implementación de proyectos en el área rural
	Departamento Nacional de Planeación.		
	Consejo Nacional de Política Económica y Social. Julio 3 de 2014		
Documento Conpes 3463	República de Colombia.	Planes departamentales de agua y saneamiento para el manejo empresarial de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo	Cap. 3 Fases de los planes departamentales de agua y saneamiento
	Departamento Nacional de Planeación.		
	Consejo Nacional de Política Económica y Social. Marzo 12 de 2007		

Manual, Guía	Entidad quien expide. Fecha Expedición.	Objeto del Marco Normativo	Secciones de interés
Programa 21 "Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo"	Naciones Unidas. 3 al 14 de junio de 1992. Rio de Janeiro	Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo para alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos y se proteja la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial	SECCIÓN II. Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo
Reglamento técnico RAS	Ministerio de Desarrollo Económico	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico	Sección ii título e tratamiento de aguas residuales
	Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Noviembre de 2000		
Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS	Ministerio de Medio ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014	Orientar el proceso de ordenación y manejo de cuencas con la participación de los actores clave que influyen en las condiciones ambientales de la cuenca	3. Fases y procesos del POMCA.
			3.2.2 Fase diagnóstica
Objetivos y metas de Desarrollo Sostenible, 2015	Naciones unidas. 2015	Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos	Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento

5.4.2 Marco legal

Cuadro 2. Marco legal

Ley, decreto, resolución, acuerdo	Entidad quien expide. Fecha Expedición.	Objeto del marco jurídico
Ley 23 de 1973	El congreso de Colombia. Diciembre 19 de 1973.	Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.
Decreto - Ley 2811 de 1974	El Presidente de la República de Colombia. Diciembre 18 de 1974. Diario Oficial No. 34243.	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 99/93	El Congreso de Colombia. Diciembre 22 de 1993. Diario Oficial 41146	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1096 de 2000	El ministerio de desarrollo económico. Noviembre 17 de 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS"
Decreto 1713 de 2002	El Presidente de la República de Colombia. Agosto 6 de 2002. Diario oficial 44893	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos".
Ley 9/79	El Congreso de Colombia. Enero 24 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.
Decreto 1575/07	Ministerio de la Protección social. Mayo 9 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua

Ley, decreto, resolución, acuerdo	Entidad quien expide. Fecha Expedición.	Objeto del marco jurídico
Resolución 2115/07	Los ministros de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Julio 4 de 2007. Diario oficial 46679	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 3930/10	El presidente de la república de Colombia. Octubre 25 de 2010. Diario oficial 47837	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0631/15	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Marzo 17 de 2015. Diario Oficial No. 49.486	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1323 de 2007	Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial. Abril 19 de 2007. Diario Oficial No. 46.604	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico SIRH
Decreto 1640 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Agosto 2 de 2012. Diario Oficial 48510.	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 3600 de 2007	El presidente de la república de Colombia. Septiembre 20 de 2007. Diario Oficial 46757	Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.

6. Metodología

6.1 Tipo de Estudio

El estudio planteado partió de una fase diagnóstica donde se utilizaron herramientas de estudio descriptivo y de corte transversal para el logro de los objetivos. Se obtuvo información de primera mano con visitas de campo, observación y diálogo con la comunidad, esto permitió realizar el diagnóstico de la situación de saneamiento en la que se encuentra la quebrada, así como el manejo de residuos sólidos, líquidos y formas de abastecimiento de agua. Además se realizó muestreo compuesto al agua en tres puntos.

6.2 Población objeto o universo

Totalidad de viviendas asentadas en el margen sur-occidental y nor-oriental de la quebrada Santa Elena, a una distancia menor o igual a 50 metros del eje de la misma, entre el punto uno y tres de muestreo. Todas las descargas de agua que se evidencien en cada margen.

6.3 Criterios de inclusión y exclusión.

6.3.1 Criterios de inclusión

Viviendas habitadas que se encuentran en las márgenes sur-occidental y nor-oriental de la quebrada a una distancia menor o igual a 50 metros de la quebrada.

6.3.2 Criterios de exclusión

Viviendas ubicadas a una distancia mayor a 50 metros de la quebrada, así como aquellas que se encuentren deshabitadas, debido al presupuesto y tiempo limitados.

6.4 Recolección de la información

6.4.1 Técnicas de recolección de la información

6.4.1.1 Características del agua

Al realizar la toma de muestras de aguas residuales en la quebrada Santa Elena se utilizó como referente metodológico el instructivo para la toma de muestra de aguas residuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual permitió cumplir con los índices de calidad establecidos obtener los resultados dados por el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de Antioquia, el cual realizó los análisis a dichas muestras (47). Esta metodología es de libre uso por lo que únicamente da recomendaciones para lograr una mejor toma de muestras de aguas residuales. Ver Anexo 3. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales IDEAM.).

El análisis de las muestras recolectadas durante el trabajo las analizó el laboratorio de estudios ambientales de la Universidad de Antioquia, el cual cuenta con Acreditaciones del IDEAM según resolución 0123 de febrero 13 de 2012 y resolución de Ampliación 0721 de mayo 11 de 2015.

Tabla 3. Parámetros analizados y método utilizado por el laboratorio de estudios ambientales UDEA.

Parámetro	Método
Coliformes Totales y <i>E-Coli</i>	Sustrato enzimático (SM 9223-B)
Color Verdadero	Espectrofotométrico (SM 2120-C)
Conductividad Eléctrica	Electrométrico (2510-B)
DBO ₅ Total	Potenciométrico - Oxímetro - Prueba de los 5 días (SM 5210-B, EPA360.3)
DQO Total	Colorimétrico - Reflujo Cerrado (SM 5220-D)
pH	Electrométrico (SM 4500-H ⁺ -B)
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 2540-D)
Sólidos Totales	Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 540-B)
Turbiedad	Nefelométrico (SM 2130-B)
Oxígeno Disuelto	Método título métrico (SM-4500-O, modificación de azida)
Nitrógeno Total Kjeldahl	Titulométrico - Micro Kjeldahl (SM 4500-Norg-B)
Fosforo Total	Espectrofotométrico - Ácido Ascórbico (SM 4500-P-B,E)

Para la recolección de la información demográfica y demás aspectos donde se tuvo interacción con las personas se aplicó una encuesta para saber las apreciaciones del consumo de agua, generalidades sobre la forma de abastecimiento y disposición de los residuos (líquidos y sólidos). Ver Anexo 1 Formulario de encuesta.

6.4.1.2 Lista de caracterización y observación

Para tener un diagnóstico de primera mano sobre las descargas de Aguas Residuales que llegan a la quebrada, así como la identificación de focos de contaminación, disposición de residuos sólidos y demás aspectos que alteran la quebrada, y la elaboración de un sistema de información geográfico que permite la ubicación de todo lo observado espacialmente en los puntos reales, se realizaron visitas de observación por dentro y fuera de la quebrada, donde se

aplicó una lista de chequeo que comprende la codificación de los puntos, su descripción, coordenadas, y fotografía.

Esta observación contiene aspectos cualitativos, como es la descripción de lo observado, esta descripción permite identificar el tipo de afectación que se le está dando a la quebrada.

6.4.2 Actividades para dar desarrollo a los objetivos

Cuadro 3. Actividades para dar desarrollo a los objetivos

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar.	
Objetivo 1	Caracterizar la calidad del agua de la quebrada Santa Elena según parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el área de estudio.
Actividad	Descripción
Se establecieron los 3 puntos de muestreo	Se realizaron tomas de muestras en tres puntos (parte alta, media y baja) de la quebrada en el área de estudio, previo a los recorridos de reconocimiento de la zona.
Se analizaron los parámetros	Físicos: turbiedad, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, Sólidos Disueltos Totales.
	Químicos: pH, conductividad eléctrica, DQO, Nitrógeno y Fosforo.
	Microbiológicos: Coliformes totales, Coliformes fecales
	Biológicos: Oxígeno disuelto, DBO ₅
Medición de caudales	Se realizó un aforo del caudal de la quebrada con el método de flotadores en los tres puntos seleccionados para realizar el muestreo (parte alta, media y baja).
Proceso de toma de muestras	Se llevó a cabo un muestreo compuesto de 6 horas para cada punto seleccionado en la quebrada, realizando el muestreo y la preservación respectiva siguiendo las recomendaciones por la guía de toma de muestras del IDEAM y las dadas por el Laboratorio de Estudios Ambientales, acreditada por la misma organización.

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar.	
Objetivo 1	Caracterizar la calidad del agua de la quebrada Santa Elena según parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el área de estudio.
Actividad	Descripción
Transporte de las muestras	Las muestras se transportaron hacia el laboratorio en neveras de icopor con hielo en su interior, garantizando las temperaturas establecidas por el IDEAM para su conservación.
Análisis de resultados	El laboratorio entrego los resultados para el análisis de los parámetros en los distintos puntos de muestreo y se realizaron los respectivos análisis a la información obtenida.
Objetivo 2	Observar las condiciones higiénico-sanitarias de la quebrada Santa Elena y sus alrededores, analizando vertimientos, formas de abastecimiento y usos dados al agua.
Actividad	Descripción
Realizar visita técnica de reconocimiento	Inicialmente se realizaron recorridos en toda el área de estudio seleccionada (parte alta de la cuenca de la quebrada Santa Elena) analizando las viviendas, red de alcantarillado, disposición de residuos sólidos y líquidos y demás aspectos sanitarios. A todo esto se le realizó un registro fotográfico así como una georreferenciación con un GPS GARMIN, luego de algunos días de estar realizando estos recorridos y haber creado conexión con algunas personas residentes de la zona (comerciantes y habitantes), se inició con la ejecución de la prueba piloto de la encuesta que se tenía prevista, producto de esto se realizaron pequeñas modificaciones al diseño de la misma en compañía del asesor, días después se reanudó el proceso de aplicación de encuestas, pero se seguía observando gran desconocimiento de las personas respecto a los sistemas sanitarios y vertimientos, así como las conexiones
Geo referenciar las principales tomas, descargas de agua y sitios de disposición de residuos sólidos	

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar.	
Objetivo 1	Caracterizar la calidad del agua de la quebrada Santa Elena según parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el área de estudio.
Actividad	Descripción
Llevar registro fotográfico	que existían en el predio, muchos de estos producto de tener el bien inmueble en alquiler o que las construcciones sean muy antiguas, esto manifestado por las mismas personas. Dado esto se decidió iniciar actividades de identificación de los principales vertimientos y focos de contaminación a la quebrada por dentro de ésta (recorridos por el cauce de la quebrada), donde se lograron evidenciar cerca de 60 puntos (vertimientos de ARD y ARnD y tomas de agua), mucho de estos focos de gran contaminación para la quebrada, actividades que llevaron registro fotográfico y elaboración del sistema de información geográfico con ayuda del GPS.
Reconocimiento de sitios de disposición de residuos sólidos	
Elaboración y Aplicación de lista de chequeo de la quebrada	Los recorridos dentro de la quebrada se hicieron durante varios días encontrando que fue una actividad que arrojó información más valiosa y acertada que la que estaba arrojando la encuesta, pues las personas en general desconocen de sus vertimientos y el impacto negativo que estos generan en la quebrada. Con la información obtenida con estos recorridos por dentro y fuera de la quebrada así como las visitas realizadas en los alrededores, como lo es la planta de tratamiento de aguas residuales del alcantarillado y toda la zona en general, se le da cumplimiento al objetivo, por lo que se decidió detener el proceso de aplicación de encuestas, aplicando en vez de éstas, una lista de chequeo en los recorridos al interior de la quebrada, determinando principales descargas de aguas residuales y tomas de agua.
Elaboración y Aplicación de encuesta	
Análisis de resultados	Con las encuestas que se aplicaron se observó algo muy importante, y es la necesidad de ejecución de un componente educativo dentro del proyecto de saneamiento hídrico rural, donde las personas conozcan cuales son los sistemas de pre tratamiento y tratamientos convencionales (pozos sépticos,

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar.	
Objetivo 1	Caracterizar la calidad del agua de la quebrada Santa Elena según parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el área de estudio.
Actividad	Descripción
	trampas de grasa, campos y zanjas de infiltración, FAFA, entre otros), su funcionamiento, con cuales cuenta su vivienda, que le hace falta a la vivienda y como se le realiza mantenimiento a estos para su óptimo funcionamiento así como el impacto negativo que se genera a la quebrada al generar vertimientos de ARD y ARnD a ésta.
Objetivo 3	Establecer las actividades y productos esperados para la formulación del proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena.
Actividad	
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis e interpretación de resultados. • Análisis de las listas de chequeo. • Análisis resultados encuestas. • Establecer las actividades y productos esperados en la formulación del proyecto. • Formular el proyecto de saneamiento hídrico que dé solución a los problemas identificados. 	

6.4.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Con la información obtenida de las visitas a las viviendas, recorridos de reconocimiento e identificación de aspectos que afectan la el recurso hídrico, recorridos por el cauce de la quebrada y el sistema de información geográfico como insumo base, se identificaron aquellos puntos críticos en el lugar, y aspectos para intervenir con el proyecto, en conjunto con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua que muestran como la calidad del agua se va deteriorando a medida que se avanzó en el recorrido.

6.4.3.1 Software procesamiento datos

Para la digitalización de los datos obtenidos se utilizaron los formularios de google y para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS versión 22 y Microsoft Excel versión 2016.

Para la generación de gráficos y tablas se utilizó el software Microsoft Excel versión 2016.

6.4.3.2 Análisis datos Sistema de Información Geográfico (SIG)

Para el procesamiento de la información geográfica captada en el GPS Garmin se utilizó el software ArcGis Versión 11 y el aplicativo Google Earth.

6.4.3.3 Proceso Toma De Muestras de agua

Previo a la toma de muestras se realizaron visitas de reconocimiento del territorio así como reconocimiento de la quebrada, para de este modo determinar los puntos para la toma de muestras.

Se realizó un muestreo compuesto (siguiendo la guía de toma de muestras de aguas residuales del IDEAM) en cada punto durante seis horas, el día 9 de octubre de 2016, entre las 10:00am y 4:00pm simultáneamente en los tres puntos (mismo día y hora), empleando recipientes de plástico para preservar las muestras para el análisis, exceptuando la muestra microbiológica, la cual se preservó en recipiente de vidrio, esto otorgado por el laboratorio.

Las muestras se preservaron en neveras de icopor suministradas por el laboratorio, con hielo en su interior, garantizando una temperatura entre 4° y 6° Celsius como lo recomienda la guía de toma de muestras del IDEAM. Ninguno de los parámetros fue tomado en campo, excepto la temperatura.

6.4.3.4 Análisis muestras de agua

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de agua fueron realizados por el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de Antioquia, el cual cuenta con acreditaciones del IDEAM para análisis físicos, químicos, biológicos y microbiológicos en aguas residuales y cruda y del ONAC en aguas potables y alimentos. Ver Anexo 4 Resultados Análisis del Laboratorio.

6.4.3.5 Equipos necesarios

- GPS
- Recipientes para toma de muestras
- Cronómetro
- Cámara fotográfica
- Recipiente para caudales
- Computador
- Papelería
- Termómetro

6.4.4 Estrategias para prevenir riesgos

La zona donde se planea realizar el estudio no presenta grandes riesgos en cuestiones de seguridad, esto de acuerdo a afirmaciones realizadas por miembros del comando de la policía de Santa Elena. De igual forma, cuando se realizaron los recorridos de reconocimiento y las visitas a las viviendas, se informó al comando de la policía de forma personal, donde estos sugirieron estrategias de cuidado personal.

Respecto a los elementos con que se debe contar a la hora de realizar los recorridos, se contó con chalecos distintivos de la universidad de Antioquia, facilitados por el semillero de investigación SISAO de la Facultad nacional de Salud Pública, botas de caucho y gorra.

6.4.5 Custodia de la información.

La divulgación de los resultados no se realiza de forma puntual hacia algún individuo, estas siempre se hacen de manera general sin incluir nombres, su identidad siempre será confidencial, así como las fotografías tomadas a los sistemas sanitarios y el formato de la encuesta.

La información permanecerá almacenada en los servidores de Microsoft Outlook, donde tendrán acceso con contraseña solo los tres proponentes del proyecto. De igual forma en el trabajo no se contempla información que comprometa a las personas, por lo que la criticidad de la información no es alta.

6.4.6 Estrategias de divulgación de la información

Los resultados obtenidos del proyecto, serán socializados en la empresa de acueducto veredal del corregimiento de santa Elena, quien tiene una bocatoma en la quebrada, que surte el sistema de abastecimiento de agua para el consumo humano, por lo que la caracterización de todas las descargas que se realizan es muy pertinente para ellos, así como las estrategias para solucionar esto, las cuales conformarán el proyecto de saneamiento.

6.5 Consentimiento informado

Durante la ejecución de las encuestas en la prueba piloto se diligenció el formato de consentimiento informado, que de acuerdo con el artículo 14 de la resolución 8430 de 1993 (48) se entiende como el acuerdo por escrito, mediante el cual el sujeto de investigación o en su caso, su representante legal, autoriza su participación en la investigación, con pleno conocimiento de la naturaleza de los procedimientos, beneficios y riesgos a que se someterá, con la capacidad de libre elección y sin coacción alguna. Ver Anexo 2 Formato de consentimiento Informado”.

7. Resultados

7.1 Reconocimiento del área de estudio

7.1.1 Establecimiento puntos de muestreo

Inicialmente se realizó un recorrido de 2 kilómetros por la quebrada, como se puede observar en las figuras 4, 5, 6 y 7. Distancia que comprende toda la parte alta de la cuenca donde la quebrada tiene afectaciones, durante dicho recorrido se pudo identificar de primera mano las principales descargas que se realizan a la quebrada, identificando para la mayoría el origen.

De igual forma se pudo apreciar el cambio que va teniendo la quebrada a medida que se avanza, como es el aumento del caudal, presencia de vectores y malos olores en el agua, indicando que la calidad del agua presenta características más críticas a medida que se avanza en el recorrido.



Figura 4. Recorrido por la quebrada



Figura 5. Viviendas en la orilla de la quebrada



Figura 6. Descarga ARD



Figura 7. Descarga ARD

Gracias al recorrido realizado se pudo observar una bocatoma, ubicada a 1.616,5 metros del punto inicial, (ver figura 8 y 9) la cual surte de agua al acueducto de la parte central del corregimiento de Santa Elena, aspecto preocupante, pues dada su ubicación, está “captando” parte de la contaminación que lleva la quebrada, esto se agudiza en época de sequía, donde el caudal disminuye, pero la carga contaminante está más concentrada.



Figura 8. Bocatoma Acueducto



Figura 9. Vista superior Bocatoma Acueducto

La bocatoma surte al acueducto principal del corregimiento (acueducto multiveredal Santa Elena) el cual tiene 1600 suscriptores y abastece en promedio a 6400 personas, este cuenta con el sistema de tratamiento tradicional completo (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección con cloro).

Posterior al recorrido en mención, se seleccionaron tres puntos estratégicos para realizar el muestreo compuesto del agua de la quebrada.

El punto de muestreo 1 se ubicó en el inicio del cauce (Ver Figura 10), donde se observaron unas características aceptables del agua, esto determinado por los sentidos vista y olfato, en este lugar el agua parecía estar “limpia” y no tenía presencia de olores.

El punto de muestreo 2 se ubicó en la mitad del recorrido (Ver Figura 10), con tal de determinar la variación de las características, cabe resaltar que no existe un número igual de descargas identificadas antes de este punto y después, dado que la primera parte, entre el punto 1 y 2 se identificaron menos descargas de

agua residual que entre el punto 2 y 3, tramo de la quebrada con mayor descargas y donde se presentaría que existiría la mayor variación de las características del agua.

El punto de muestreo 3 se ubicó al final del recorrido (Ver Figura 10), posterior a este punto no se identificaron más descargas de agua residual, pues la quebrada desciende hacia el municipio de Medellín, hasta pasar por los asentamientos ubicados en la parte alta del sector conocido como “8 de marzo” donde la quebrada nuevamente es utilizada para descargar las aguas residuales, en esta ocasión con cargas más contaminantes pues la densidad poblacional es mayor que en la parte superior de la cuenca. (Ver Figura 10, Figura 11 y Figura 12).



Figura 10. Vista Satelital superior Área de estudio
Fuente: Google Earth.



Figura 11. Vista Satelital y apreciación de la pendiente
Fuente: Google Earth.



Figura 12. Vista Satelital y apreciación de la pendiente
Fuente: Google Earth.

7.2 Aplicación de la encuesta

Se dio inicio a la ejecución de la encuesta (Ver Figura 13 y 14) a todas las viviendas ubicadas en el sur-occidental y nor-oriental de la quebrada, pero al llegar a la vivienda número 20 se encontró algo en común en todas éstas y es el desconocimiento general de las personas acerca de las instalaciones internas (duchas, lavamanos, pocetas, sanitarios, aguas lluvias etc.) Y de los sistemas sanitarios como lo son trampa de grasa, pozos sépticos, sistemas de infiltración etc.; pues a estos sistemas no se les realizaba mantenimiento, se desconocía su ubicación en la mayoría de veces y no se conocía con certeza qué aguas llegaba al pozo séptico, a la quebrada, y el estado de éstas (combinado, solamente residual o solamente lluvias).

Dado lo anterior, se observó falta de conocimiento por parte de las personas para atender este tipo de situaciones y se encontró cierto grado de desconfianza de la información brindada, por las personas, por lo que se decidió suspender el proceso de la aplicación de la encuesta.

Como hallazgo principal de este ejercicio se obtuvo la necesidad de incluir dentro del proyecto de saneamiento un componente sobre educación ambiental a las personas, de tal forma que conozcan los sistemas sanitarios con que cuentan, la importancia de su correcto funcionamiento y las afectaciones al medio ambiente que se pueden generar al operar estos inadecuadamente.



Figura 13. Aplicación de la encuesta



Figura 14. Viviendas Encuestadas

7.3 Aforo de la quebrada

Los análisis se realizaron en tres puntos de la quebrada, donde se determinó la sección transversal, velocidades, y caudal, también se realizó un muestreo compuesto durante 6 horas en cada punto simultáneamente como se dijo anteriormente.

7.3.1 Medición de profundidades de la quebrada



Figura 15. Medición sección transversal.



Figura 16. Medición de profundidades.

Tabla 4 Levantamiento Sanitario quebrada Santa Elena Punto 1

Levantamiento Sanitario Quebrada Santa Elena Punto 1	
Distancia Desde La Orilla (cm)	Profundidad (cm)
0	7,00
10	14,00
20	20,40
30	21,80
40	21,00
50	22,00
60	21,30
70	24,50
80	24,00
90	20,00
100	22,00
110	24,70
120	22,50
130	5,00

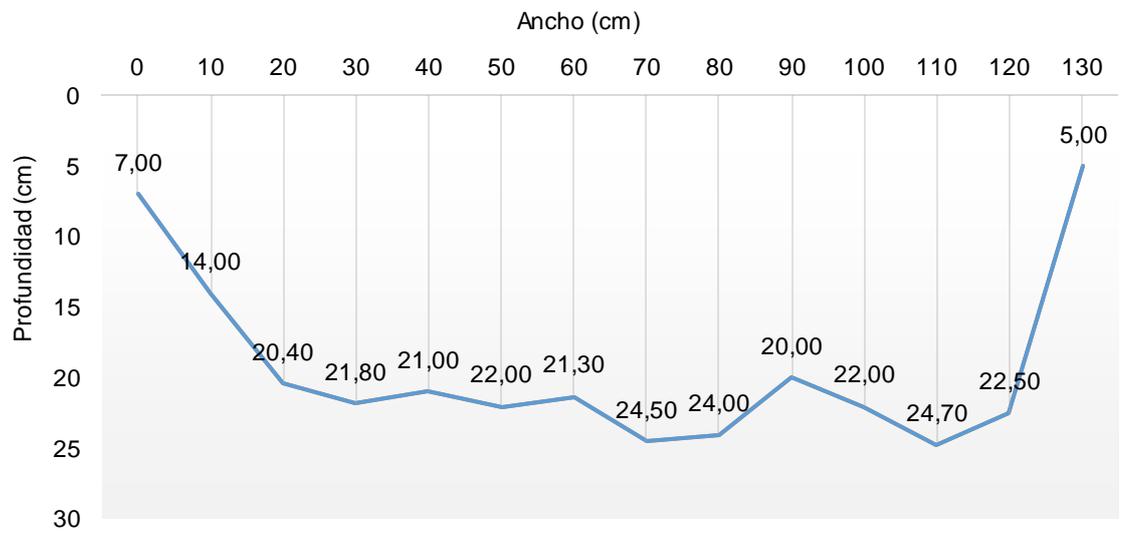


Figura 17. Área transversal quebrada Santa Elena Punto 1

Tabla 5 Levantamiento Sanitario quebrada Santa Elena Punto 2

Levantamiento Sanitario Quebrada Santa Elena Punto 2

Distancia Desde La Orilla (cm)	Profundidad (cm)
0	26,50
10	26,50
20	53,00
30	50,40
40	49,30
50	50,30
60	49,00
70	63,00
80	60,50
90	60,20
100	56,50
110	55,40
120	57,00
130	60,10
140	61,10
150	63,00
160	59,80
170	59,00
180	56,00
190	55,10
200	55,20
210	56,00
220	55,50
230	56,00
240	55,40
250	50,40
260	48,10
270	46,10
280	36,40
290	32,40
300	33,00
310	32,00
320	31,50
330	26,10
340	20,00
350	8,20

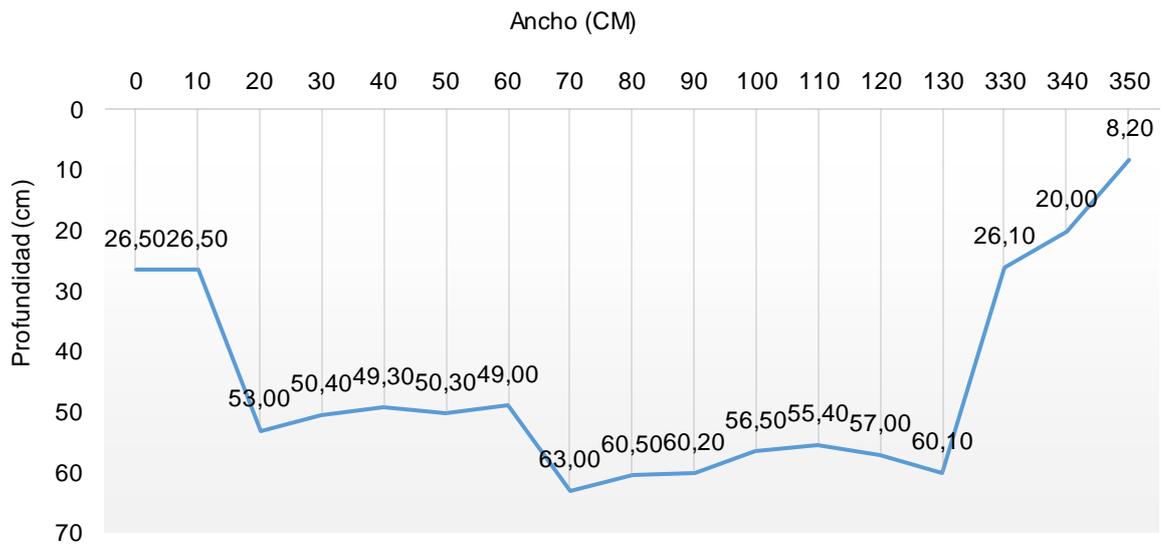


Figura 18. Área transversal quebrada Santa Elena Punto 2

Tabla 6. Levantamiento Sanitario quebrada Santa Elena Punto 3

Levantamiento Sanitario Quebrada Santa Elena Punto 3	
Distancia Desde La Orilla (cm)	Profundidad (cm)
0	1,00
10	2,50
20	4,00
30	6,50
40	7,80
50	10,00
60	10,10
70	15,50
80	17,00
90	20,20
100	23,00
110	26,50
120	31,50
130	33,40
140	38,10
150	41,00
160	42,30
170	44,20
180	50,20
190	48,90
200	51,50
210	52,00
220	53,40
230	53,50
240	56,70
250	55,60
260	55,00
270	52,00
280	51,20
290	45,10
300	44,40
310	42,50
320	42,20
330	44,00
340	36,90
350	37,00
360	45,00
370	46,50
380	48,00
390	46,80
400	47,00
410	46,00

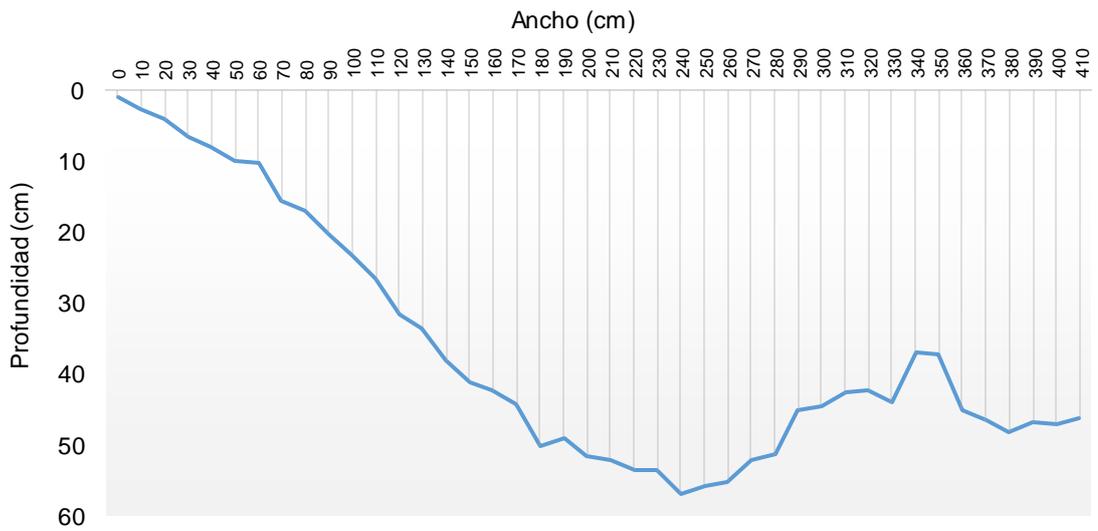


Figura 19. Área transversal quebrada Santa Elena Punto 3

7.3.2 Áreas de la sección transversal de la quebrada

Tabla 7. Cálculo Área Quebrada Punto 1

Cálculo Área Quebrada Punto 1		
Distancia Desde La Orilla (cm)	Profundidad (cm)	Área De Cada Trapecio cm ²
0	7,00	105
10	14,00	172
20	20,40	211
30	21,80	214
40	21,00	215
50	22,00	216,5
60	21,30	229
70	24,50	242,5
80	24,00	220
90	20,00	210
100	22,00	233,5
110	24,70	236
120	22,50	137,5
130	5,00	25
Total Área en cm²		2667
Total Área en m²		0,2667

Tabla 8. Cálculo Área Quebrada Punto 2

Cálculo Área Quebrada Punto 2		
Distancia Desde La Orilla (cm)	Profundidad (cm)	Área De Cada Trapecio cm ²
0	26,50	265
10	26,50	397,5
20	53,00	517
30	50,40	498,5
40	49,30	498
50	50,30	496,5
60	49,00	560
70	63,00	617,5
80	60,50	603,5
90	60,20	583,5
100	56,50	559,5
110	55,40	562
120	57,00	585,5
130	60,10	606
140	61,10	620,5
150	63,00	614
160	59,80	594
170	59,00	575
180	56,00	555,5
190	55,10	551,5
200	55,20	556
210	56,00	557,5
220	55,50	557,5
230	56,00	557
240	55,40	529
250	50,40	492,5
260	48,10	471
270	46,10	412,5
280	36,40	344
290	32,40	327
300	33,00	325
310	32,00	317,5
320	31,50	288
330	26,10	230,5
340	20,00	141
350	8,20	41
Total Área en cm²		17007,5
Total Área en m²		1,70075

Tabla 9. Cálculo área quebrada punto 3

Cálculo Área Quebrada Punto 3		
Distancia Desde La Orilla (cm)	Profundidad (cm)	Área De Cada Trapecio cm ²
0	1,00	17,5
10	2,50	32,5
20	4,00	52,5
30	6,50	71,5
40	7,80	89
50	10,00	100,5
60	10,10	128
70	15,50	162,5
80	17,00	186
90	20,20	216
100	23,00	247,5
110	26,50	290
120	31,50	324,5
130	33,40	357,5
140	38,10	395,5
150	41,00	416,5
160	42,30	432,5
170	44,20	472
180	50,20	495,5
190	48,90	502
200	51,50	517,5
210	52,00	527
220	53,40	534,5
230	53,50	551
240	56,70	561,5
250	55,60	553
260	55,00	535
270	52,00	516
280	51,20	481,5
290	45,10	447,5
300	44,40	434,5
310	42,50	423,5
320	42,20	431
330	44,00	404,5
340	36,90	369,5
350	37,00	410
360	45,00	457,5
370	46,50	472,5
380	48,00	474
390	46,80	469
400	47,00	465
410	46,00	230
Total Área en cm²		15255
Total Área en m²		1,5255

7.3.3 Medición de Velocidades de la quebrada

Se seleccionaron puntos donde el cauce fuera lo más recto posible, en dicho lugar se midieron 10 metros a lo largo del cauce y se empleó el método de aforo por flotadores para medir la velocidad y se multiplicó por 0,80 para ajustarla, ya que el flujo es más veloz en la superficie.



Figura 20. Aforo con Flotadores



Figura 21. Medición distancia de 10 m

Cuadro 4. Medición De Velocidad Con Flotadores Quebrada Santa Elena Punto 1

Medición de velocidad con flotadores quebrada Santa Elena punto 1						
Medición	Flotador	Tiempo En Recorrer 10 m (s)	Tiempo Promedio	Velocidad Promedio m/s	Velocidad Ajustada	Velocidad Promedio Del Punto m/s
1	1	22,83	22,178	0,451	0,388	0,396
	2	24,58				
	3	22,56				
	4	21,6				
	5	19,32				
2	1	20,98	21,36	0,468	0,403	
	2	23,44				
	3	20,36				
	4	19,34				
	5	22,68				
3	1	21,4	21,516	0,465	0,400	
	2	23,2				
	3	22,14				
	4	22,00				
	5	18,84				
4	1	20,84	21,908	0,456	0,393	
	2	24,52				
	3	21,86				
	4	20,76				
	5	21,56				

Cuadro 5. Medición De Velocidad Con Flotadores Quebrada Santa Elena Punto 2

Medición de velocidad con flotadores quebrada Santa Elena punto 2						
Medición	Flotador	Tiempo En Recorrer 10 m (s)	Tiempo Promedio	Velocidad Promedio m/s	Velocidad Ajustada	Velocidad Promedio Del Punto m/s
1	1	48,7	48,94	0,204	0,176	0,191
	2	48				
	3	48,85				
	4	49,73				
	5	49,42				
2	1	46,31	48,624	0,206	0,177	
	2	53,58				
	3	48,35				
	4	47,09				
	5	47,79				
3	1	45,14	42,426	0,236	0,203	
	2	44,49				
	3	42,91				
	4	39,84				
	5	39,75				
4	1	43,02	41,504	0,241	0,207	
	2	41,78				
	3	40,32				
	4	41,3				
	5	41,1				

Cuadro 6. Medición De Velocidad Con Flotadores Quebrada Santa Elena Punto 3

Medición de velocidad con flotadores quebrada Santa Elena punto 3						
Medición	Flotador	Tiempo En Recorrer 10 m (s)	Tiempo Promedio	Velocidad Promedio m/s	Velocidad Ajustada	Velocidad Promedio Del Punto m/s
1	1	27,8	30,1	0,332	0,286	0,272
	2	26,94				
	3	28,49				
	4	31,04				
	5	36,23				
2	1	28,07	34,294	0,292	0,251	
	2	37,6				
	3	31,9				
	4	31,4				
	5	42,5				
3	1	30,9	31,872	0,314	0,270	
	2	40,7				
	3	27,3				
	4	29,5				
	5	30,96				
4	1	34,2	30,734	0,325	0,280	
	2	36,3				
	3	27,07				
	4	28,18				
	5	27,92				

7.3.4 Caudal

Tabla 10. Caudales Quebrada Santa Elena

Caudales Quebrada Santa Elena			
Punto	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal m ³ /s
Punto 1	0,40	0,2667	0,106
Punto 2	0,19	1,70075	0,324
Punto 3	0,27	1,5255	0,414

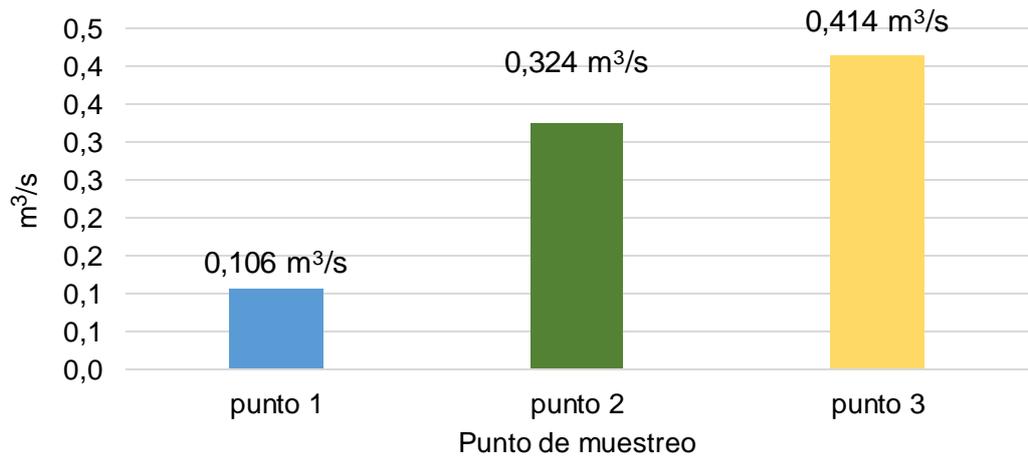


Figura 22. Caudal en los puntos de muestreo

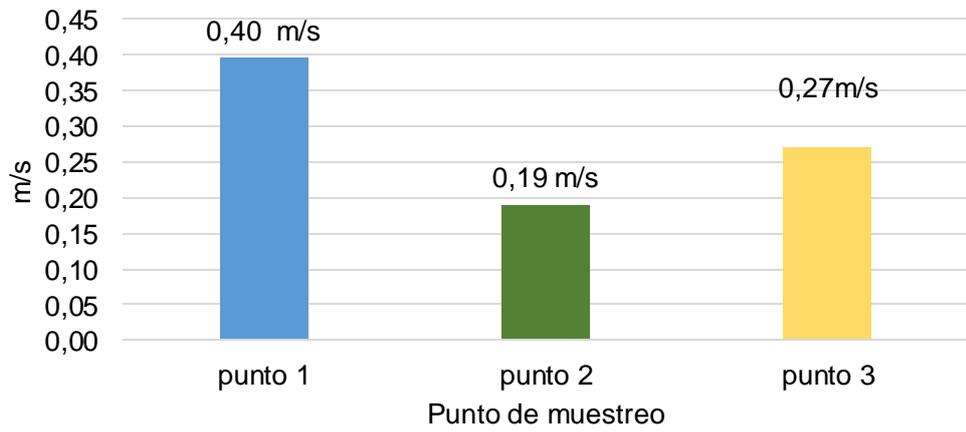


Figura 23. Velocidad en los puntos de muestreo

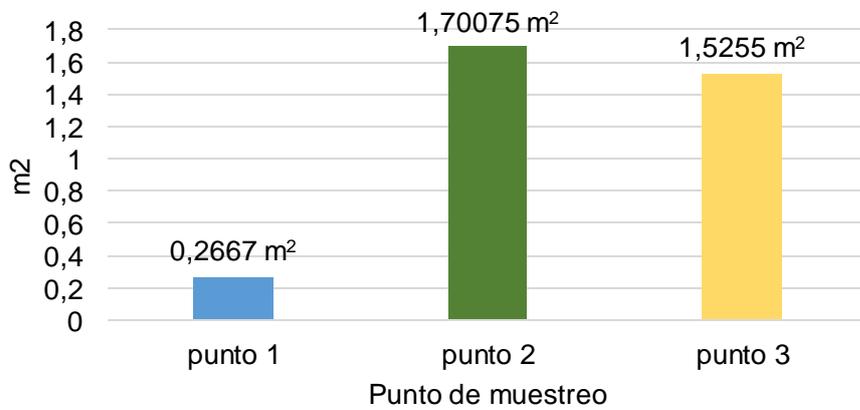


Figura 24. Área en los puntos de muestreo

7.4 Muestreo Compuesto



Figura 25. Preservación de las muestras



Figura 26. Proceso toma de muestras

Para el muestreo compuesto realizado se tomaron en los tres puntos seleccionados muestras de agua durante 6 horas, es decir, una muestra cada media hora (13 muestras), el volumen de cada alícuota se obtuvo promediando el volumen total de la muestra compuesta (3 litros) sobre el número de muestras, obteniéndose un volumen promedio de las alícuotas de 230,76 ml.

Es importante tener en cuenta las estadísticas de pluviosidad de la zona, pues la alta pluviosidad genera aumento de caudales, disolviendo más los contaminantes. Según los datos del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (49) y del IDEAM, los datos pluviométricos son los siguientes:

Tabla 11. Información pluviométrica del Valle de Aburrá y Subregiones

Pluviosidad Sistema SIATA-IDEAM				
Ubicación Del Pluviómetro				
Mes	Santa Elena (Oriente) mm	Centro Medellín (Centro) mm	Bello (Norte) mm	San Javier (Occidente) mm
Enero	34,10	53,8	35	39,5
Febrero	78,80	30,2	31,8	58,8
Marzo	76,20	49,3	10,9	72
Abril	248,90	163,8	87,6	92,1
Mayo	271,90	172,5	115,1	212,4
Junio	104,20	85,1	46,4	105,9
Julio	124,70	89,7	100	49,5
Agosto	134,60	162	25,1	62,5
Septiembre	253,20	252,5	65,5	64,8
Octubre	143,00	168,4	168,4	75,9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos publicados por el SIATA

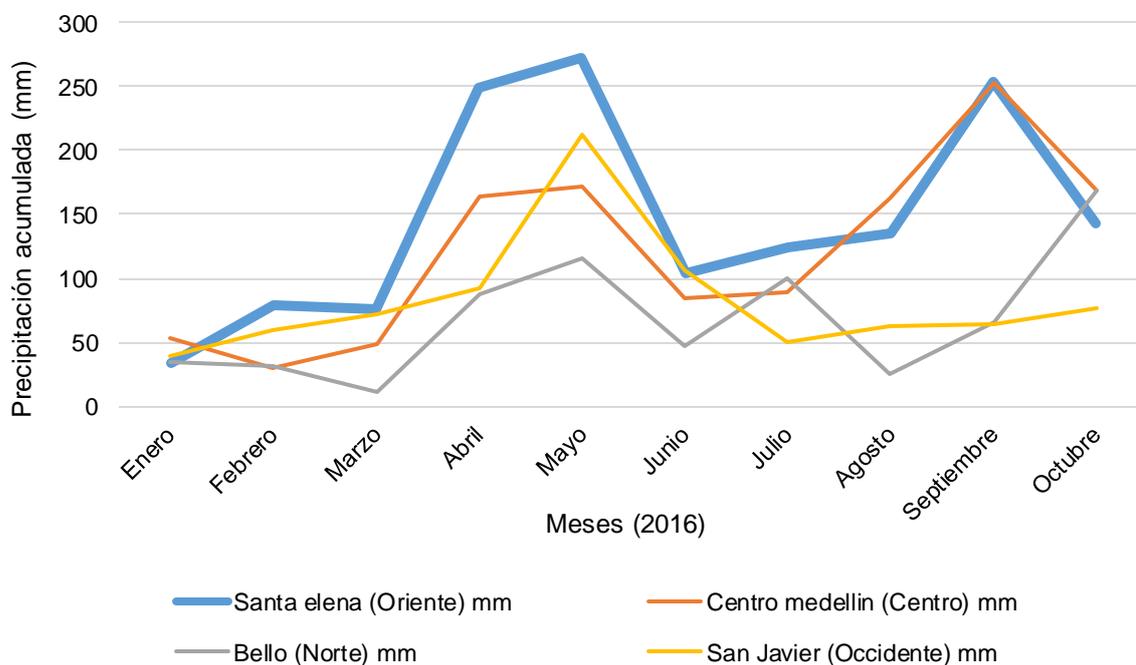


Figura 27. Comparación pluviosidad en distintos puntos

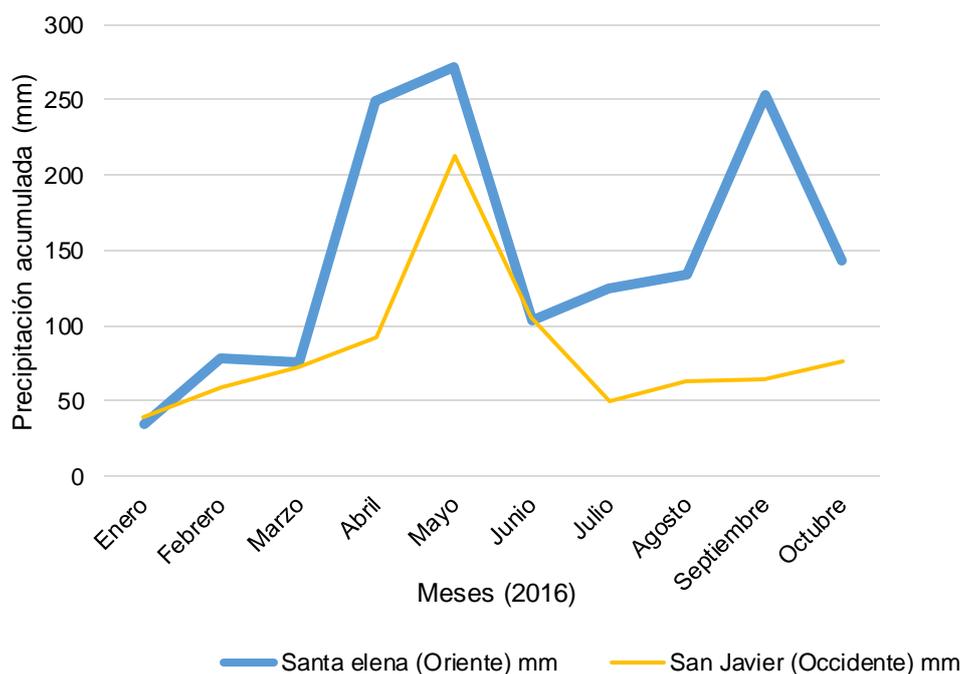


Figura 28. Comparativo entre pluviómetro Santa Elena y San Javier

Como puede ser observado en la Figura 28 y Figura 29 de pluviosidad, Santa Elena, en comparación con las demás estaciones puestas en comparación, es la que presenta mayor cantidad de precipitación a lo largo del año, y aunque entre los meses de septiembre y octubre hubo una reducción, aún sigue siendo alto si se compara con el comportamiento de los demás puntos.

La alta pluviosidad de la zona es un punto a favor para la quebrada, pues disuelve los contaminantes, pero en épocas de sequía, como el mes de enero, las concentraciones de los contaminantes en la quebrada aumenta, por lo que si se realiza un análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas en este mes, los resultados presentarían valores con mayor grado de contaminación.

7.5 Levantamiento del sistema de información geográfico SIG

Cuadro 7. Caracterización puntos de la quebrada

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
1	Aguas residual domestica	Se observa descarga del rebose del pozo séptico de la vivienda, así como descargas directas de las aguas grises de la misma	Nor-oriental	3" PVC	Vivienda	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
2	Aguas residual domestica	Se observa el rebose del pozo séptico generando vertimiento a la quebrada	Sur-occidental	3" PVC	Iglesias y vivienda	
3	Aguas combinadas	Se observa tubo de cemento que descargas aguas lluvias y ARD a la cuneta que recolecta las aguas lluvias en la carretera, presencia de solidos suspendidos, agua	Nor-oriental	15" cemento	Fincas de ganado	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
		color café, malos olores y presencia de vectores. Metros más adelante descarga a la quebrada por el sistema de aguas lluvias				
4	Aguas combinadas	Se observa descargas provenientes del centro de salud, presencia de vectores	Nor-oriental	3" PVC	Centro de salud	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
5	Aguas combinadas	Se percibe agua con poca turbiedad, con un caudal alto de aproximadamente de 0,5L/seg y con mucho residuo sólido en la quebrada	Nor-oriental	110cm	Afluente superficial	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
6	Aguas combinadas	Se presencia alto caudal (10L/seg), con poca turbiedad y sin olor	Sur-occidental	200cm	Afluente superficial	
7	Aguas combinadas	Se percibe olor desagradable, agua bastante turbia, no se presencia descarga en el momento	Nor-oriental	30"	Tubo de cemento, parque	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
8	Aguas combinadas	Poco caudal, se percibe mal olor, agua turbia	Nor-oriental	20"	Parque	
9	Aguas residual doméstica	Se observa descarga de residual doméstica, con bajo caudal pero con presencia de mal olor y solidos suspendidos	Nor-oriental	4"	Parque	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
10	Aguas Residuales Domesticas	Presencia de manguera negra con descarga directa a la quebrada de agua residuales domésticas, estas son de color gris y no se evidencian tan turbias, presencia de vectores en el lugar	Nor-oriental	3"	Vivienda	
11	Afluente	Se observa agua transparente, con caudal alto (aproximadamente de 15L/seg)	Sur-occidental	100cm	Afluente superficial	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
12	Aguas combinadas	Se observa afluente con poco caudal (aproximadamente de 0,15L/seg), se identifica que de la estación de la policía salen vertimientos	Nor-oriental	60cm	Afluente superficial	
13	Descarga agua residual	Se evidencia descarga de rebose de pozo séptico de la estación de policía	Nor-oriental	3" cemento	Estación de policía	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
14	Agua Residual Domestica, rebose pozo séptico	Se observa poco caudal, viviendas ubicadas a 10m de la quebrada, es un vertimiento no continuo, este es un rebose de pozo séptico	Sur-occidental	3"	Vivienda	
15	Aguas lluvias	No hay descarga en el momento	Nor-oriental	20" cemento	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
16	Aguas combinadas	Combinada superficial, con mal olor, procede de caño	Sur-occidental	Caño 50cm	Afluente superficial	
17	Captación agua (Heno)	Se realiza captación de agua para actividades industriales (producción de heno) con tubería de 2" en PVC y con motobomba. La captación no es continua	Sur-occidental	2"	Captación directa por tubería	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
18	Agua Residual No Domestica	Se observa turbiedad en la descarga, presencia de malos olores, la descarga le cambia el color al agua (color negro), caudal bajo alrededor de 0,2L/Seg pero la concentración del contaminante es alta porque con esta poca cantidad de agua se puede evidenciar la mezcla que se produce luego de la descarga	Sur-occidental	Caño 50cm	Industria de Heno	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
19	Agua combinada	Aguas lluvias combinadas con aguas residual industrial, procedente de pizzería y veterinaria, es el rebose de pozo séptico, no se evidencian sólidos.	Nor-oriental	8"	Pizzería, veterinaria	
20	Aguas superficial domestica superficial	Se presencia olor fétido, descarga con caudal de 0,3L/seg, de color oscuro y presencia de solidos suspendidos. Se evidencia el cambio de color que genera a la fuente de agua.	Sur-occidental	50cm	Viviendas ubicadas parte superior de fábrica de heno	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
21	Aguas Residuales Domesticas	Se evidencia un tubo de PVC sanitario sin descarga en el momento pero con mal olor, ubicado debajo del puente para la entrada de la vereda el Llano	Sur-occidental	8"	Viviendas	
22	Aguas Lluvias	Se observa tuberías para descarga de aguas lluvias sin descarga en el momento	Nor-oriental	3"	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
23	Agua residual doméstica	Se observa rebose de pozo séptico que llega a la quebrada por tubería de PVC	Sur-occidental	3" PVC	viviendas	
24	Agua residual doméstica	Se observa rebose de pozo séptico que llega a la quebrada por tubería de PVC.	Sur-occidental	3" PVC	viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
25	Afluente	Afluente con caudal alto el cual no pudo ser aforado con el método volumétrico, teniendo aproximadamente entre 15 y 20 L/seg. Se presencia agua turbia, con mal olor	Sur-occidental	60cm	NA	
26	Aguas lluvias	Se observa tubo de cemento procedente de una vivienda en la cual descarga aguas lluvias	Nor-oriental	8" cemento	Vivienda	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
27	Agua residual domestica	Se observa una descarga con descarga medio de 0,3L/seg, con mal olor y turbia, las viviendas cuentan con terreno suficiente para hacer sistemas de tratamiento in situ	Sur-occidental	6" cemento	Vivienda	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
28	Agua residual domestica	Se observa manguera negra sin descarga en el momento pero con mal olor	Sur-occidental	3" manguera negra	Viviendas	
29	Agua residual domestica	Se observa tubería de cemento con un caudal mínimo que tiene mal olor, se evidencia restos de materia fecal	Sur-occidental	8" cemento	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
30	Aguas combinadas	Se evidencia aguas lluvias combinadas con aguas residuales domésticas, el efluente es de color café, se percibe mal olor	Nor-oriental	20" cemento	Industria madera y cunetas aguas lluvias	
31	Aguas residuales domésticas	Se observa un tubo inmerso en la quebrada de donde sale agua turbia color café y se presencia mal olor	Sur-occidental	8" PVC	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
32	Aguas residuales domésticas	Manguera negra con descarga de ARD	Nor-oriental	3" manguera negra	Industrias	
33	Aguas residuales domésticas	Se observa que en las casas construidas al lado de la quebrada (margen nor-oriental) hay una descarga de aguas grises, la cual presenta mal olor	Nor-oriental	3" PVC	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
34	Aguas lluvias	Tubería proveniente de una vivienda, la cual descarga las aguas lluvias, no se evidencia descarga en el momento. Sin olor	Sur-occidental	3" PVC	Vivienda	
35	Aguas residual domestica	Se observa tubería proveniente de casa ubicada al borde de la quebrada, esta tubería es el rebose del pozo séptico, en el momento no se evidencia descargas; el predio cuenta con el terreno suficiente	Sur-occidental	3" PVC	Vivienda	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
		para la construcción de sistemas de tratamientos in situ				
36	Aguas lluvias	Se observa tubería de aguas lluvias sin descarga en el momento, no se evidencia malos olores	Nor-oriental	20" cemento	Cunetas recolección aguas lluvias	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
37	Aguas lluvias	No se evidencia descarga de agua en el momento, se observa tubería de PVC que llega a la quebrada de forma elevada, conduciendo aguas lluvias de un restaurante	Nor-oriental	3" PVC	Restaurante	
38	Aguas residuales domesticas	Se evidencia descarga de rebose de pozo séptico hasta la quebrada, en el momento no se evidencia descarga	Sur-occidental	3" PVC	Vivienda	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
39	Aguas lluvias	Se observa tubería en cemento, sin descarga en el momento de aguas lluvias	Sur-occidental	4" PVC	viviendas	
40	Afluente	Afluente con caudal de 10L/seg, turbiedad baja, sin presencia de malos olores, solo se observa espuma	Nor-oriental	caño 80cm	Afluente superficial	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
41	Agua Residual Domestica	Se observa tubería de PVC descargando aguas residuales aproximadamente 0,5L/seg, el agua color gris oscuro, se observan restos de alimentos, mal olor, vectores y moscas en el lugar; se puede apreciar el cambio de color que tiene la quebrada posterior a este vertimiento. Es un gran contaminante para la quebrada	Sur-occidental	6" PVC	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
42	Afluente	Caudal alto (25L/seg aproximadamente), no presencia turbiedad ni color	Sur-occidental	Caño de 80cm	Afluente superficial	
43	Agua residual domestica	Se observa rebose de pozo séptico que llega a la quebrada por una manguera negra	Nor-oriental	3" manguera negra	Tiendas, restaurante	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
44	Captación	Se evidencia captación directa del agua de la quebrada por motobomba para riego de jardines y cultivo	Nor-oriental	1,5" manguera	Vivienda-restaurante	
45	Agua residual domestica	Se observa rebose de pozo séptico que llega a la quebrada por una manguera negra	Nor-oriental	3" manguera negra	Restaurante	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
46	Agua residual domestica	Se observa rebose de pozo séptico que llega a la quebrada por una manguera negra, se evidencia vectores en el área	Nor-oriental	3" manguera negra	Viviendas y restaurante	
47	Agua residual domestica	Se observa tubería proveniente del pozo séptico de una vivienda, no se evidencia descarga en el momento, puesto que la casa está en construcción	Nor-oriental	4" PVC naranja	vivienda en construcción	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
48	Agua residual domestica	Se observa descarga de aguas grises con un caudal de aproximadamente de 0,15L/seg, el agua huele mal, presencia de vectores en la zona	Nor-oriental	3" PVC	Viviendas	
49	Agua residual domesticas	Descarga de aguas grises a la quebrada de forma superficial por un caño de 15cm, el caudal es de 0,2L/seg	Nor-oriental	Caño 15cm	Viviendas	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
50	Aguas combinadas	observa descarga de aguas lluvias y domesticas por un caño; tiene un caudal de 0,5L/seg, las aguas no presentan solidos suspendidos y presentan tonalidades de color grises	Nor-oriental	Caño 20cm	Viviendas	
51	Agua residual domestica	5m. más adelante a la bocatoma del acueducto se observa la descarga de aguas residuales de la PTAR, tubería negra, (alrededor de 2L/seg), el agua es turbia, presenta mal olor.	Sur-occidental	6" pulgada manguera negra	PTAR	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
52	Afluente	Afluente sin color ni olor, no hay presencia de vectores, parece de buena calidad, el caudal es de 20 l/segundo	Sur-occidental			
53	Descarga agua residual doméstica	Se observa aguas grises de una vivienda ubicada en la parte alta (borde de la carretera)	Nor-oriental	6" cemento		

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
54	Afluente	Se observa un afluente con aproximadamente 15L/s con turbiedad leve, incoloro y se perciben malos olores	Nor-oriental	Caño 100cm	Afluente superficial	
55	Agua residual doméstica e industrial	Descarga continua de ARD por manguera hasta la quebrada proveniente de 2 pozos sépticos al que llegan las aguas residuales de 3 restaurantes, un depósito y una vivienda; se	Nor-oriental	3" manguera negra	Viviendas, restaurantes y depósito	

Punto	Tipo	Calidad percibida y descripción	Margen	Diámetro o ancho	Origen	Fotografía
		evidencia restos de alimentos, vectores, malos olores y como le cambia el color al agua de la quebrada				
56	Agua residual doméstica	Se observa aguas grises que provienen de la estación de bombeo del acueducto	Nor-oriental	6" cemento	estación bombeo acueducto	

7.5.1 Sistema de Información Geográfico (SIG)

Con los íconos mostrados a continuación, se encuentra caracterizada el área de estudio, desplegando cada uno de éstos se puede observar fotografías de cada lugar y de cada aspecto georreferenciado, adicionalmente en sus propiedades está la altitud y coordenadas (Ver Figura 29 y Figura 30). Los puntos fueron tomados con el GPS Garmin 76S, durante las visitas realizadas y transferidos posteriormente al software.

El SIG construido se encuentra en formato kmz, el cual puede ser abierto con el software Google Earth, o ArcGis descargándolo en el siguiente vínculo:

https://drive.google.com/drive/folders/0B84x23_zFCwjd2VwSVdCQVB5OXc?usp=sharing

7.5.2 Íconos utilizados en el SIG



Descarga de ARD



Captación de Agua



Descarga de aguas lluvia



Fotografía



Vivienda con encuesta



Afluente



Punto de interés



Punto de muestreo



Sitio de disposición de residuos sólidos a la intemperie

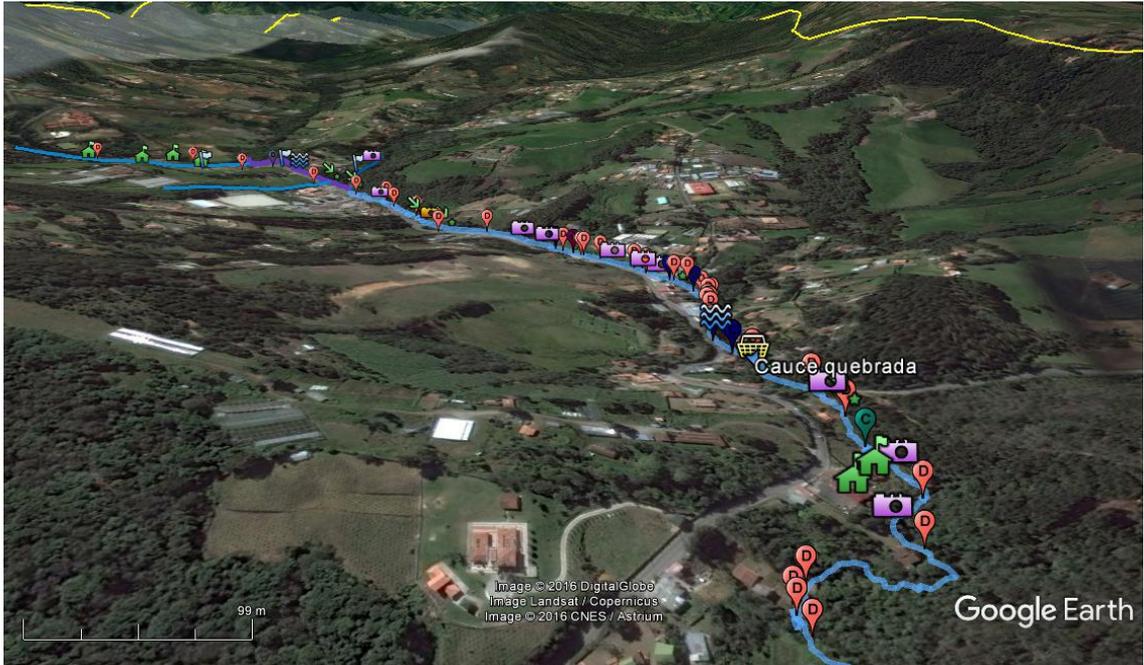


Figura 29. Sistema de información geográfico.
Fuente: Google Earth.



Figura 30. Sistema de información geográfico.
Fuente: Google Earth.

7.6 Caracterización del agua

En el Cuadro 8 se presenta los resultados del análisis del laboratorio, en total se analizaron 13 parámetros.

Cuadro 8. Resultados de laboratorio

Parámetro	Unidades	LDM*	Valor Obtenido		
			16-2158-1	16-2158-2	16-2158-3
Color Verdadero	UC	1,00	11,5	15,2	16,3
Conductividad	μS/cm	0,297	86,9 ± 2,8	79,1 ± 2,5	86,4 ± 2,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno-5	mg/L O ₂	3,04	< LDM	< LDM	4,96 ± 0,75
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	1,60	8,59 ± 0,62	11,8 ± 0,9	39,2 ± 2,8
pH	U.pH	2-12	7,222 ± 0,003	7,235 ± 0,003	7,368 ± 0,003
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L SST	2,63	< LDM	2,67 ± 0,19	16,7 ± 1,2
Sólidos Totales	mg/L ST	3,22	52,0 ± 3,5	70,0 ± 4,8	111 ± 8
Turbiedad	N.T.U.	0,100	1,71	2,57	9,50
Coliformes Totales	NMP/100mL	1	65 x 10 ³	152 x 10 ³	365 x 10 ³
<i>E-coli</i>	NMP/100mL	1	7 x 10 ³	4 x 10 ³	19 x 10 ³

*LDM: Límite de detección del método.

Parámetro	Unidades	LDM*	Valor Obtenido		
			16-2158-1	16-2158-2	16-2158-3
Fosforo Total	mg/L P	0,050	<LDM	<LDM	0,094 ± 0,008
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L N	1,00	<LDM	<LDM	<LDM
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	-----	6,57	7,22	7,06

*LDM: Límite de detección del método.

Métodos Analíticos: Basados en el Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 22 Edition. 2012. (Ver resultados originales del laboratorio en Anexo 4 Resultados Análisis del Laboratorio).

- **Color verdadero:** Colorimétrico – (2120-C)
- **Conductividad:** Electrométrico – (2510-B)
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Potencio métrico – Oxímetro- Prueba de los 5 días (5210-B y EPA 360.3)
- **Demanda Química de Oxígeno:** Espectrofotométrico – Reflujo Cerrado (5220 - D)
- **pH:** Electrométrico (4500 – H⁺-B)
- **Sólidos Suspendidos Totales:** Gravimétrico – Secado (103-105) °C (2540-D)

- **Sólidos Totales:** Gravimétrico – Secado (103-105) °C (2540-B)
- **Turbiedad:** Nefelométrico (2130 – B)
- **Coliformes Totales:** Sustrato definido (9223 – B)
- **E-Coli:** Sustrato definido (9223 – B)
- **Fósforo Total:** Espectrofotométrico – Ácido ascórbico (4500-P-B, E).
- **Nitrógeno Total Kjeldahl:** Método Micro Kjeldahl – Titulométrico (4500-Norg-B)
- **Oxígeno disuelto:** Modificación de Azida (4500 – O-C)

Tabla 12. Puntos de muestreo

Puntos De Muestreo				
Punto	Coordenadas		Distancia (m)	Distancia Entre Punto (m)
	N	O		
1	6°12'28.50"N	75°29'50.09"O	0	0
2	6°12'49.68"N	75°30'9.42"O	943,85	943,85
3	6°13'12.72"N	75°30'9.70"O	1889,15	945,3

7.6.1 Comportamiento parámetros analizados

7.6.1.1 Color verdadero

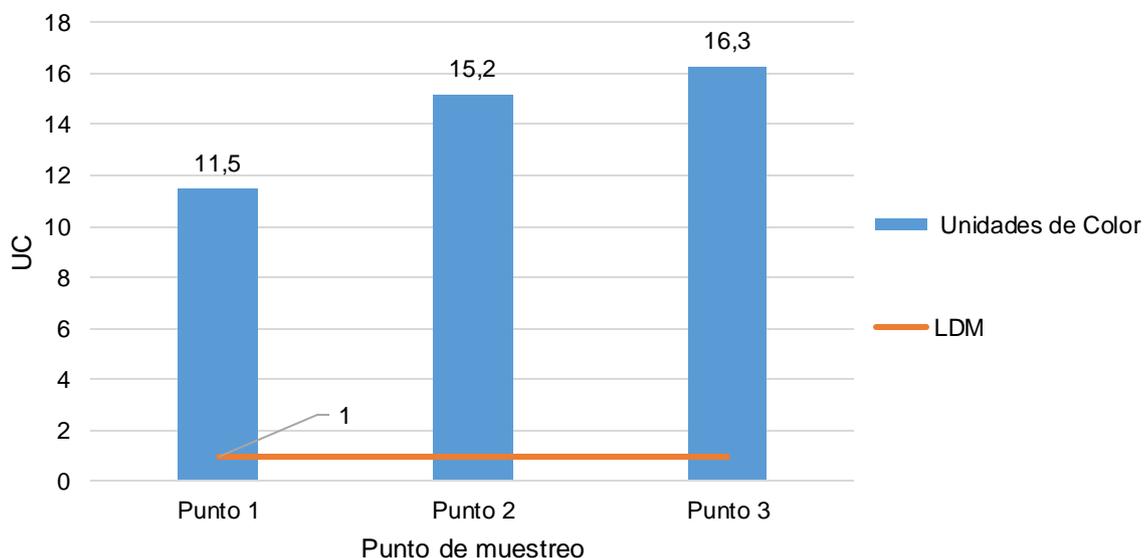


Figura 31. Color Verdadero

Cuando el color del agua es producido por material suspendido se le llama "Color aparente", después de eliminar el material que queda disuelto en la columna de agua, se le conoce como "Color verdadero" siendo este último el que reportó los análisis del laboratorio. Al analizar la comparación de los puntos de muestreo en la Figura 31, se observa que el color verdadero aumenta cada vez más, la cual permite concluir que la quebrada tiene presencia de humus, materia orgánica, contaminantes domésticos e industriales (fábrica de heno) debido a las descargas de aguas residuales y materiales también observadas durante el recorrido.

7.6.1.2 Conductividad Eléctrica

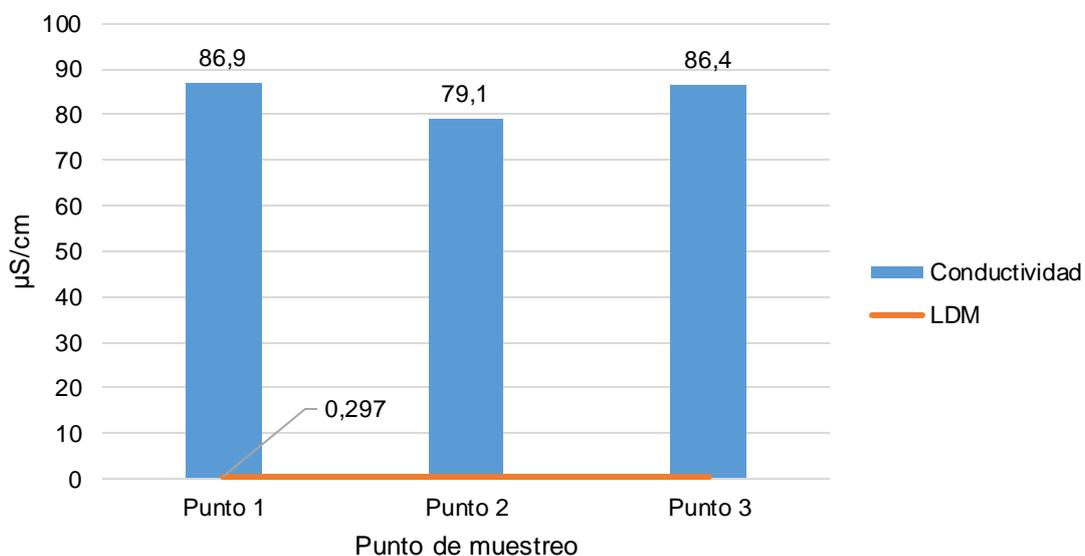


Figura 32. Conductividad Eléctrica

Este parámetro expresa la habilidad o capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica. Según la Resolución 2115 de 2007 el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 micro siemens/cm. La Figura 32 permite observar que no hay un punto de muestro que sobrepase el valor, lo que permite concluir que al menos en este parámetro el agua de la quebrada no se le asociaría con algún grado de contaminación y no representa ningún riesgo para la salud.

7.6.1.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO₅

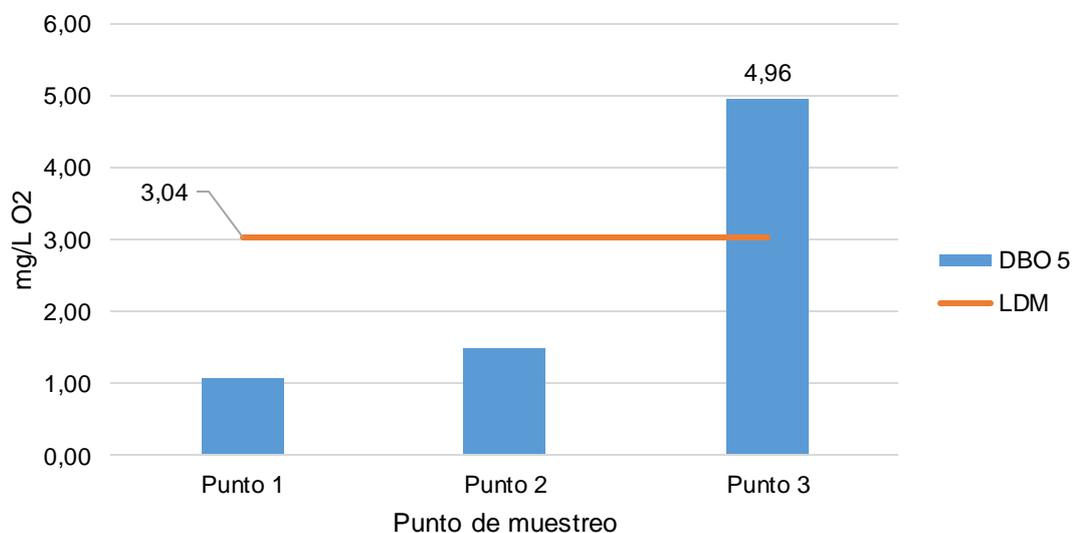


Figura 33. Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable, es decir, ésta mide indirectamente la cantidad de materia orgánica contenida en el agua. El aporte de DBO₅ del agua presenta concentraciones de 4.96 mg O₂/L en el punto 3, en los puntos 1 y 2 la lectura fue inferior al LDM.

7.6.1.4 Demanda Química de Oxígeno - DQO

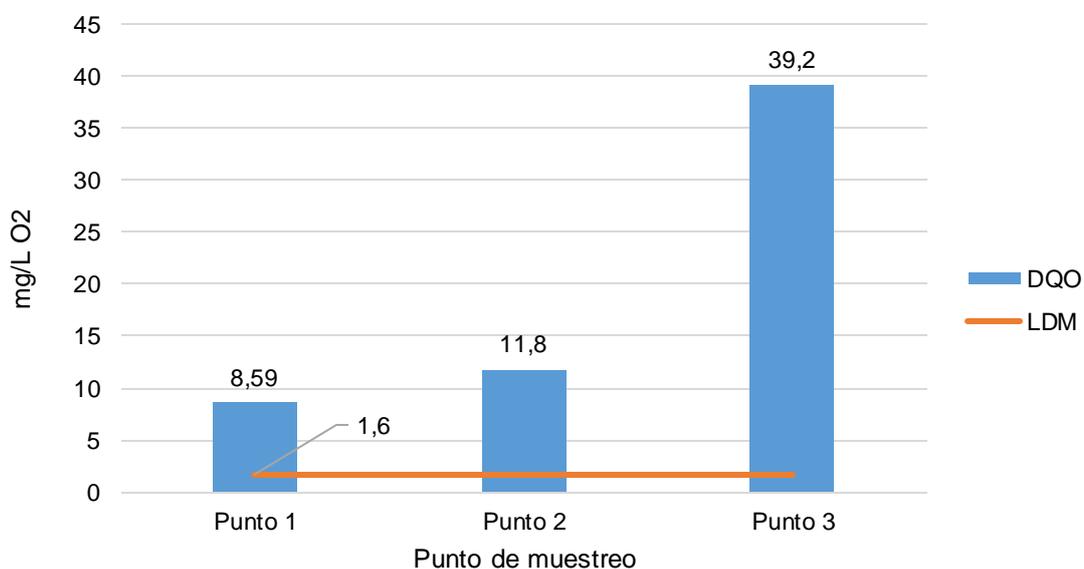


Figura 34. Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente la materia orgánica mediante un oxidante fuerte, en esta se incluye material biodegradable y no biodegradable contenida en el agua y altas cargas de ésta ocasionan la desoxigenación del agua y olores indeseables. La concentración de DQO registrada fue de 8,59 mg/L O₂ en el punto 1, 11,8 mg/L O₂ en el punto 2, y 39,2 mg/L O₂ en el punto 3.

Un aspecto importante a destacar es que, a pesar de presentarse niveles promedio de DQO altos, los valores de DBO₅ son bajos, característicos de baja contaminación orgánica (<2 mg/L - Unesco, 1996), situación que puede indicar que a la quebrada están llegando sustancias oxidables de tipo inorgánico que aumentan la concentración de DQO y pueden incidir en un riesgo químico que afecta la quebrada.

7.6.1.5 DBO₅ y DQO vs Distancia

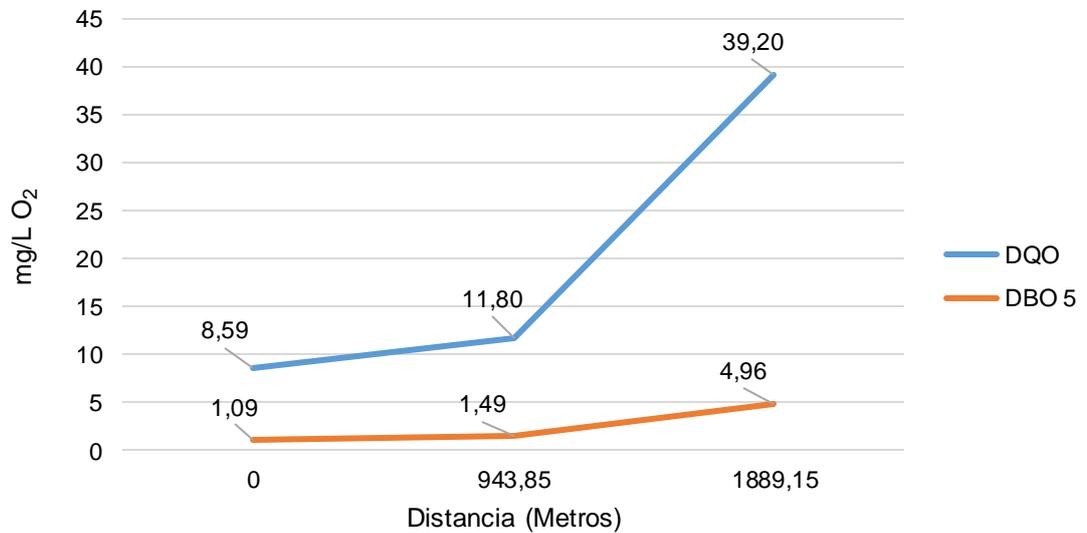


Figura 35. DBO₅ y DQO vs Distancia

El valor de la DBO₅ siempre será inferior al de la DQO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente.

- **Índice de Biodegradabilidad**

El Índice de Biodegradabilidad (DQO/DBO₅) es la relación entre la capacidad química y biológica de degradación de un agua (50). En este caso, el índice de biodegradabilidad se relaciona directamente con la concentración de materia orgánica presente en el agua. Si el I.B. (DBO₅/DQO) es < 0.2 quiere decir que el vertido es de tipo inorgánico, si es > 0.4 éste será de tipo orgánico. (51)

El índice de biodegradabilidad obtenido en el efluente fue el siguiente:

Tabla 13. Índice de biodegradabilidad

Índice de Biodegradabilidad			
Lugar	DBO ₅	DQO	índice
Punto 1	< LDM	8,59	-
Punto 2	< LDM	11,80	-
Punto 3	4,96	39,20	0,12653

Tabla 14. Clasificación índice de biodegradabilidad

Valor	Tipo de agua
Menor que 0, 2	No biodegradable
Entre 0, 2 y 0, 4	Biodegradable
Mayor que 0, 4	Muy biodegradable

Al analizar los resultados podemos observar que el agua de la quebrada santa Elena, en el punto 3, es de tipo no biodegradable, pues el índice fue de 0,12653.

7.6.1.6 Potencial de Hidrógeno (pH)

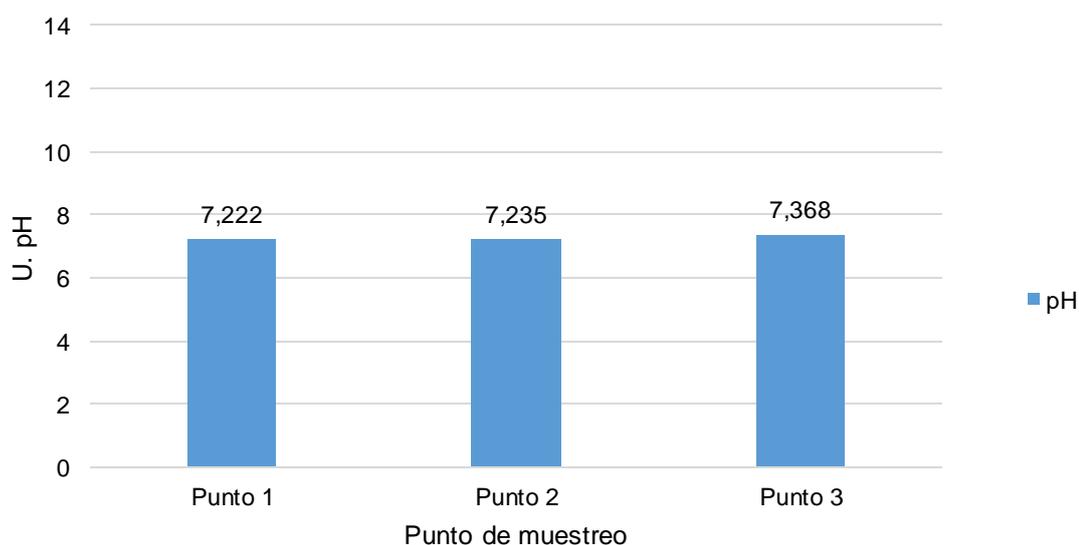


Figura 36. pH

El pH permite determinar el valor si una sustancia es ácida, neutra o alcalina (básica). Se mide en una escala a partir de cero (0) a catorce (14), en la escala

7, la sustancia es neutra, los valores de pH por debajo de 7 indican que la sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que la sustancia es alcalina o básica. De acuerdo con la Figura 36 todos los puntos presentan un pH mayor a siete, el cual permite deducir que el agua de la quebrada es alcalina o básica. Teniendo en cuenta que la Resolución 2115 de 2007 establece que si el pH del agua está entre 6.5 y 9 el agua es apta consumo humano y que los puntos de muestreo observados en la figura se encuentra entre este rango, se concluye que el agua de la quebrada de acuerdo con este parámetro es apta para consumo si se mira solo el pH, pues al ver otros parámetros se observa lo contrario.

7.6.1.7 Sólidos Totales (ST)

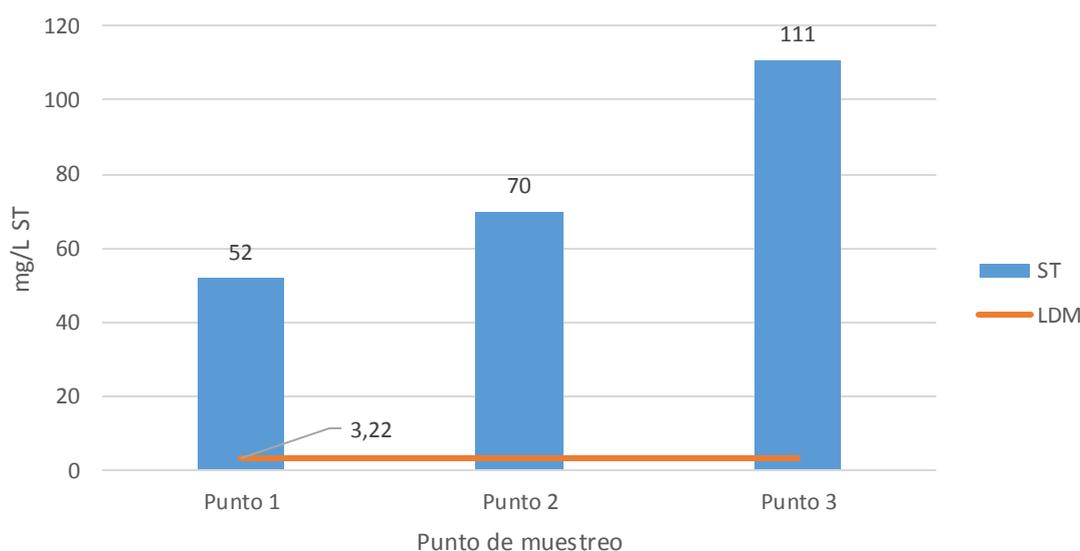


Figura 37. Sólidos Totales

Los Sólidos Totales corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. En la Figura 37 se observa que sólidos van incrementando en cada punto, lo que permite deducir que el grado de contaminación del agua es cada vez mayor.

7.6.1.8 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

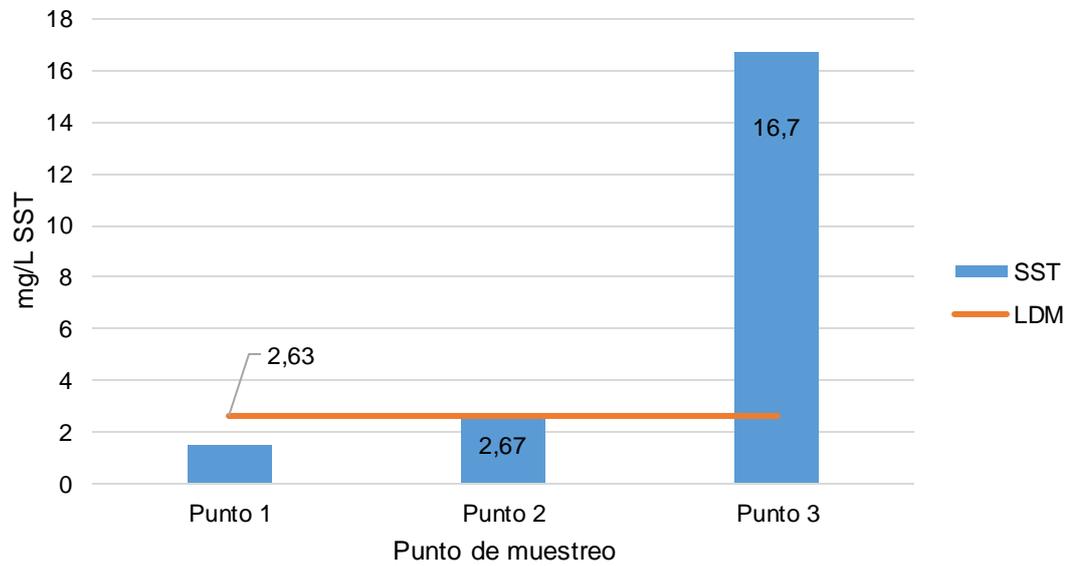


Figura 38. Sólidos Suspendidos Totales

Los Sólidos Suspendidos Totales hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. El punto 3 es el que mayor cantidad de SST contiene, de acuerdo a la Figura 38.

7.6.1.9 Sólidos Disueltos Totales (SD)

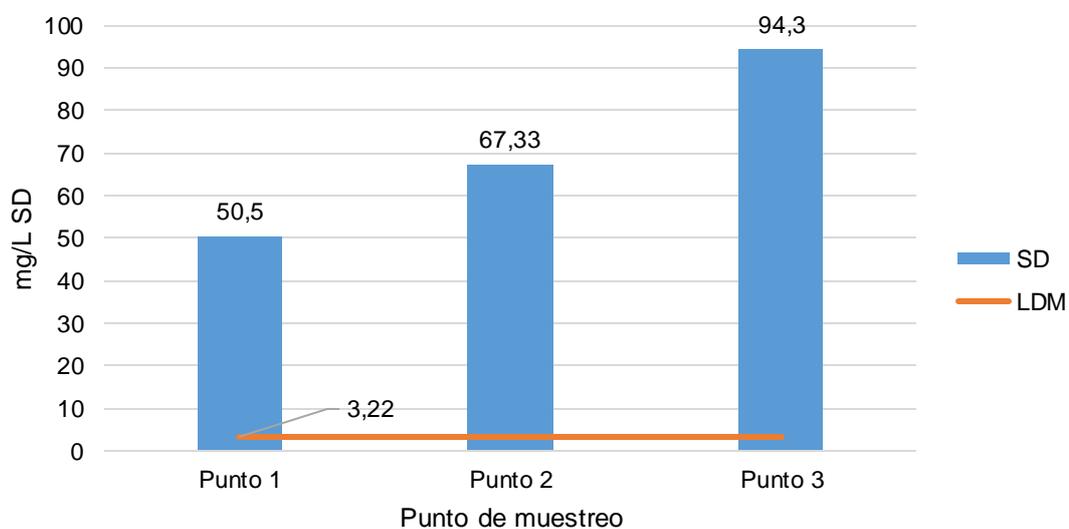


Figura 39. Sólidos Disueltos Totales

Los Sólidos Disueltos Totales es la suma de todos los minerales, metales y sales disueltas en el agua; altas cantidades pueden causar molestias gastrointestinales en personas no acostumbradas al agua. Los puntos de muestro evidencian que van en aumento, representando cada vez más un riesgo para la salud al consumir el agua debido a todas las descargas que presenta la quebrada.

7.6.1.10 Turbiedad

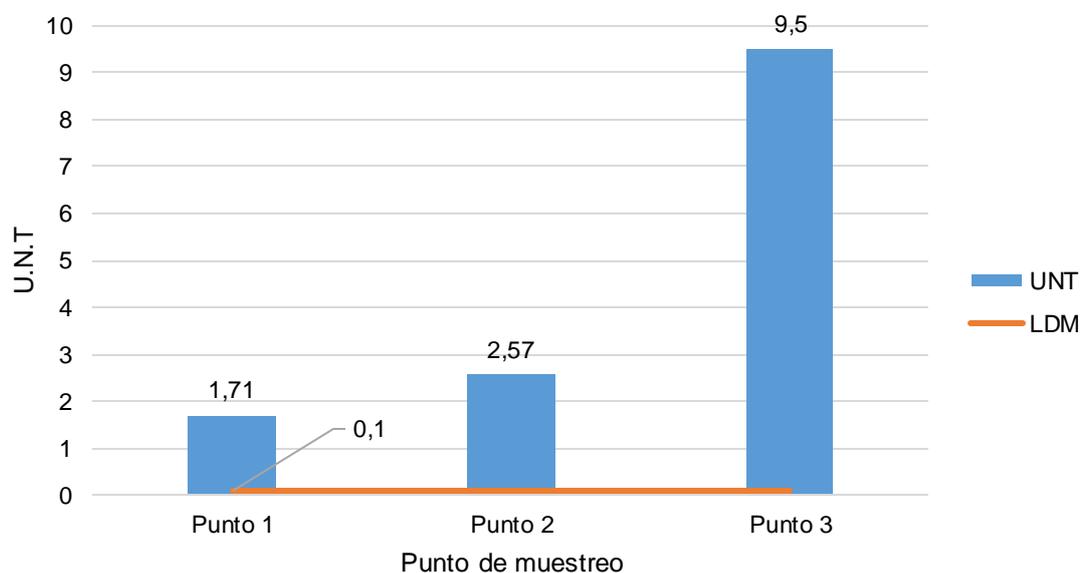


Figura 40. Turbiedad

De acuerdo al resolución 2115 de 2007, el valor máximo aceptable para la turbiedad es 2 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT), para aguas que sean aptas para el consumo humano, al observar la figura evidenciamos que los puntos 2 y 3 están por encima de este valor y solo el punto 1 lo está cumpliendo. Por lo que podemos inferir que el agua es no apta para el consumo humano si se consume directamente del cuerpo de agua.

7.6.1.11 Coliformes Totales

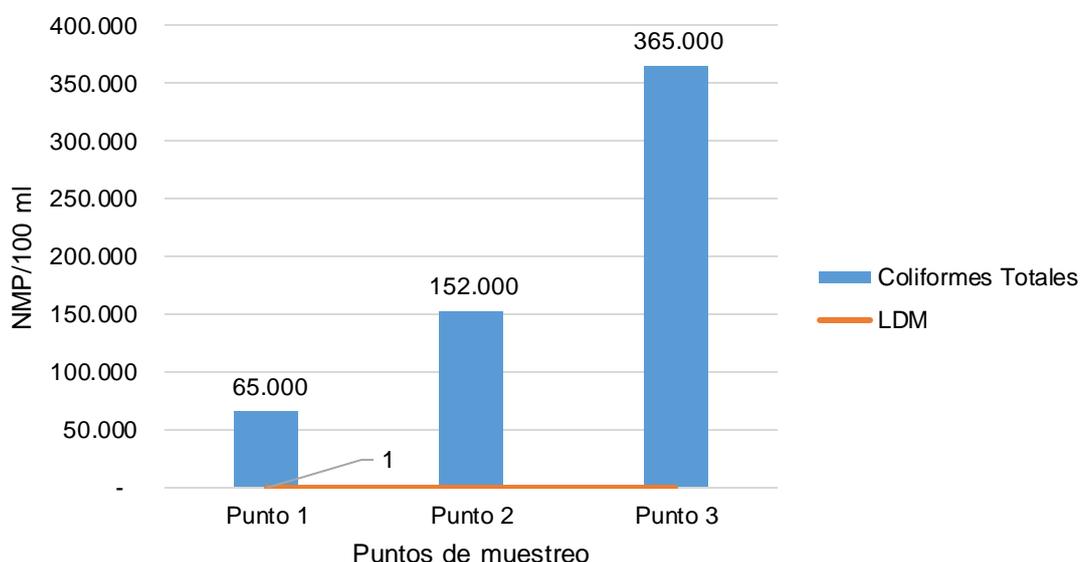


Figura 41. Coliformes Totales

Según la Resolución 2115 de 2007 es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano y su valor máximo aceptable es 0 Unidad Formadora de Colonia/100 cm³. En los puntos de muestreo en la figura se observa que ninguno de ellos cumple con lo establecido por la norma, debido a esto se concluye que el agua no es apta el consumo humano y es factor de riesgo directo para la salud.

En cuanto al comportamiento de los microorganismos patógenos, los niveles de coliformes totales y fecales evidencian la problemática que presenta la quebrada a partir del punto de muestreo 1, con valores que superan los niveles reglamentados para aguas a ser destinadas al consumo humano con previo tratamiento convencional, lo cual incide directamente en el nivel de riesgo agudo presente en sus aguas, aspecto que es determinante en el suministro de agua segura a la población y hace prioritario su control en los sistemas de tratamiento de agua abastecidos por la fuente.

7.6.1.12 *Escherichia coli*

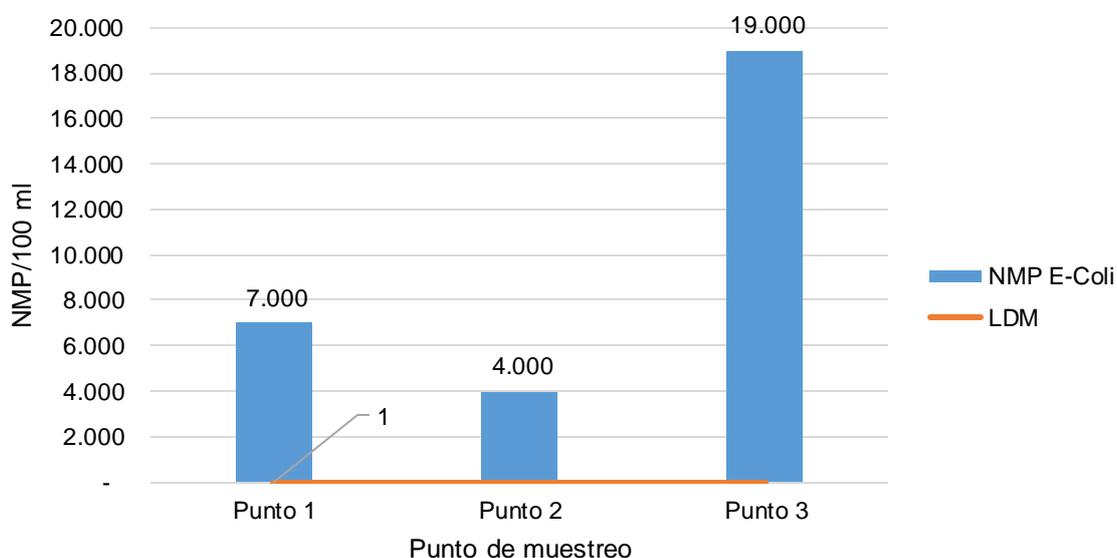


Figura 42. E coli

De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano y su valor máximo aceptable es 0 Unidad Formadora de Colonia/100 cm³. La Figura 42 permite visualizar que en todos los puntos hay presencia de material fecal, siendo de mayor cantidad en el punto 3 y teniendo en cuenta que ninguna muestra de agua para consumo humano puede contener *E-coli* se concluye que el agua de la quebrada no es apta para consumo humano.

7.6.1.13 Oxígeno Disuelto (OD)

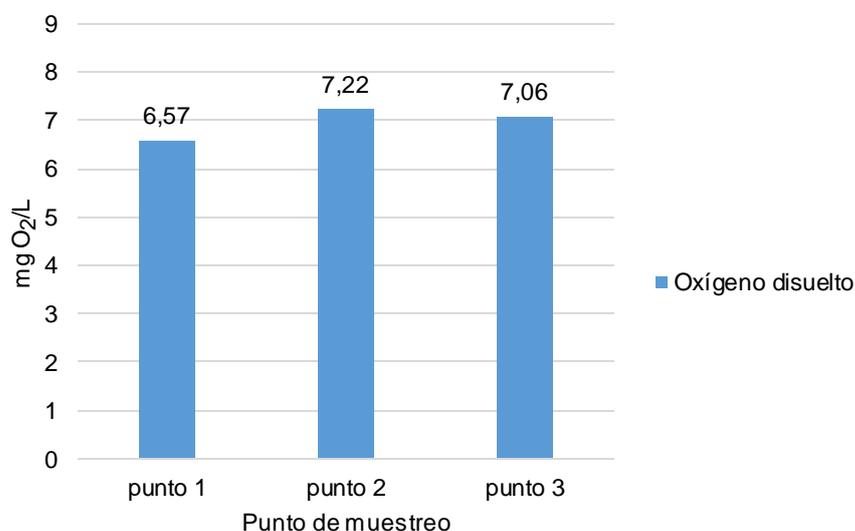


Figura 43. Oxígeno disuelto

En el punto de muestreo 1 el laboratorio reporta una concentración 6,57 mg O₂ / L esto se debe a que la corriente presenta un flujo uniforme sin turbulencias y no presenta caídas que ayuden a aumentar el OD; para el punto 2 se presenta un aumento de este parámetro alcanzando los 7.22 mg O₂ /L esto se debe a que entre dos puntos se presentan caídas de aguas y alimentación de la corriente principal por afluentes de agua aparentemente con mejores condiciones. Aunque entre dos puntos haya descarga de aguas residuales y disposición de residuos sólidos esto factores naturales contribuyen a la reoxigenación del agua.

Entre el punto 2 y 3 se presenta la mayor cantidad de descargas de agua residual y se pensaría que la cantidad de oxígeno disuelto disminuiría notablemente pero no sucede esto, presentando una concentración de 7.06 mg O₂ /L debido a la turbulencia que tiene el agua en algunos puntos, además por las caídas en las cascadas y en la bocatoma como se observa en la Figura 44 y Figura 45.



Figura 44. Cascada



Figura 45. Bocatoma

7.6.1.14 Fósforo Total (P)

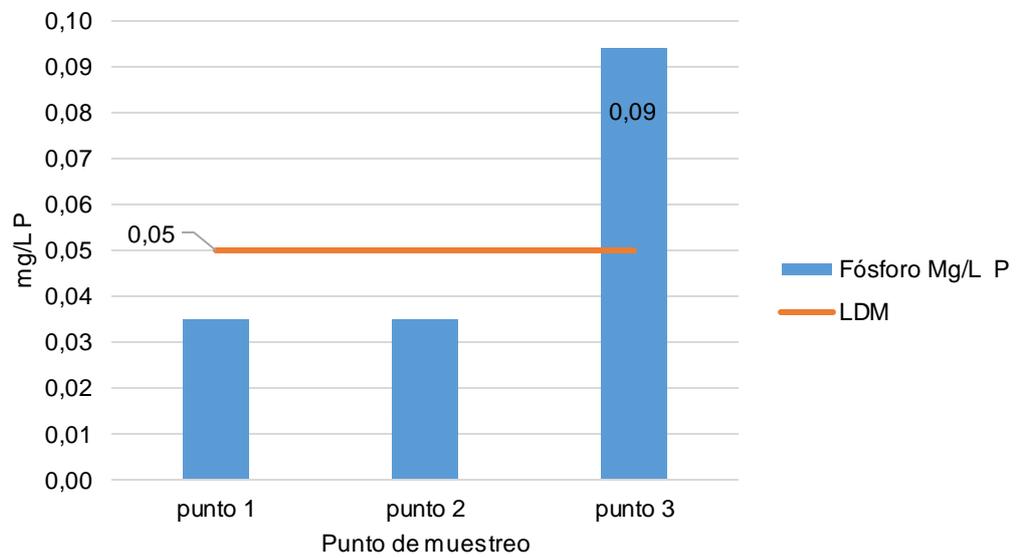


Figura 46. Fósforo Total

El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo. Es importante señalar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras (eutrofización).

7.6.1.15 Nitrógeno Total (N)

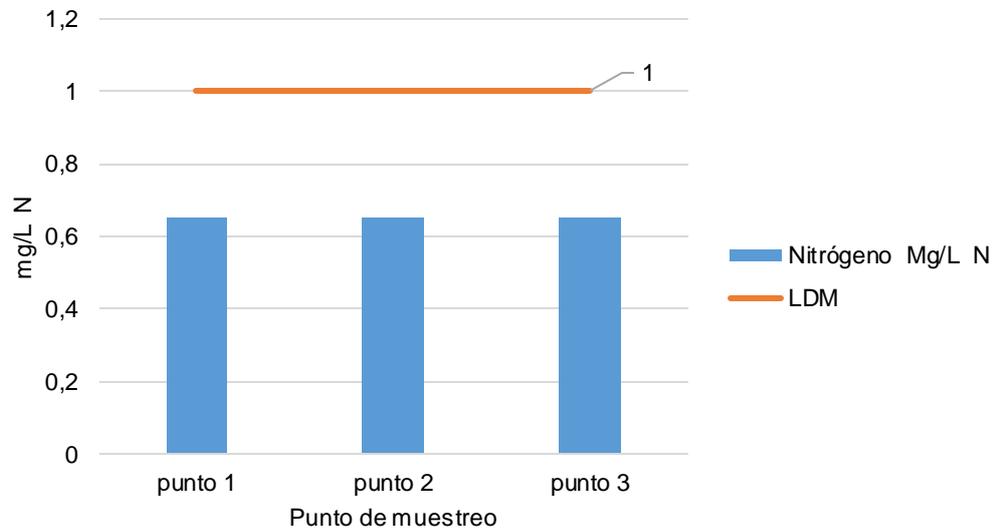


Figura 47. Nitrógeno Total.

El nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos. Si el agua residual no contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones (52).

7.6.2 Índice de la calidad del agua ICA

Los índices de calidad de agua – ICA- son herramientas de diagnóstico rápidas y representativas. Garantizan una evaluación integral del recurso, fundamental en la toma de acciones para manejo y control del riesgo sanitario a través procesos de potabilización (53).

7.6.2.1 Finalidad o Propósito del ICA

El indicador refleja las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de una corriente de agua y en alguna medida permite reconocer problemas de contaminación de manera ágil en un punto determinado en un intervalo de tiempo específico. Permite conceptuar respecto a las posibilidades o limitaciones del uso del agua para determinadas actividades. Su formulación permite evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica (54).

Cuadro 9. Clasificación de la calidad del recurso hídrico según IDEAM

Clasificación de la calidad del recurso hídrico	Rango numérico de valores	Color
Buena	0.91 - 1.00	Azul
Aceptable	0.71 - 0.90	Verde
Regular	0.51 - 0.70	Amarillo
Mala	0.26 - 0.50	Naranja
Muy mala	0.00 - 0.25	Rojo

Cálculo del Índice de Calidad de Agua superficiales

En este apartado se presentará el desarrollo del cálculo de subíndices de los parámetros por cada punto de muestreo, para posteriormente calcular el ICA por punto y por ultimo encontrar el valor del ICA promedio.

A continuación, se desarrollarán los cálculos de los subíndices de los parámetros en el punto 1 para luego hallar el ICA para este punto:

Índice de Calidad de Agua para el punto 1

- **Oxígeno Disuelto del punto 1 (OD₁):**

Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} con la siguiente formula:

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{Cp}$$

Cp se hallará con la siguiente formula:

$$Cp = C^* \times P \left[\frac{\left(1 - \frac{Pw}{P}\right) * (1 - \theta P)}{(1 - Pw) * (1 - \theta)} \right]$$

C^* se hallará mediante:

$$\ln C^*: -139.3441 + (157570.1/TE) - (66423080/TE^2) + (12438000000/TE^3) - (862194900000/TE^4).$$

Con

- TE: Temperatura (°K)
- TE: T+273.15=285.15

Siendo T: 12 °C para todos los puntos de muestreo, por lo que,

TE: T+273.15=285.15.

Entonces:

$$\ln C^* = -139.3441 + (157570.1/285.15) - (66423080/285.15^2) + (12438000000/285.15^3) - (862194900000/285.15^4).$$

$$\ln C^* = -139.3441 + (157570.1/285.15) - (66423080/81310.5225) + (12438000000/23185695.490875) - (862194900000/6611401069.223006).$$

$$\ln C^* = -139.3441 + (552.5867) - (816.9063) + (536.4514) - (130.4103).$$

$$\ln C^* = 2.3774$$

$$C^* = e^{C^*}$$

$$\text{Entonces } C^* = e^{2.3774}$$

$$C^* = 10.77$$

Para condiciones no estándar de presión:

$$P = 1.001626 e^{-0.00012125A}$$

A: Altitud: 2552m

$$P = 1.001626 e^{-0.00012125(2552)}$$

$$P = 1.001626 e^{-0.30943}$$

$$P = 1.001626 / e^{0.30943}$$

$$P = 1.001626 / 1.362648$$

$$P = 0.43$$

La presión parcial de vapor de agua:

$$\ln(P_w) = 11.8571 - (3840.7/TE) - (216961/TE^2)$$

$$= 11.8571 - (3840.7/285.15) - (216961/285.15^2)$$

$$= 11.8571 - (3840.7/285.15) - (216961/81310.5225)$$

$$= 11.8571 - 13.4690 - 0.2668$$

$$= -1.8787$$

$$\text{Entonces } P_w = e^{P_w}$$

$$P_w = e^{-1.8787}$$

$$P_w = 1/e^{1.8787}$$

$$P_w = 0.15$$

El factor de corrección de temperatura:

$$\Theta: 0,000975-0.00001426T+0.0000000643T^2$$

$$\Theta: 0,000975-0.00001426 (285.15) +0.0000000643 (285.15)^2$$

$$\Theta: 0,000975-0.00001426 (285.15) +0.0000000643 (813110.5225)$$

$$\Theta: 0,000975-0.004066 +0.052283$$

$$\Theta: 0.049192$$

$$\begin{aligned} \text{Entonces } C_p &= C^* \times P \left[\frac{(1-\frac{P_w}{P}) * (1-\Theta P)}{(1-P_w) * (1-\Theta)} \right] \\ &= 10.77 \times 0.43 \left[\frac{(1-\frac{0.15}{0.43}) * (1-0.04 * 0.43)}{(1-0.15) * (1-0.04)} \right] \\ &= 10.77 \times 0.43 \left[\frac{(1-0.34) * (1-0.01)}{(1-0.15) * (1-0.04)} \right] \\ &= 10.77 \times 0.43 \left[\frac{(0.66) * (0.99)}{(0.85) * (0.96)} \right] \\ &= 10.77 \times 0.43 \left(\frac{0.65}{0.81} \right) \\ &= 10.77 \times 0.43 (0.80) \\ &= 10.77 \times 0.34 \\ C_p &= 3.72 \end{aligned}$$

Como para el punto 1 Ox: 6,57, entonces:

$$PS_{OD} = \frac{6.57 * 100}{3.72}$$

$$PS_{OD} = 176.6\%$$

Como el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%, entonces:

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * PS_{OD} - 1)$$

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * 176,6 - 1)$$

$$I_{OD} = 1 - (1,75)$$

$$I_{OD} = -0,75$$

$$W_{OD} \times I_{OD1} = 0,17 \times (-0,75) = -0,12$$

- **Sólidos Suspendidos Totales del punto 1 (SST₁):**

El parámetro en este punto está por debajo del Límite de Detención del Método (<LDM) del Laboratorio, pero como el LDM es de 2,63, permite deducir el I_{SST1} por la siguiente condición, que si $SST1 \leq 4,5$, entonces $I_{SST1} = 1$.

$$W_{SST} \times I_{SST1} = 0,17 \times 1 = 0,17$$

- **Demanda Química de Oxígeno del punto 1 (DQO₁):**

La DQO₁ = 8,59

Como el DQO₁ ≤ 20, entonces $I_{DQO1} = 0,91$

$$W_{DQO} \times I_{DQO1} = 0,17 \times 0,91 = 0,155$$

- **Conductividad Eléctrica del punto 1 (C. E1):**

La C. E1 = 86,9.

$$I_{C.E.1} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E.)}$$

$$I_{C.E.1} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} (86,9))}$$

$$I_{C.E.1} = 1 - 10^{(-3,26 + 2,6)}$$

$$I_{C.E.1} = 1 - 10^{(-0,66)}$$

$$I_{C.E.1} = 1 - 0.21$$

$$I_{C.E.1} = 0.79$$

$$W_{C.E.} \times I_{C.E.1} = 0,17 \times 0.79 = 0.14$$

- **pH del punto 1 (pH₁):**

El pH₁ = 7,222

Como el $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH1} = 1$

$$W_{pH} \times I_{pH1} = 0,15 \times 1 = 0,15$$

- **Nitrógeno Total/Fósforo Total del punto 1 (NT/PT₁)**

Teniendo en cuenta que el NT₁ < Limite de Detención del Método (LDM) y el LDM para el NT es 1,00, supondremos que NT₁ = 0.9

Teniendo en cuenta que el PT₁ < LDM Y el LDM para el PT es 0,050, supondremos que PT = 0.040

Entonces la relación $NT/PT = 0.9/0.040 = 22.5$

Como la relación $NT/PT > 20$, entonces $I_{NT/PT} = 0,15$

$$W_{NT/PT} \times I_{NT/PT} = 0,17 \times 0,15 = 0.026$$

$$ICA_1 = \left(\sum_{i=1}^6 W_i * I_{kjtI} \right)$$

$$ICA_1 = (W_{OD} \times I_{OD1}) + (W_{SST} \times I_{SST1}) + (W_{DQO} \times I_{DQO1}) + (W_{C.E.} \times I_{C.E.1}) + (W_{pH} \times I_{pH1}) + (W_{NT/PT} \times I_{NT/PT.1})$$

$$= (-0.12) + (0,17) + (0.15) + (0.14) + (0,15) + (0.026)$$

$$ICA_1 = 0.52$$

Índice de Calidad de Agua para el punto 2

- **Oxígeno Disuelto del punto 2 (OD₂):**

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} para el punto 2:

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{Cp}$$

$$Cp = C^* \times P \left[\frac{(1 - \frac{Pw}{P}) * (1 - \theta P)}{(1 - Pw) * (1 - \theta)} \right]$$

$$\ln C^*: -139.3441 + (157570.1/TE) - (66423080/TE^2) + (12438000000/TE^3) - (862194900000/TE^4).$$

Con

- TE: 12+273.15=285.15

Entonces:

$$\ln C^*: -139.3441 + (157570.1/285.15) - (66423080/285.15^2) + (12438000000/285.15^3) - (862194900000/285.15^4).$$

$$\ln C^*: -139.3441 + (157570.1/285.15) - (66423080/81310.5225) + (12438000000/23185695.490875) - (862194900000/6611401069.223006).$$

$$\ln C^*: -139.3441 + (552.5867) - (816.9063) + (536.4514) - (130.4103).$$

$$\ln C^*: 2.3774$$

$$C^* = e^{C^*}$$

$$\text{Entonces } C^* = e^{2.3774}$$

$$C^* = 10.77$$

Para condiciones no estándar de presión:

$$P=1.001626 e^{-0.00012125A}$$

$$A= 2540m$$

$$P=1.001626 e^{-0.00012125(2450)}$$

$$P=1.001626 e^{-0.2970625}$$

$$P=1.001626/e^{0.2970625}$$

$$P=1.001626/e^{0.2970625}$$

$$P=0.74$$

La presión parcial de vapor de agua:

$$\ln(P_w)=11.8571-(3840,7/TE) -(216961/TE^2)$$

$$=11.8571-(3840,7/285.15) -(216961/285.15^2)$$

$$=11.8571-(3840,7/285.15) -(216961/813110.5225)$$

$$=11.8571-13.4690 -0.2668$$

$$= -1.8787$$

$$\text{Entonces } P_w = e^{P_w}$$

$$P_w = e^{-1.8787}$$

$$P_w = 1/e^{1.8787}$$

$$P_w = 0.15$$

El factor de corrección de temperatura:

$$\Theta: 0,000975-0.00001426T+0.0000000643T^2$$

$$\Theta: 0,000975-0.00001426 (285.15) +0.0000000643 (285.15)^2$$

$$\Theta: 0,000975-0.00001426 (285.15) +0.0000000643 (813110.5225)$$

$$\Theta: 0,000975-0.004066 +0.052283$$

$$\Theta: 0.049192$$

$$\text{Entonces } C_p = C^* \times P \left[\frac{\left(1 - \frac{P_w}{P}\right) * (1 - \Theta P)}{(1 - P_w) * (1 - \Theta)} \right]$$

$$= 10.77 \times 0.74 \left[\frac{\left(1 - \frac{0.15}{0.74}\right) * (1 - 0.04 * 0.74)}{(1 - 0.15) * (1 - 0.04)} \right]$$

$$= 10.77 \times 0.74 \left[\frac{(1 - 0.20) * (1 - 0.02)}{(1 - 0.15) * (1 - 0.04)} \right]$$

$$= 10.77 \times 0.74 \left[\frac{(0.8) * (0.98)}{(0.85) * (0.96)} \right]$$

$$= 10.77 \times 0.74 \left(\frac{0.78}{0.81} \right)$$

$$= 10.77 \times 0.74 (0.96)$$

$$= 10.77 \times 0.71$$

$$Cp = 7.71$$

Como para el punto 2 Ox: 7.22, entonces:

$$PS_{OD} = \frac{7.22 * 100}{7.71}$$

$$PS_{OD} = 93.64\%$$

Por lo tanto, el $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 93.64)$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.9364)$$

$$I_{OD} = 1 - (0.06)$$

$$I_{OD} = 0.94$$

Luego, el $W_{OD} \times I_{OD} = 0.17 \times (-0.94) = -0.16$

- **Sólidos Suspendidos Totales del punto 2 (SST₂):**

Los SST₂: 2,67

Entonces $I_{SST2} = 1 - (-0.02 + 0.003 * 2,67)$

$$I_{SST2} = 1 - (-0,02 + 0,00801)$$

$$= 1 - (-0,01199)$$

$$= 1 + 0,01199$$

$$I_{SST2} = 1,01199$$

$$W_{SST} \times I_{SST2} = 0,17 \times 1,01199 = 0,17$$

- **Demanda Química de Oxígeno del punto 2 (DQO₂)**

La DQO₂ = 11,8

Como el DQO₂ ≤ 20, entonces $I_{DQO2} = 0,91$

$$W_{DQO} \times I_{DQO2} = 0,17 \times 0,91 = 0,15$$

- **Conductividad Eléctrica del punto 2 (C.E.):**

La C.E.1 = 79,1

$$I_{C.E.2} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E.)}$$

$$I_{C.E.2} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} (79,1))}$$

$$I_{C.E.2} = 1 - 10^{(-3,26 + 2,54)}$$

$$I_{C.E.2} = 1 - 10^{(-0,72)}$$

$$I_{C.E.2} = 1 - 0,19$$

$$I_{C.E.2} = 0,81$$

$$W_{C.E.} \times I_{C.E.2} = 0,17 \times 0,81 = 0,13$$

- **pH del punto 2 (pH₂):**

El pH₂=7,235

Como el $7 < \text{pH}_2 \leq 8$, entonces $I_{\text{pH}1} = 1$

$$W_{\text{pH}} \times I_{\text{pH}2} = 0,15 \times 1 = 0,15$$

- **Nitrógeno Total/Fósforo Total del punto 2(NT/PT₂)**

Teniendo en cuenta que el NT₂<Limite de Detención del Método (LDM) y el LDM para el NT es 1,00, supondremos que NT₁= 0.95

Teniendo en cuenta que el PT₂<LDM Y el LDM para el PT es 0,050, supondremos que PT=0.045

Por lo tanto, la relación $NT/PT = 0.95/0.045 = 21.11$

Como $NT/PT > 20$, entonces $I_{NT/PT} = 0,15$

$$W_{NT/PT} \times I_{NT/PT.2} = 0,17 \times 0.15 = 0.02$$

$$ICA_2 = \left(\sum_{i=1}^6 W_i * I_{kjtI} \right)$$

$$ICA_2 = (-0.16) + (0.17) + (0.15) + (0.13) + (0.15) + (0.02)$$

$$ICA_2 = 0.46$$

Índice de Calidad de Agua para el punto 3

- Oxígeno Disuelto de punto 3 (OD₃)

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} para el punto 2:

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{Cp}$$

$$Cp = C^* \times P \left[\frac{(1 - \frac{Pw}{P}) * (1 - \theta P)}{(1 - Pw) * (1 - \theta)} \right]$$

Ln C*: $-139.3441 + (157570.1/TE) - (66423080/TE^2) + (12438000000/TE^3) - (862194900000/TE^4)$.

Con

- TE: $12 + 273.15 = 285.15$

Entonces:

Ln C*: $-139.3441 + (157570.1/285.15) - (66423080/285.15^2) + (12438000000/285.15^3) - (862194900000/285.15^4)$.

Ln C*: $-139.3441 + (157570.1/285.15) - (66423080/81310.5225) + (12438000000/23185695.490875) - (862194900000/6611401069.223006)$.

Ln C*: $-139.3441 + (552.5867) - (816.9063) + (536.4514) - (130.4103)$.

Ln C*: 2.3774

$$C^* = e^{C^*}$$

$$\text{Entonces } C^* = e^{2.3774}$$

$$C^* = 10.77$$

Para condiciones no estándar de presión:

$$P = 1.001626 e^{-0.00012125A}$$

$$A = 2521m$$

$$P = 1.001626 e^{-0.00012125(2521)}$$

$$P = 1.001626 e^{-0.30567125}$$

$$P = 1.001626 / e^{0.30567125}$$

$$P = 0.74$$

La presión parcial de vapor de agua:

$$\begin{aligned}\ln(P_w) &= 11.8571 - (3840,7/TE) - (216961/TE^2) \\ &= 11.8571 - (3840,7/285.15) - (216961/285.15^2) \\ &= 11.8571 - (3840,7/285.15) - (216961/813110.5225) \\ &= 11.8571 - 13.4690 - 0.2668 \\ &= -1.8787\end{aligned}$$

$$\text{Entonces } P_w = e^{P_w}$$

$$P_w = e^{-1.8787}$$

$$P_w = 1/e^{1.8787}$$

$$P_w = 0.15$$

El factor de corrección de temperatura:

$$\Theta: 0,000975 - 0.00001426T + 0.0000000643T^2$$

$$\Theta: 0,000975 - 0.00001426 (285.15) + 0.0000000643 (285.15)^2$$

$$\Theta: 0,000975 - 0.00001426 (285.15) + 0.0000000643 (813110.5225)$$

$$\Theta: 0,000975 - 0.004066 + 0.052283$$

$$\Theta: 0.049192$$

Como para el punto 3 Ox: 7.06, entonces:

$$PS_{OD} = \frac{7.06 * 100}{7.71}$$

$$PS_{OD} = 91.5\%$$

Por lo tanto, el $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 91.5)$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,91)$$

$$I_{OD} = 1 - (0.09)$$

$$I_{OD} = 0.91$$

Luego, el $W_{OD} \times I_{OD1} = 0,17 \times (-0.91) = -0.15$

- **Sólidos Suspendidos Totales del punto 3 (SST₃):**

Los SST₃: 16,7

$$\text{Entonces } I_{SST3} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 16,7)$$

$$I_{SST3} = 1 - (-0,02 + 0,0501)$$

$$= 1 - (0,0301)$$

$$I_{SST3} = 0,97$$

$$W_{SST} \times I_{SST3} = 0,17 \times 0,97 = 0,16$$

- **Demanda Química de Oxígeno del punto 3 (DQO₃):**

La DQO₃ = 39,2

$$25 < DQO3 \leq 40, \text{ entonces } I_{DQO3} = 0,51$$

$$W_{DQO} \times I_{DQO3} = 0,17 \times 0,51 = 0,08$$

- **Conductividad Eléctrica del punto 3 (C.E₃):**

La C.E₃ = 86.4

$$I_{C.E.2} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E.)}$$

$$I_{C.E.2} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} (86,4))}$$

$$I_{C.E.3} = 1 - 10^{(-3,26 + 2,59)}$$

$$I_{C.E.3} = 1 - 10^{(-0,66)}$$

$$I_{C.E.3} = 1 - 0,21$$

$$I_{C.E.3} = 0,79$$

$$W_{C.E} \times I_{C.E.2} = 0,17 \times 0,79 = 0,13$$

- **pH del punto 3 (pH₃):**

El pH₃ = 7,368

Como el $7 < pH3 \leq 8$, entonces $I_{pH3} = 1$

$$W_{pH} \times I_{pH3} = 0,15 \times 1 = 0,15$$

- **Nitrógeno Total/Fósforo Total del punto 3 (NT/PT₃)**

Teniendo en cuenta que el $NT1 < \text{Limite de Detención del Método (LDM)}$ y el LDM para el NT es 1,00, supondremos que $NT1 = 0.94$

El $PT3 = 0.094$

Por lo tanto, la relación $NT / PT = 0.94 / 0.094 = 10$

Como $5 < NT / PT \leq 10$, entonces $I_{NT/PT} = 0,35$

$$W_{NT/PT} \times I_{NT/PT.3} = 0,17 \times 0,35 = 0.05$$

$$ICA_3 = (\sum_{i=1}^6 W_i * I_{kjtI})$$

$$ICA_3 = (-0.15) + (0.16) + (0.08) + (0.13) + (0.15) + (0.05)$$

$$ICA_3 = 0.42$$

En el Cuadro 10 se puede observar el Índice de Calidad del Agua de la quebrada Santa Elena de acuerdo a los rangos de calificación de la metodología para el cálculo de éste dada por el IDEAM.

Para el punto 1 de muestreo, la calificación de su calidad es regular, con un valor de 0.52 dentro un rango establecido de 0.51 a 0.70, presentando un valor muy cercano al límite inferior (calidad mala). Los puntos 2 y 3 arrojan una calificación de "mala" con valores de 0.46 y 0.42 respectivamente, en un rango de 0.26 a 0.50.

Cuadro 10. Resumen de los resultados del ICA por punto de muestreo según IDEAM

Punto de Muestreo	Resultado del ICA	Calificación de Calidad
Punto de muestreo 1	0,52	Regular
Punto de muestreo 2	0,46	Mala
Punto de muestreo 3	0,42	Mala

Índice de Calidad de Agua promedio de los 3 puntos

$$ICA_{promedio} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n Wi * IkjtI)}{m}$$

Donde:

m Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. **m=3**

$$ICA_{promedio} = \frac{\sum_{k=1}^3 (\sum_{i=1}^n Wi * IkjtI)}{3}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^3 (\sum_{i=1}^n Wi * IkjtI) &= ICA_1 + ICA_2 + ICA_3 \\ &= 0.52 + 0.46 + 0.42 \\ &= 1.4 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el $ICA_{promedio} = \frac{1.4}{3} = 0.46$

La quebrada Santa Elena Presenta una calificación ICA en promedio para los tres puntos de 0.46, estando en la categoría de "Mala" (Ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Calificación Ica Promedio

ICA Promedio quebrada Santa Elena	Resultado del ICA	Calificación de Calidad
	0,46	Mala

7.6.3 Clasificación RAS - 2000

Clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico- químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado (RAS - 2000).

Según la resolución 1096 de 2000 (Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento básico) en su título C. 2.3 “*calidad de la fuente y grado de tratamiento*” (39) define rango de valores para determinadas características del agua y les da una clasificación cualitativa, la cual puede ser aceptable, regular, deficiente y muy deficiente.

En la Tabla 15 se presenta la clasificación del RAS - 2000 en su título C. 2.3 de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico químicos y microbiológicos.

Tabla 15. Nivel de calidad de la fuente de agua superficial (RAS 2000)

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L-F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7

A continuación se analizan los resultados de los parámetros medidos en cada punto de muestreo de acuerdo al nivel de calidad de la fuente de agua superficial de la Tabla 15.

7.6.3.1 Parámetros comparados con el Título C 2.3 RAS 2000

- **Comparativo DBO₅ vs RAS – 2000**

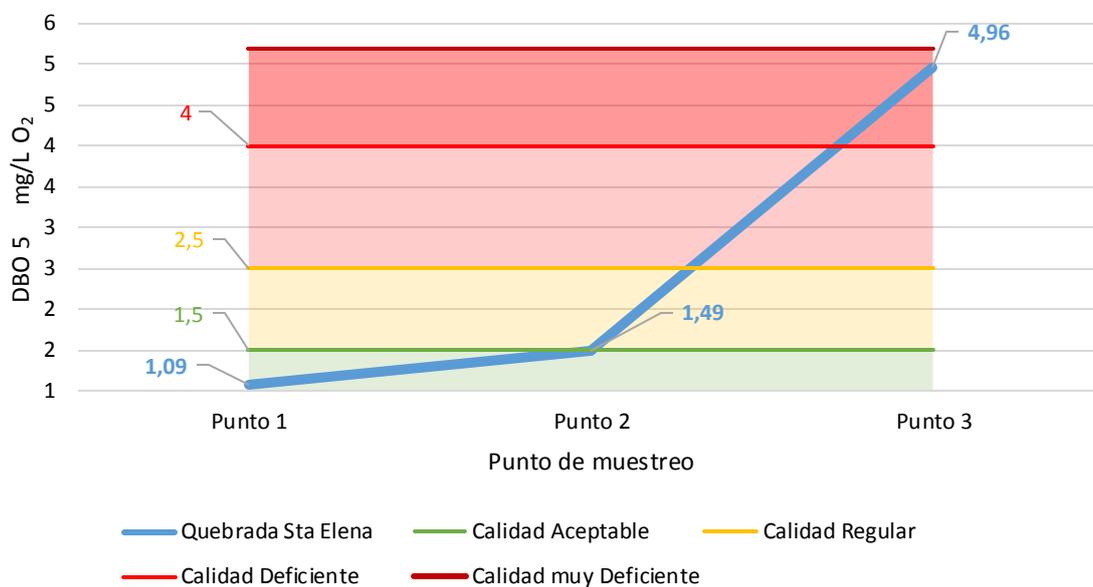


Figura 48. Comparativo DBO₅ vs RAS - 2000

En la Figura 48 se presenta el comportamiento del DBO₅ en los puntos de muestreo establecidos. Se observa que de acuerdo al nivel de calidad de la fuente de agua superficial la calidad de agua del punto 1 es aceptable mientras que en el punto 3 es deficiente. Evidenciando un deterioro creciente de la calidad del recurso hídrico por los diferentes vertimientos que llegan a la quebrada.

- **Comparativo Coliformes Totales vs RAS – 2000**

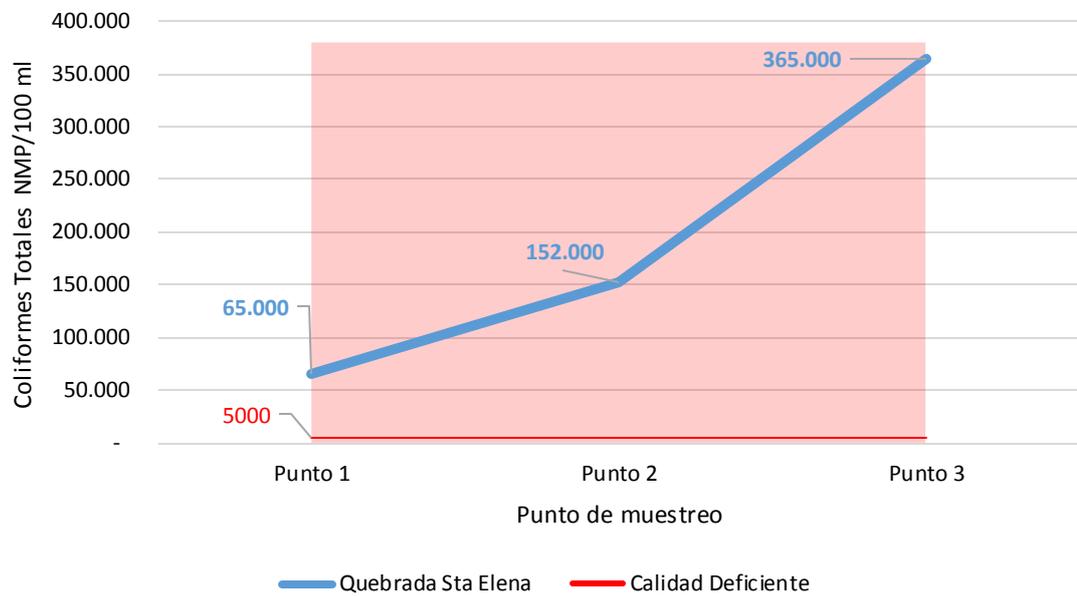


Figura 49. Comparativo Coliformes Totales vs RAS - 2000

La Figura 49 muestra el comportamiento de los Coliformes Totales en los puntos de muestreo. Se analiza que en todos los puntos la calidad del agua es deficiente de acuerdo al nivel de calidad de la fuente de agua superficial.

- **Potencial de Hidrógeno pH vs RAS 2000**

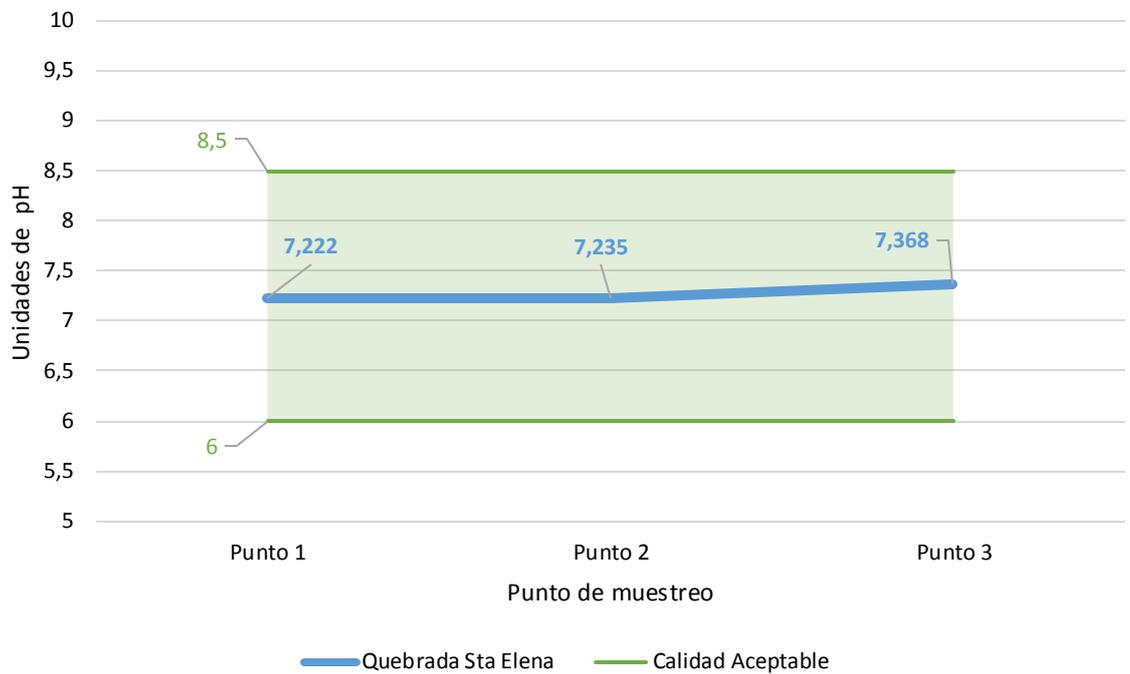


Figura 50. Comparativo pH vs RAS – 2000

La muestra el comportamiento del Potencial de Hidrogeno (pH) en los puntos de muestreo. Se evidencia que en todos los puntos el pH del agua es aceptable.

- **Turbiedad vs RAS 2000**

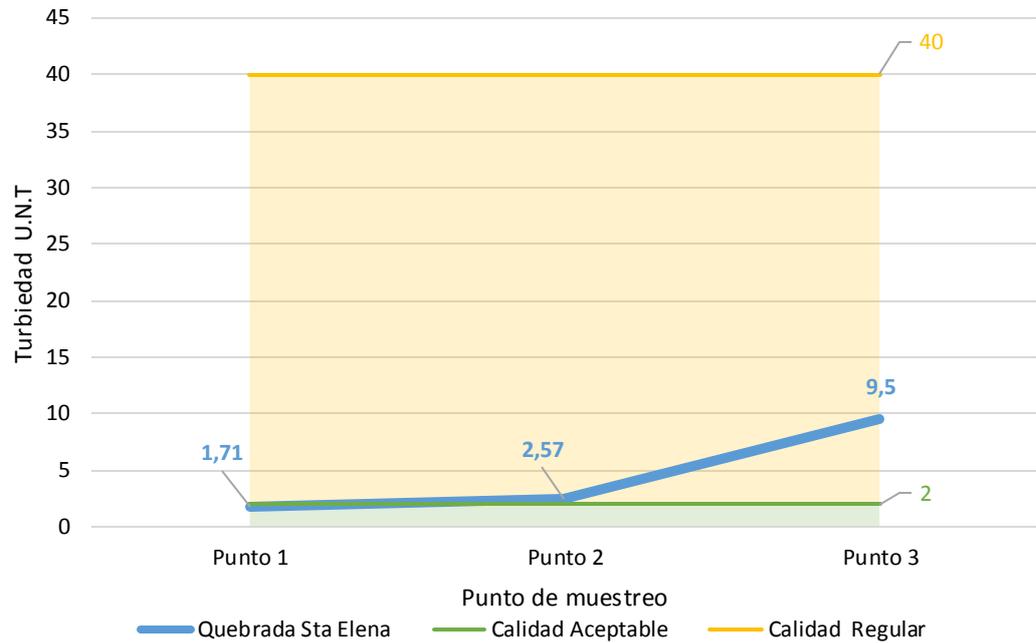


Figura 51. Comparativo Unidades nefelométricas de turbiedad vs RAS - 2000

La Figura 51 muestra el comportamiento de Turbiedad de la quebrada en los puntos de muestreo establecidos. Se observa que la calidad de la quebrada comparada con el nivel de calidad de la fuente de agua superficial es aceptable, ya que en el punto 1 presenta una calidad de agua aceptable, mientras que en los puntos 2 y 3 su calidad es regular.

- **Unidades de color vs RAS 2000**

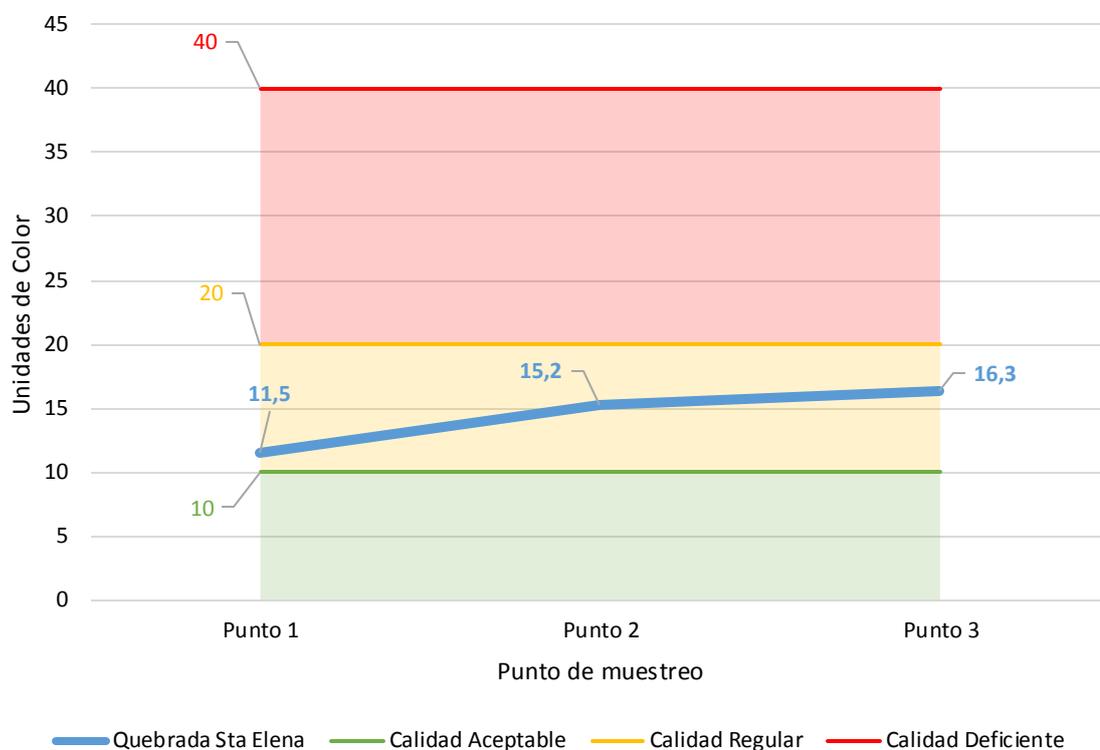


Figura 52. Comparativo Unidades de Color vs RAS - 2000

La Figura 52 indica el comportamiento de las Unidades de Color de los puntos de muestreo establecidos. Se observa que la quebrada presenta calidad de agua regular en todos los puntos siendo más notoria en el punto 3.

7.7 Propuestas para el proyecto

Para el caso del estudio, es fundamental partir del concepto de gestión ambiental, como el conjunto de acciones conducentes al manejo integral del sistema ambiental. Dicho de otro modo, es la estrategia mediante la cual se organizan las actividades antrópicas que afectan al medio ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales.

La gestión ambiental realiza las acciones para conseguir un equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos, protección y conservación del ambiente, además de las directrices, lineamientos y políticas formuladas desde los entes rectores, que terminan mediando la implementación (55).

Luego del diagnóstico realizado en el territorio con la caracterización de la calidad del agua de la quebrada e identificación de las principales descargas con carga contaminante y demás problemas encontrados a nivel ambiental, se propone como líneas estratégicas del proyecto de saneamiento tres grandes dimensiones, estas son: educativo, institucional e infraestructura.

7.7.1 Dimensión educativa

Desde la dimensión educativa se busca que las personas asentadas en el área de estudio aprendan aspectos básicos del saneamiento hídrico rural referentes al manejo y mantenimiento de los sistemas de pre tratamiento, (pozos y/o tanques sépticos) y sistemas de tratamiento de agua residual (zanjas y campos de infiltración, filtros), donde se destaque la función que cumplen estos sistemas y la importancia que tienen a la hora de disminuir la carga contaminante vertida a la quebrada y el impacto negativo generado en el medio ambiente por su mal funcionamiento y/o mala operación.

Adicional a esta campaña, es pertinente reforzar en la comunidad aspectos relacionados sobre la correcta disposición de los residuos sólidos y separación en la fuente, esto con visitas a cada una de las viviendas.

La dimensión educativa se propone tomando como base las visitas de caracterización realizadas, donde se evidenció un desconocimiento general acerca de la disposición de las aguas residuales en cada uno de los inmuebles, de igual forma se observó residuos sólidos en la quebrada, como botellas plásticas, llantas, vidrios y restos de ropa.

Como base fundamental del componente educación es capacitar a las personas que viven cerca a la quebrada y desconocen las consecuencias que se generan con la disposición de desechos líquidos y sólidos.

7.7.1.1 Componentes de la dimensión educativa

A continuación se presenta los principales componentes que debe tener la dimensión educativa en la comunidad, para esto se toma como referente el manual “Operación y mantenimiento del sistema tanque séptico” (56) de Corantioquia (Ver Anexo 5).

Para que las personas tengan conocimientos se le compartirá dicho un manual y se realizarán capacitaciones mensuales en cada vivienda durante un año, dictadas por personal capacitado y con dominio del tema, para que las personas no solo conozcan la información sino que la entiendan, interioricen y la apliquen.

- **¿Qué es un pozo séptico?**

Es un contenedor hermético instalado bajo tierra habitualmente fabricado en concreto, pero que también puede ser de fibra de vidrio o polietileno

que sirve para retener las aguas negras el tiempo suficiente para iniciar un proceso bacteriano de descomposición de los sólidos retenidos. Habitualmente consta de dos cámaras. En la primera las materias sólidas se asientan al fondo formando lodo mientras que las grasas y aceites flotarán hacia la superficie (como espuma). Las cámaras y un desagüe en forma de "T" evitan que el lodo y las espumas se escapen hacia la cámara de drenaje. (57)

- **¿Cómo funciona?**

- En la primera cámara los materiales sólidos más pesados (materia fecal, sobras de comida, entre otros) van al fondo por sedimentación y los más livianos (grasas, grasas, aceites, entre otros) se quedan en la superficie del agua por flotación.
- 2. En la segunda cámara caen los residuos que no fueron retenidos en la primera cámara, dando inicio al proceso biológico.
- En la tercera cámara se retienen los residuos que no fueron retenidos en las cámaras uno y dos.

- **¿Por qué es importante el cuidado mi sistema séptico?**

- Cuando los sistemas sépticos están bien diseñados, construidos y mantenidos, con efectivos para reducir o eliminar casi todas las amenazas creadas por los contaminantes de las aguas negras del hogar para la salud humana y del medio ambiente. Se requiere sin embargo que estos sean mantenidos con regularidad o si no pueden averiarse. Los sistemas sépticos deben ser monitoreados periódicamente para asegurarse que estén trabajando apropiadamente.
- Se ahorra dinero, pues los sistemas que no funcionan adecuadamente son muy caros de reparar o reemplazar.

- Un sistema séptico defectuoso puede depreciar el valor de su propiedad, traerle molestias con sus vecinos e incluso traerle reclamos legales.
- **¿Cómo debo mantener mi pozo séptico?**
 - **Inspecciónelo.** Asegúrese de hacerlo inspeccionar por un profesional al menos cada tres años.
 - **Manténgalo.** Aplique periódicamente productos bacteriales que ayudarán a acelerar la descomposición de los sólidos orgánicos que biodegradados convertidos en agua evitarán obstrucciones y malos olores, facilitando la percolación hacia el subsuelo y dándole una vida larga a su sistema.
 - **Límpielo.** Previa inspección un pozo séptico podría necesitar bombearse cada 5 años o más, dependiendo del mantenimiento continuo que se le haya brindado.
- **¿Qué cosas no debes desechar por las tuberías?**
 - Hilo dental, productos higiénicos femeninos, preservativos, pañales, hisopos, colillas de cigarro, granos de café molido y otros artículos de baño o cocina que puedan atascar el sistema séptico.
 - Sustancias químicas caseras, ácido muriático, gasolina, aceite de automóvil, aguarrás, pinturas, colas, pues amenazan con destruir el tratamiento biológico del sistema y contaminar las aguas subterráneas que tomarán miles de años en purificar esos contaminantes.

- No use destapadores de drenaje cáustico para un desagüe atorado. Le va a afectar las cañerías y dañará la flora biológica de su sistema séptico. Use agua hirviendo o un tubo flexible para destapar tuberías.

7.7.1.2 instituciones educativas

Un pilar fundamental para la dimensión educativa es fortalecer el componente ambiental dentro de las instituciones educativas del corregimiento, tanto en la primaria como en secundaria, para generar en los estudiantes conciencia y cultura ambiental, empoderando a la comunidad frente al cuidado y preservación de los recursos naturales en el corregimiento de Santa Elena.

7.7.2 Dimensión Institucional

Institucionalmente se debe tener como base fundamental para el fortalecimiento de las condiciones de saneamiento de la quebrada lo establecido en la normatividad colombiana (ley 715/2001) sobre destinación y participación de los recursos en general que incluye los recursos para agua potable y saneamiento básico, que se denominará participación para propósito general. Es por esto que los entes gubernamentales, institucionales deberán realizar programas, proyectos y actividades que den cumplimiento a dicha normatividad, lo harán así:

7.7.2.1 Corantioquia

- Implementar estrategias que sirvan para el cumplimiento de la normatividad establecida para el cuidado, protección manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas nacionales.
- Administrar, ejecutar, operar y mantener en coordinación con las entidades territoriales, proyectos de infraestructura cuya realización sea necesaria para la defensa y protección de las fuentes hídricas en el ente territorial y que

ayuden a la descontaminación o recuperación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

- Vigilar y controlar de manera constante las condiciones ambientales y sanitarias en las que se encuentra la quebrada.
- Seguimiento y control de los sistemas de pre tratamiento y tratamiento de las aguas residuales domesticas con el fin de evitar así que sean generados vertimientos a la quebrada.

7.7.2.2 Alcaldía de Medellín

- Implementar estrategias y acciones de gestión del recurso hídrico, bajo criterios de sostenibilidad rural y urbano, promoviendo y viabilizando la conservación de áreas estratégicas calidad y regulación del recurso.
- Apoyar con la elaboración de planes regionales y en la ejecución de programas, proyectos y acciones necesarias para la conservación de los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones ambientales.
- La Corporación Autónoma Regional y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Medellín deben gestionar apoyo para infraestructura en el corregimiento (creación de sistemas de pre tratamiento y tratamiento de agua residuales domésticas) y educación en el área donde fue realizado el estudio.
- Implementar estrategias orientadas al cumplimiento de la legislación ambiental por parte de los habitantes de la zona donde fue realizado el estudio.

- Realizar un programa de incentivos en relación al cuidado, protección y descontaminación de la quebrada, generando conciencia en las personas a través de premio retributivo por cuidar un recurso natural.

7.7.2.3 Área Metropolitana

- Planificar las condiciones ambientales del territorio bajo su jurisdicción, es decir que todas las cuencas que cubra el área metropolitana.
- Ser autoridad ambiental en la zona rural y urbana de los municipios que la conforman mediante información continua a la población del territorio donde ejerce su autoridad.
- Ejecutar obras de interés metropolitano, tales como obras de saneamiento básico y alcantarillado, así como obras educativas sobre disposición de residuos sólidos, disposición de excretas y cuidado de la quebrada en general.
- Implementar proyecto de control de riesgo en la quebradas pertenecientes al territorio metropolitano, teniendo en cuenta que se debe trabajar en el control, seguimiento y monitoreo para lograr el éxito del proyecto.

7.7.3 Infraestructura

Tomando como referente la **Tabla 16**, elaborada a partir de la caracterización realizada a la quebrada durante los recorridos en el área de estudio, se encuentran dos grandes causales de contaminación a la quebrada, estas son las 31 descargas de agua residual domésticas sin sólidos y 2 descargas de agua residual industrial sin sólidos, teniendo 17 de éstas ubicadas en la margen nor-oriental y 16 en la margen sur-occidental.

Tabla 16. Puntos de interés según margen.

Tipo	Margen		Total
	Nor-oriental	Sur-occidental	
	Afluyente	2	
Afluyente combinada	2	1	3
Agua residual domestica sin sólidos	16	15	31
Agua residual industrial sin sólidos	1	1	2
Aguas combinadas	5	0	5
Aguas lluvias	5	2	7
Captación Industrial	0	1	1
Captación domestica	1	0	1
Total	32	24	56

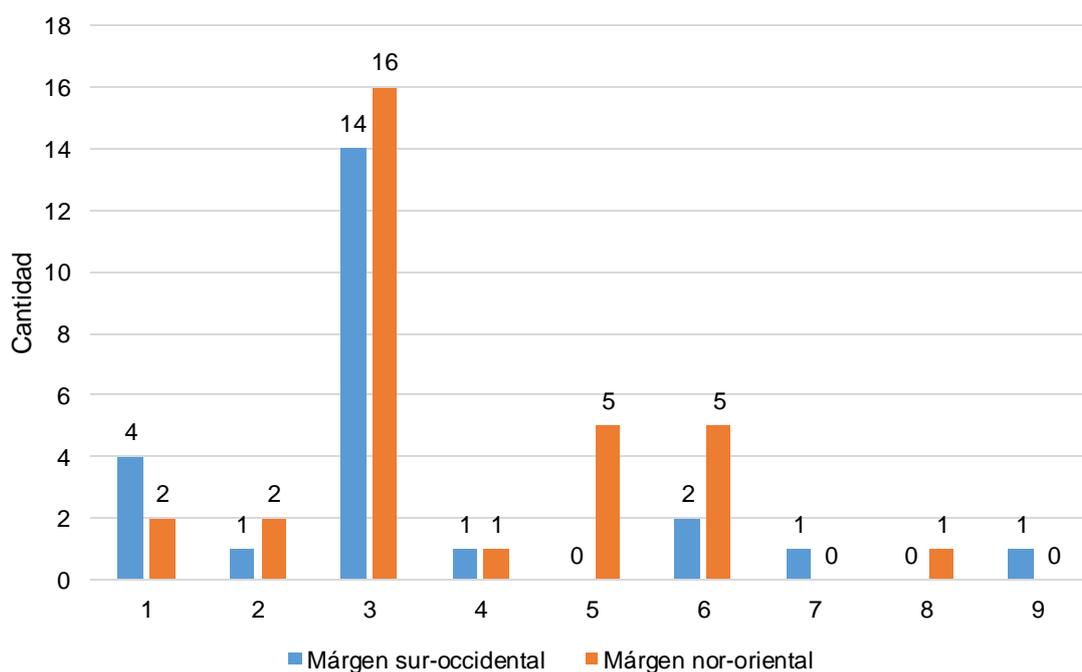


Figura 53. Puntos de interés en la quebrada según margen.

Para las 16 descargas encontradas en la margen sur-occidental se debe ejecutar la construcción y/o reparación de sistemas de pre tratamiento y tratamiento en cada una de las viviendas, los diseños varían de acuerdo a la infraestructura instalada, el número de personas que la habitan y el área de los lotes.

Para las 17 descargas encontradas al margen Nor-oriental se debe contemplar la alternativa de instalación de sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos.

- **Captación del acueducto multiveredal Santa Elena**

La bocatoma ubicada a 1,6 Km del punto 1 de muestreo surte de agua al acueducto de la parte central del corregimiento, este se alimenta con un caudal de 17,14 L/s después de haber recibido descargas de agua residual, aspecto preocupante, ya que la calidad del agua bombeada no es óptima, como se pudo observar y a pesar de los tratamientos que se realizan en el acueducto, la población no está exenta de una eventualidad en que se les pueda surtir agua no apta, esto se puede evidenciar con el IRCA del acueducto, el cual presenta riesgo medio y bajo para la calidad de agua entregada en algunos meses, siendo agua no apta para el consumo humano. Ver Cuadro 14 (página 184.).

Dado lo anterior y la afectación que se le hace al recurso agua como tal, es imprescindible ejecutar la dimensión de infraestructura, pues las casas situadas a sus orillas vierten agua residual proveniente de pozos sépticos o con descarga directa, por lo que se propone dentro de este componente que las instituciones responsables realicen proyectos de infraestructura para el saneamiento hídrico rural, y de esta forma las aguas residuales no sean dispuestas de forma incorrecta afectando el recurso y la salud de la población.

La construcción de sistemas de tratamiento de agua residual debe ser realizado en aquellas viviendas que carezcan de estos, o los tengan en malas condiciones

y se justifique su reemplazo. También se debe realizar reparación de los sistemas que se encuentren en funcionamiento, pero requieran mantenimiento.

En la Figura 54, se observa la ubicación en el sistema de información geográfico los lugares sugeridos para la instalación de sistemas de tratamiento “in situ” completos, es decir con los sistemas de pre tratamiento (trampas de grasa y pozos sépticos) y de tratamiento (FAFA, pozos de absorción, campos de infiltración) según la necesidad.



Figura 54. Lugares sugeridos para la instalación de sistemas de tratamiento “in situ”
Fuente: Google Earth.

7.7.3.1 Margen sur-occidental

Las viviendas ubicadas en la margen sur-occidental de la quebrada cuentan con terrenos más grandes que las que están en la margen nor-oriental, dado que ésta última es una franja que no supera los 10 metros de ancho entre la carretera principal y la quebrada, en algunas ocasiones es de menos de 5 metros, por lo que se ven las viviendas invadiendo un poco del espacio de la quebrada con la construcción de columnas que las sostienen.

La red de alcantarillado pasa sobre la carretera, por lo que las viviendas que tienen cobertura de éste son las que están a la margen nor-oriental, pero se observa algo, y es que no hay cobertura de todas las viviendas, 15 viviendas ubicadas en esta franja presentan descargas a la quebrada por no tener cobertura o instalaciones inadecuadas que dejan por fuera del alcantarillado algunas aguas.

Como puede ser observado en la zona que está en color azul (Ver Figura 55) cuenta con las condiciones de terreno suficientes para instalar o mejorar los sistemas de tratamiento “in situ”, a los cuales se les debe hacer un adecuado mantenimiento y seguimiento.



Figura 55. Vista margen nor-oriental, carretera y margen sur-occidental del área de estudio
Fuente: Google Earth.

7.7.3.2 Margen nor-oriental

Las viviendas ubicadas en la margen nor-oriental están conectadas a la red de alcantarillado del corregimiento, excepto un tramo de 300 metros (Ver Figura 56) donde no se cuenta con cobertura, hay 4 viviendas que están en una cota más baja que la red, en las viviendas que se cuente con el espacio suficiente, se

deben instalar sistemas de tratamiento en el sitio que no requieran de grandes extensiones, como lo son un tanque séptico como sistema de pre tratamiento y un filtro FAFA como sistema de tratamiento, combinado con pozos de absorción, y en las que no se cuente con el espacio necesario se recomienda la instalación de alcantarillado sin arrastre de sólidos.



Figura 56. Alcantarillado EPM
Fuente: Google Earth.

- **Alcantarillado sin arrastre de sólidos**

En las viviendas ubicadas en la margen nor-oriental que no cuenten con el espacio suficiente, existe la opción de conectarlas al alcantarillado público que está construido sobre la carretera (Ver Figura 57), al no tener cobertura de este, pueden ser conectadas por medio de un alcantarillado sin arrastre de sólidos, el cual es mucho más económico que uno convencional, pues requiere de menos pendiente y diámetros inferiores, donde se cuenta con un montaje que permite la retención de los lodos en un espacio no mayor a los 2m² y una red de tuberías que se encargan de evacuar netamente el agua residual (sin sólidos) y posteriormente ser conducidos a la PTAR existente pues las condiciones del terreno (pendiente) y la ubicación del alcantarillado sin arrastre de sólidos permite su conexión al colector del alcantarillado que se dirige a la PTAR. (43)



Figura 57. Red de alcantarillado público de EPM y alcantarillado sin arrastre de sólidos
Fuente: Google Earth.

Las viviendas ubicadas en el área señalada (circunferencia de color amarillo) en la Figura 56 serán las beneficiadas con el alcantarillado sin arrastre de sólidos, esta tecnología es factible de ser instalada en el lugar, dado que las viviendas del margen nor-oriental cuentan con pozos sépticos, los cuales sirven para decantar las aguas y el efluente de éstos es el que será conducido por el sistema propuesto, evitando que las AR sean descargadas a la quebrada y afecten su calidad. Como se observa en la Figura 58, estas cuentan con espacios muy reducidos y están construidas al borde de la quebrada.

Este alcantarillado sin arrastre de sólidos debe ser conectado a la red del alcantarillado de EPM en el sector conocido como la entrada a la vereda el plan, y así aprovechar la PTAR del corregimiento y depurar así el agua que colecte este sistema.



Figura 58. Viviendas ubicadas en el área seleccionada para instalación de la RAD

7.8 Otras propuestas

- Realizar el saneamiento de la totalidad de los predios ubicados en la parte superior de la cuenca, pues desde el inicio se ven vertimientos que afectan su calidad casi que desde el nacimiento.
- Realizar el adecuado ordenamiento de la cuenca en las partes bajas, reubicando personas que se encuentren en peligro de inundación y deslizamientos.
- Las viviendas que estén bien ubicadas y no sean reubicadas se les debe separar las aguas lluvias de las residuales, las lluvias se deben descargar en la quebrada y las residuales en un sistema colector paralelo a ésta que recoja todos los efluentes de ARD aguas abajo.

- Conectar el colector principal paralelo a la quebrada con la nueva parrilla de alcantarillado de EPM, para así conducir estas aguas a la planta de tratamiento en construcción en Bello.
- Realizar un buen manejo de residuos sólidos con la comunidad, para prevenir la contaminación de la corriente de agua (Educación ambiental).
- La instalación de alcantarillado sin arrastre de sólidos son prácticas, sencillas y económicas. Se deben implementar para aumentar la cobertura de los servicios de alcantarillado y disminuir así, las tasas de morbilidad por enfermedades de origen hídrico y contaminación del agua.
- Esta nueva tecnología (instalación de alcantarillado sin arrastre de sólidos) debe promoverse conjuntamente con el uso de los inodoros de baja descarga (4 o 6 litros), regaderas y mezcladoras de bajo consumo, con lo cual se reduce considerablemente el consumo per cápita de agua y, por lo tanto, el volumen de las aguas residuales.
- El efluente del alcantarillado sin arrastre de sólidos puede ser conducido a la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) ya existente en el corregimiento, lo que hace de esto un proyecto aún más viable dado sus bajos costos con relación a un alcantarillado convencional.

De esta forma la quebrada quedará saneada, posterior a esto se podrían estudiar propuestas para recuperar el sendero natural por la “avenida la playa”, además irá de acuerdo con la recuperación del río Medellín y los planes de recuperación del proyecto “parques del río”, pues si no se recuperan los afluentes, nunca se recuperará la corriente principal. A futuro es pertinente realizar análisis en la red de abastecimiento del acueducto multiveredal de Santa Elena siguiendo el manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras del INS (Instituto Nacional de Salud) para encontrar posibles falencias en el tratamiento que se le da en la planta.

8. Discusión

Los resultados de la investigación pusieron en evidencia el deterioro del recurso hídrico en su paso por el corregimiento de Santa Elena, incluso cuando se cuenta con un sistema de alcantarillado, es preocupante encontrar que la población se abastece de una quebrada calificada como agua de “mala calidad” según el ICA calculado y que además el IRCA (Índice del Riesgo de Calidad del Agua) de la Secretaría Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia calculado para el acueducto, muestra que en algunos meses el agua que se entrega a la población presenta riesgo medio, siendo agua *no apta para consumo humano*, es por esto que las soluciones planteadas son pertinentes y mejorarían la situación encontrada.

8.1 Proyecto red de monitoreo ambiental

Se pretende que el *proyecto de saneamiento hídrico rural de la quebrada Santa Elena*, tenga conexión de forma directa con el *proyecto de red de monitoreo ambiental del Área Metropolitana*, es decir que este proyecto tenga cobertura desde la parte inicial de la cuenca y no solamente las partes bajas de la quebrada, esto con el objetivo de tener un diagnóstico completo de las condiciones sanitarias y ambientales de toda la corriente de agua.

La red de monitoreo ambiental (58) en la cuenca hidrográfica del río Aburra, en jurisdicción del Área Metropolitana, realizó un estudio en el año 2013 sobre la determinación del impacto ambiental producido por la zona urbana sobre la quebrada Santa Elena, evaluando la calidad del agua en dos puntos de monitoreo, dichos puntos están ubicados aguas abajo de los puntos de muestreo de nuestro proyecto, uno de estos está antes de lo asentamientos ubicados en el barrio 8 de marzo y el otro en la desembocadura al río Medellín.

Para la estación Santa Elena 1 (sector la cascada) se obtuvo una clasificación de calidad del agua correspondiente a “aceptable”, mientras que para el punto Santa Elena 2 (desembocadura del río Medellín), la calidad del recurso hídrico fue calificada como Mala. Lo anterior se relaciona con el paulatino deterioro que presenta la quebrada como resultado de las diferentes actividades que se llevan a cabo en la subcuenca.

La recuperación de la quebrada Santa Elena depende no sólo de la gestión de las autoridades competentes, sino también del compromiso de sus vecinos para protegerla, de tal forma que se reconozca a los cuerpos de agua como un recurso vital y una parte primordial del ecosistema, no como un medio a través del cual se evacuan los residuos sólidos y líquidos.

Haciendo un análisis a los puntos de monitoreo del Área Metropolitana se observó que están ubicados aguas abajo del punto 3 de nuestro proyecto, (Ver Figura 59).

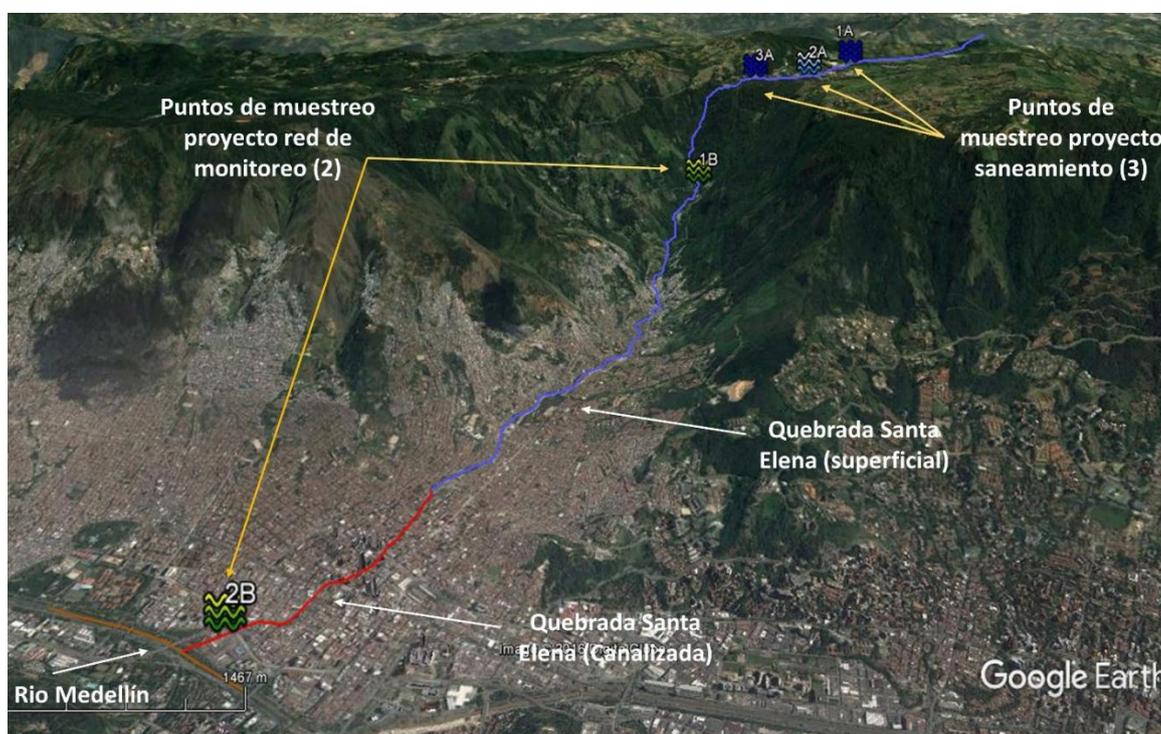


Figura 59. Puntos de monitoreo proyecto de saneamiento y proyecto red de monitoreo.
Fuente: Google Earth.

Como se observa en la Figura 59 los tres puntos en color azul ubicados en la parte superior nor-oriental, corresponde a los puntos de muestreo del proyecto de saneamiento hídrico rural, y los puntos de color amarillo son los tomados por el estudio de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá, la línea de color azul es la quebrada santa Elena como corriente superficial, y la línea de color rojo es el tramo de la quebrada que se encuentra canalizado en la ciudad de Medellín hasta su desembocadura al río Medellín.

Entre los puntos 3A y 1B (Ver Figura 60) se logra identificar una pendiente pronunciada, siendo esto un factor importante al momento de analizar los resultados de los parámetros de los dos estudios, encontrando que el agua del punto 1B presenta mejores características que la del punto 3A, puesto que entre dichos puntos el agua pasa por una serie de caídas y ayuda a mejorar las condiciones del agua, además, en este tramo no se encuentran viviendas asentadas a las orillas de la quebrada, como ocurre en la parte alta y baja de la cuenca.

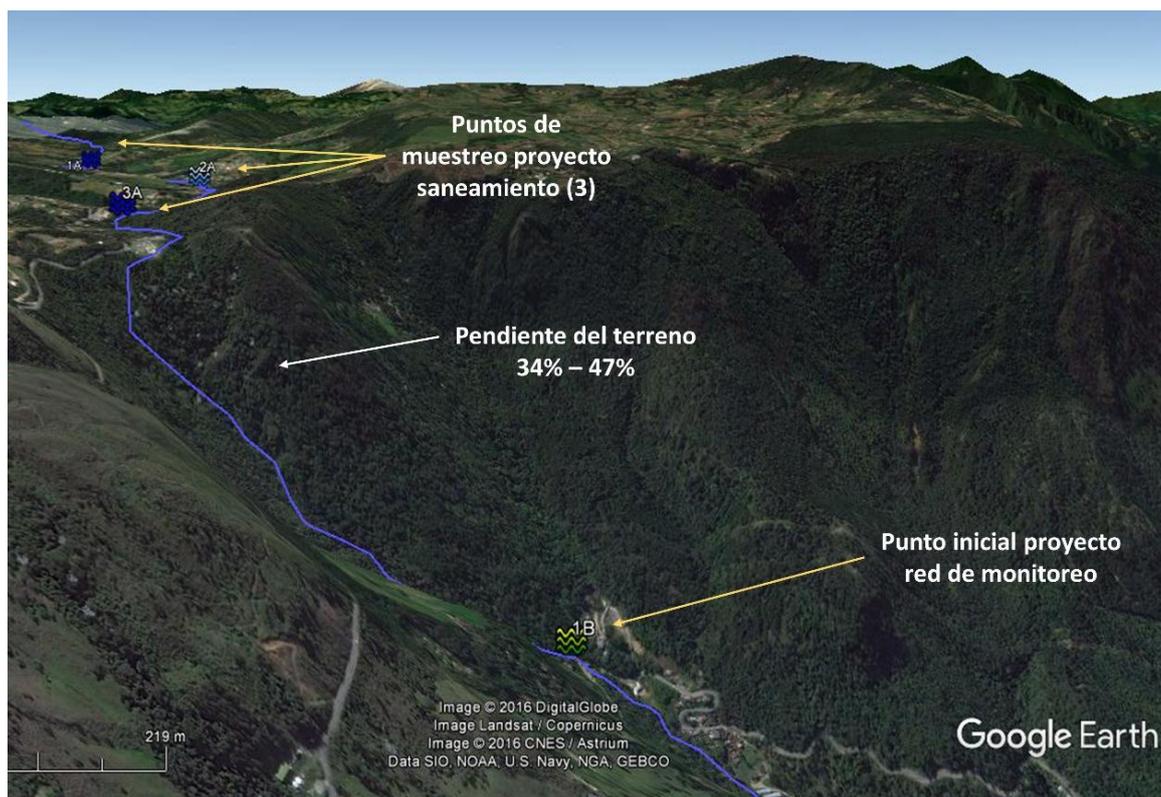


Figura 60. Puntos de monitoreo proyecto de saneamiento y punto inicial proyecto red de monitoreo.

Fuente: Google Earth.

Tabla 17. Cálculo de pendiente de la quebrada.

Distancia cm con regla	Distancia con escala cm	Distancia con escala (m)	Altitud (msnm)	Pendiente
0	0	0	1442	--
9,5	237500	2375	1544	4,3%
13,4	335000	3350	1600	5,7%
19,4	485000	4850	1800	13,3%
26,9	672500	6725	2000	10,7%
29,2	730000	7300	2200	34,8%
30,9	772500	7725	2400	47,1%
46,4	1160000	11600	2600	5,2%
51	1275000	12750	2600	0,0%

*

* La escala del mapa utilizado del IGAC es de 1:25.000

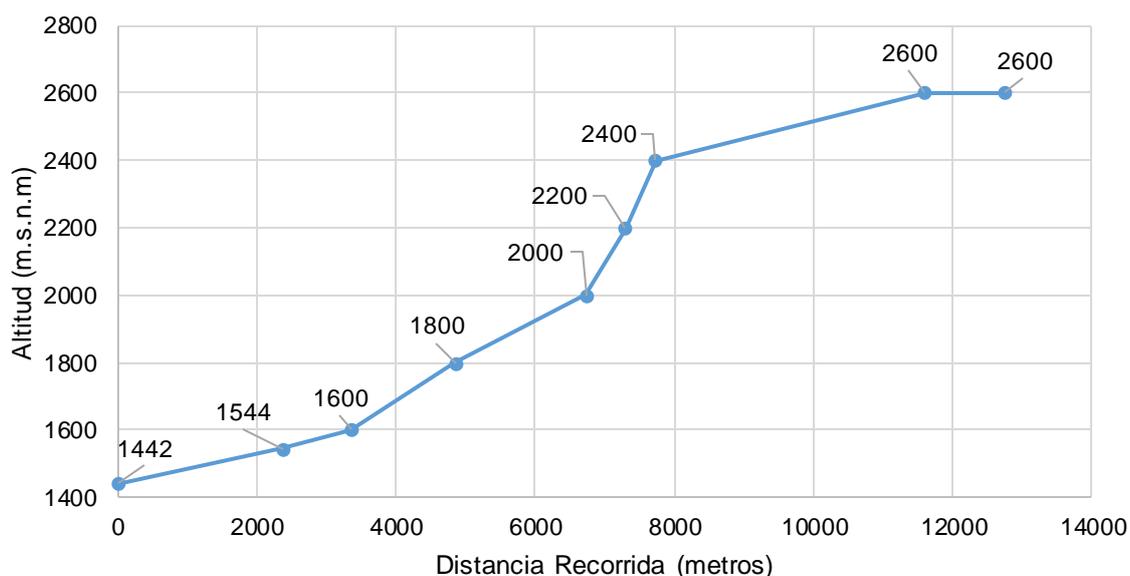


Figura 61. Perfil quebrada Santa Elena.

A continuación se presenta una unión de los datos arrojados de los dos estudios, el cual es muy pertinente, pues se evidencian 5 puntos de la quebrada Santa Elena desde su parte inicial hasta llegar al río Medellín, aunque los estudios fueron hechos en años diferentes, evidencian que en la parte alta de la cuenca está contaminada y al desembocar al río Medellín presenta pésimas condiciones, esto como fundamento principal para avanzar en programas y proyectos de saneamiento encaminados a la recuperación del río Medellín y sus afluentes.

Los puntos 1, 2 y 3 son los puntos del *proyecto de saneamiento hídrico rural* y los puntos 4 y 5 son los de *la red de monitoreo ambiental*, en conjunto muestran el comportamiento de los parámetros de la corriente de agua hasta llegar al río Medellín (ver Tabla 18).

Tabla 18. Parámetros del proyecto de saneamiento hídrico y red de monitoreo ambiental

Parámetro	Unidad de medida	Punto de muestreo					% Variación (Punto 1 y 5)
		Proyecto saneamiento hídrico			Proyecto red de monitoreo		
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	
Conductividad	μS/cm	86,9	79,1	86,4	54,4	418,0	381%
DQO	mg O ₂ /L	8,5	11,8	39,2	8,5	176,0	1949%
pH	U. pH	7,2	7,2	7,3	7,6	7,46	3%
SST	mg/L SST	1,5	2,6	16,7	2,0	66,0	4300%
SD	mg/L SD	50,5	67,3	94,3	50,0	242,0	379%
ST	mg/L ST	52,0	70,0	111,0	52,0	308,0	492%
OD	mg O ₂ /L	6,5	7,2	7,06	7,9	2,9	- 55%
P	mg P/L	-	-	0,09	0,02	2,6	2789%
N	mg/ N / L	-	-	-	0,40	16,1	3875%

Como se puede observar en la Tabla 18, los parámetros en el punto 5 tienen un aumento considerable con relación al punto 1, esto debido a los problemas identificados anteriormente.

Así mismo el informe de la fase 3 de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del Río Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana, muestra el impacto que genera cada una de las quebradas al río Medellín, donde se dice que la quebrada Santa Elena presenta afectación de la calidad del agua por descargas de aguas residuales domésticas e inadecuada disposición de residuos sólidos y estiman que el 10% de los residuos generados son arrojados a la quebrada como lugar de disposición final.

En la parte baja de la micro cuenca, el agua es utilizada para uso doméstico (28.08 L/s), agropecuario (24.87 L/s) y para riego en menor proporción, encontrando que las aguas son receptoras de las aguas residuales domésticas provenientes de la zona rural y urbana por las cuales atraviesa (59).

8.2 ICA Afluentes Rio Medellín e IRCA acueducto Santa Elena

El proyecto de la red de monitoreo ambiental para el año 2010 presenta el ICA para cada uno de los afluentes del río Medellín, la quebrada Santa Elena presentó una calidad “mala” con un valor de 0.41 (Ver Cuadro 12) y se dice que el deterioro de esta corriente se debe a los vertimientos de aguas residuales domésticas y el problema de contaminación por el inadecuado manejo de residuos líquidos y sólidos sobre el cauce (60), aspectos que coinciden con las características encontradas en fase diagnóstica de nuestro proyecto de saneamiento. A pesar de que el trabajo de la red de monitoreo se realizó en la parte baja de la cuenca, muestra una calificación similar a la obtenida en la fase diagnóstica del proyecto de saneamiento hídrico, el cual tuvo sus puntos de muestreo en la parte alta, donde se encuentra el corregimiento de Santa Elena, arrojando un ICA promedio de 0.46 y calificación “mala”.

A pesar que hay alcantarillado desde octubre del año 2015 en la parte alta de la cuenca (corregimiento de Santa Elena), se encuentra que la quebrada presenta contaminación y algo preocupante es que el sistema de acueducto está haciendo captación de agua con calificación ICA “mala”. Dado esto es necesario e importante aplicar este proyecto de saneamiento hídrico rural y de esta forma mejorar la calidad del agua de la corriente.

Cuadro 12. Resultados promedio de la aplicación del índice de calidad de agua ICACOSU de los muestreos realizados en las principales quebradas afluentes al río Medellín - Aburrá en el primer semestre de 2010 (Marzo – Mayo 2010)

Nombre Quebrada Afluente	Abreviación Quebrada Afluente	RESULTADO PROMEDIO ICACOSUS DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS	
		Valor	Calificación
La Valeria	Q1	0,50	MALA
La Miel	Q2	0,56	REGULAR
La Doctora	Q3	0,62	REGULAR
La Ayurá	Q4	0,58	REGULAR
Doña María	E4	0,49	MALA
La Grande	E5	0,67	REGULAR
La Aguacatala	Q6	0,68	REGULAR
La Presidenta	Q7	0,54	REGULAR
Altavista	Q8	0,49	MALA
La Hueso	Q9	0,36	MALA
Santa Elena	Q10	0,41	MALA
La Iguana	Q11	0,56	REGULAR
La Rosa	Q12	0,40	MALA
La Madera	Q13	0,45	MALA
El Hato	Q14	0,47	MALA
La García	E10	0,25	MUY MALA
Piedras Blancas	Q15	0,80	ACEPTABLE
La Santiago	Q16	0,91	BUENA

Fuente: Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del área metropolitana-fase III

Dentro de éste proyecto se analizaron 8 estaciones en el río Medellín (Ver Cuadro 13), desde San Miguel hasta puente Gabino, donde se evidencia el deterioro que presenta el río en su paso por el Valle de Aburrá, por lo que se hace necesario aplicar proyectos de saneamiento hídrico en cada uno de sus principales afluentes, como se muestra en el Cuadro 12, donde hay 16 quebradas de las cuales 1 tiene calidad “buena”, 1 “aceptable”, 7 “regular”, 8 “mala” y una “muy mala”.

Cuadro 13. Resultados promedio del índice de calidad de agua ICACOSU de los muestreos realizados en el río Aburrá - Medellín en el primer semestre de 2010 (Marzo – Mayo 2010)

ESTACIONES DE MUESTREO	RESULTADO PROMEDIO ICACOSUS DE LAS MUESTRAS COMPUESTAS	
	Valor	Calificación
San Miguel (E1)	0.81	Aceptable
Ancón Sur (E3)	0.59	Regular
Antes de San Fernando (E5)	0.55	Regular
Aula Ambiental (E8)	0.45	Mala
Puente Acevedo (E9)	0.32	Mala
Puente Machado (E11)	0.29	Mala
Ancón Norte (E12)	0.24	Muy Mala
Puente Gabino (E20)	0.43	Mala

Fuente: Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del área metropolitana-fase III

Los datos más actualizados con los que cuenta en el momento la Secretaría Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia para el IRCA de los acueductos rurales son del año 2015, en este se muestra el acueducto multiveredal Santa Elena, el cual presentó en dos meses niveles de riesgo bajo y en un mes nivel medio como puede ser observado en el Cuadro 14. Al calcular el IRCA promedio no se presenta nivel de riesgo pero si se analizan los meses de julio, octubre y noviembre el agua no fue apta para el consumo humano.

Cuadro 14. Informe mensual del Índice de Riesgo de Calidad del Agua - acueductos rurales - Antioquia 2015

 GOBERNACION DE ANTIOQUIA REPUBLICA DE COLOMBIA															INFORME MENSUAL DEL INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DEL AGUA - ACUEDUCTOS RURALES - ANTIOQUIA 2015		Código: F0-M3-P1-093
SUBREGION -VALLE DE ABURRA																	
CONVENCIONES:		Sin Dato (SD)	DE 0.0 A 5 %: Sin Riesgo			DE 5.1 A 14 %: Riesgo Bajo			DE 14.1 A 35 %: Riesgo Medio			DE 35.1 A 80 %: Riesgo Alto			DE 80.1 A 100 %: Inviabile Sanitariamente		NIVEL DE RIESGO
MUNICIPIO	LOCALIDAD (VEREDA)	EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DEL AGUA - IRCA- %												% IRCA ACOMULADO	APTA PARA CONSUMO HUMANO	
			ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.			
Medellín	Corregimiento de Santa Elena	Corporación Acueducto Multiveredal	0,0	0,0				0,0	6,0	0,0	2,4	12,7	21,7	0,0	4,8	SI	Sin Riesgo
Medellín	Vereda Piedragorda	Corporación de Acueducto Las Flores	4,4	0,0				0,0	1,8		27,1	17,2	6,3	0,6	7,2	NO	Bajo

Fuente: Secretaría Seccional de Salud y Protección Social de Antioquia

8.3 Plan de ordenamiento territorial Medellín

La cuenca tiene oportunidades a futuro respecto a la recuperación de las fuentes hídricas y protección del ecosistema, esta es una zona protegida dentro del POT(61), el cual limita la acción del hombre sobre la región, restringiendo construcciones en la parte alta, (área central del proyecto). La quebrada Sta. Elena es la segunda en orden de importancia después del río Medellín (Ver Cuadro 15).

Cuadro 15. Jerarquía corredora de agua y afluente del río Medellín.

Ríos y quebradas	
Jerarquía	Elemento
Drenajes y corredores principales	Río Medellín (Aburrá)
	Santa Elena
	Piedras Blancas
	La Iguaná
	Doña María
	Ana Díaz
	La Picacha
	Altavista
	La Guayabala
	La Presidenta
Drenajes y corredores secundarios	Todas las quebradas restantes de Medellín incluidas en la red hídrica oficial del Municipio

Fuente: POT Medellín 2014.

También se dice que las zonas de retiro serán de 30 metros a cada lado de la corriente, las cuales no podrán tener un uso diferente al de protección y a intervenciones de restauración ecológica.

Dentro del corto plazo definido, la Administración Municipal ajustará el protocolo para la actualización de la red hídrica del municipio de Medellín, sus retiros y nacimientos, (Artículo 26, Parágrafo 4).

La red de Conectividad Ecológica (Artículo 33) vincula aquellos corredores urbanos y urbano-rurales, cuyo propósito es la integralidad de las áreas rurales con funciones ambientales definidas. Dentro de éstos se encuentra el corredor “e” Santa Elena (Corredor No. 14 del Sistema Metropolitano De Áreas Protegidas - SIMAP).

En los macro proyectos de Santa Elena, sólo se podrá hacer redistribución de densidades al interior de una misma franja de densidad, (Ver Figura 62) como se puede observar en el área rodeada con rojo, en la parte alta de la cuenca la densidad máxima es de 80 casas por hectárea y en la parte baja, es de máximo 100 casas por hectárea.

El proyecto de saneamiento hídrico propuesto apunta a los objetivos planteados en el POT referente a los aspectos ambientales, como es la recuperación y conservación de los ecosistemas en la cuenca, teniendo como principal eje la quebrada Santa Elena.

Se recomienda entonces que la administración municipal aplique el POT de la ciudad y encamine acciones en pro de la conservación de los recursos naturales en el área del proyecto, en todo lo relacionado con la aplicación de las zonas de retiro a la quebrada, actualización de la red hídrica, conservación de las redes de conectividad ecológica y aplicar todo lo dispuesto en el Sistema Metropolitano De Áreas Protegidas. El *Proyecto de Saneamiento Hídrico* es una herramienta importante para todos estos proyectos y de esta forma disminuir los impactos negativos generados al ecosistema, al igual que a la salud pública de las comunidades aledañas a la fuente.

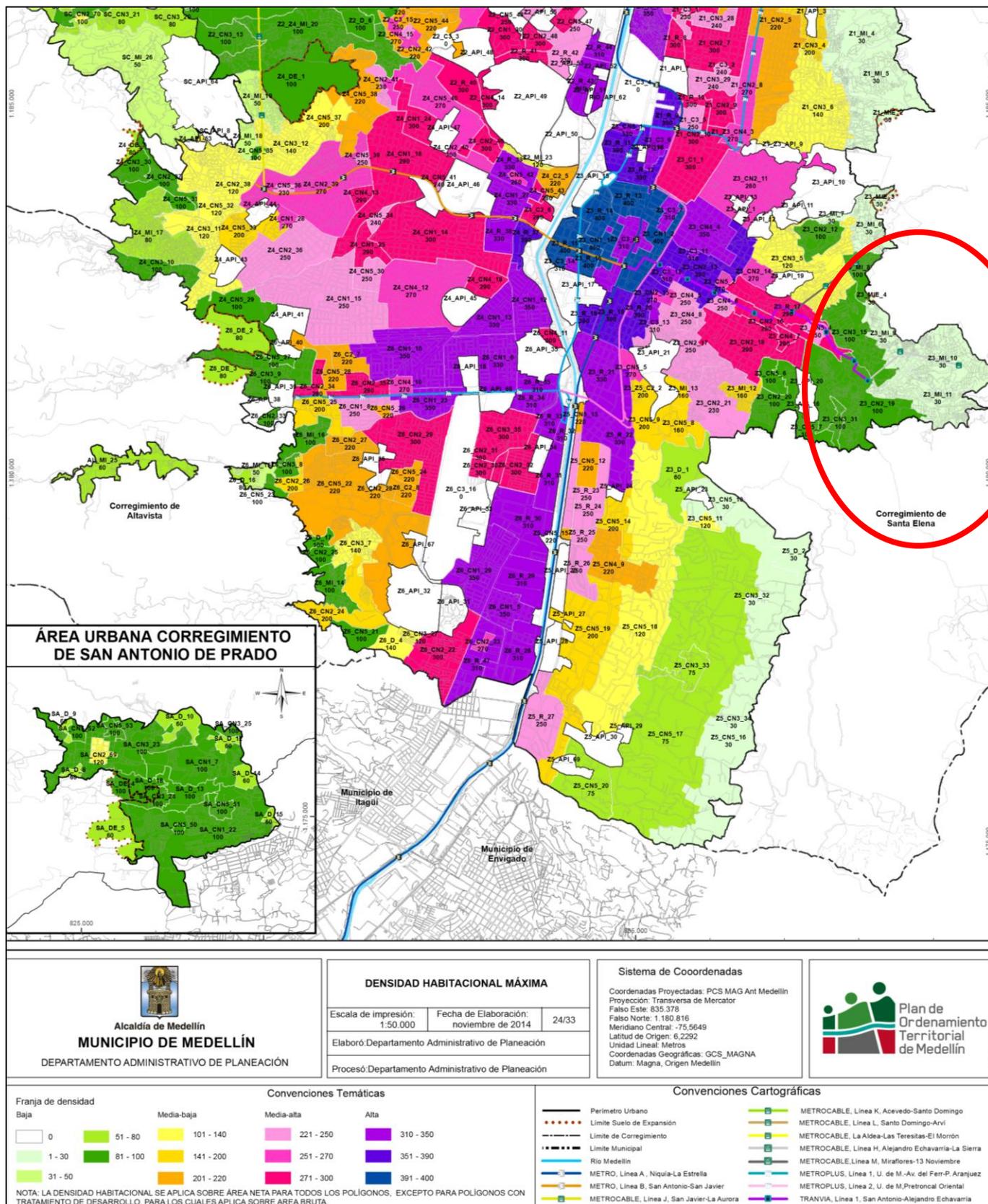


Figura 62. Densidad habitacional máxima municipio de Medellín – POT Medellín 2014.

8.4 Plan de Desarrollo Local Santa Elena 2015 – 2027

El Corregimiento de Santa Elena se ve impactado desde hace años por una tendencia a la migración de la población que habita en sectores urbanos, en busca de una segunda residencia o residencia permanente con las características campestres que ofrece este territorio. En ese sentido, se habla de un desplazamiento intraurbano causado por la atracción hacia este territorio rural (62).

Dada esta situación y al crecimiento demográfico, la quebrada tendrá un impacto negativo cada vez mayor por lo que es importante el proyecto de Saneamiento hídrico rural.



Figura 63. Estructura del Plan de Desarrollo Local Santa Elena 2015-2020
Fuente: Plan de Desarrollo Local Santa Elena 2015 – 2027

Como problemática general se identifica la contaminación de fuentes de agua, en el corregimiento las quebradas abastecedoras de los acueductos veredales sufren deterioro, haciéndose necesario proyectos de restauración ecológica y recuperación de los recursos agua, suelo y aire, así como la conservación de las Cuencas Hidrográficas.

Se observa una zona con mucha riqueza hídrica pero con alta fragilidad, debido al mal uso que el ser humano hace de los recursos, pone en alerta la conservación de estos, llevando a la necesidad de proteger de manera responsable las aguas para los riegos, subterráneas, y las diferentes micro cuencas, con el propósito de buscar la sostenibilidad, recuperando y restaurando la Estructura Ecológica.

La Línea Estratégica 4 se encuentra vinculada directamente a la dimensión ambiental del plan de desarrollo y agrupa componentes como impactos ambientales, zonas de riesgo y suelos de protección.



Figura 64. Línea Estratégica 4 y sus componentes

Fuente: Plan de Desarrollo Local. Medellín, Comuna 90– Corregimiento de Santa Elena. DAP – CISP, 2014-2015

El plan desarrollo local establece los siguientes retos asociados al manejo de aguas residuales:

- Construcción de alcantarillado en el corregimiento Santa Elena.
- Construcción de tanques para tratamiento de aguas servidas, en el corregimiento Santa Elena.
- Educación ambiental para mantenimiento de pozos sépticos en el corregimiento Santa Elena.

A continuación (Ver Cuadro 16) se presentan los programas e ideas de proyectos asociados a la Línea Estratégica 4 durante la vigencia 2015-2027, relacionados con el saneamiento hídrico del corregimiento, que irían de la mano con el proyecto de saneamiento planteado.

Cuadro 16. Ideas de proyectos – Línea 4: Ambiental

Componente		Programa		Proyecto
Descontaminación ambiental y manejo de residuos sólidos	10	Descontaminación ambiental y manejo integral de los residuos sólidos y aprovechamiento de los mismos.	37	Promoción y difusión de estrategias efectivas de sensibilización, por medio de campañas publicitarias, sobre manejo integral de residuos sólidos (MIRS), a los dueños de negocios, instituciones educativas, turistas y educación y sensibilización para la disposición adecuada de las basuras producidas por los habitantes y turistas (comunidad en general), en el corregimiento Santa Elena.
			38	Formación para la elaboración y uso de abonos orgánicos, en las huertas escolares, familiares y otras parcelas del corregimiento.
			39	Fortalecimiento de organizaciones de recicladores para mejorar su capacidad operativa en el manejo adecuado de residuos sólidos generados en el territorio.
Manejo de aguas residuales	12	Manejo de aguas residuales, para la contribución al medio ambiente y la calidad de vida de los habitantes de Santa Elena.	45	Construcción de alcantarillado en el corregimiento Santa Elena.
			46	Construcción de tanques para tratamiento de aguas servidas, en el corregimiento Santa Elena.
			47	Educación ambiental para mantenimiento de pozos sépticos en el corregimiento Santa Elena.

Fuente: Plan de Desarrollo Local Santa Elena 2015 – 2027

8.5 Oportunidades futuras para el saneamiento de la quebrada

Uno de los aspectos importantes que afectan positivamente la cuenca, son las ideas sobre la recuperación de la quebrada Sata Elena y la posibilidad futura de destapar la avenida “la playa”, es algo ambicioso, pero de realizarse un ordenamiento de la cuenca desde su parte superior y un control adecuado de todos los vertimientos, efluentes de aguas residuales y demás focos de contaminación, es algo que se podría lograr, pues desde los años 30, la

quebrada se cubrió con un “box culvert” debido a que esta se fue convirtiendo poco a poco en un “alcantarillado a cielo abierto” (31).

Otro proyecto importante encaminado a la recuperación del Río Medellín y sus afluentes es el proyecto Parques del Río, este tiene un mensaje contundente: devolverle la vida al río y devolverle el río a los ciudadanos. Eso quiere ser un detonador para que lo que queremos en el río también se haga con las quebradas y afluentes, empezando por la más simbólica: la quebrada Santa Elena” pues la forma correcta de empezar a sanear el río, es empezar por sus afluentes, que alimentan al río con aguas residuales.

La principal limitación del estudio fue la disponibilidad de recursos económicos, pues es pertinente realizar a futuro muestreos compuestos y análisis de la calidad del agua tanto de la quebrada como de sus afluentes en diferentes periodos de tiempo y a lo largo de la cuenca (desde su nacimiento hasta la desembocadura en el río Medellín) y no solo en la parte superior como fue realizado, esto para conocer mejor el comportamiento de las características del agua en distintos puntos y épocas del año.

9. Conclusión

A pesar que el corregimiento de Santa Elena cuenta con un sistema de alcantarillado en la zona de estudio, se evidencia por medio de los análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, cálculo del Índice de Calidad del Agua ICA y recorridos de reconocimiento por dentro y fuera de la quebrada, que existen afectaciones al cuerpo de agua, donde los cálculos arrojan una calificación promedio de calidad “mala”, adicionalmente hay viviendas e industrias que se abastecen de la quebrada, al igual que es la fuente de abastecimiento principal del sistema de acueducto multiveredal, donde se ve la necesidad de una intervención certera, y que se corrija la forma de disponer los residuos líquidos que aún no tienen un control, los cuales contaminan el efluente (Quebrada Santa Helena) creando un panorama de riesgo para la salud de la población, tanto del área de estudio como aguas abajo, además del deterioro que sufre el recurso hídrico y las afectaciones que genera estas condiciones sanitarias, como es la concentración de vectores, roedores y malos olores próximos a algunas viviendas, tanto en el área de estudio como aguas abajo.

Agradecimientos

A Dios por habernos permitido realizar este trabajo, que con dedicación, esfuerzo y disciplina se pudo obtener grandes resultados. A nuestros familiares y amigos por la motivación, por creer en nuestro trabajo. A cada uno de los compañeros de trabajo porque con su apoyo fue más fácil sacar adelante este compromiso académico que nos generó muchas riquezas a nivel personal y profesional.

A nuestro asesor académico Gilberto de Jesús Arenas Yepes, por su entrega, experiencia y amor con el proyecto, con su participación logramos cada uno de los objetivos, gracias por el apoyo y la motivación constante para tener excelentes resultados durante todo el proceso de ejecución del proyecto.

Al docente Juan Gabriel Piñeros por su acompañamiento e interés brindado en ayudarnos con bases investigativas para una mejor formulación del proyecto.

Al Centro de Investigación de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, por su apoyo con los recursos requeridos y necesarios para desarrollar las actividades técnicas necesarias para lograr la formulación definitiva del proyecto.

A la comunidad del corregimiento de Santa Elena por su aceptación y colaboración con la información brindada.

Referencias bibliográficas

1. Baca G. Evaluación de Proyectos 6ta ed. [Internet]. . México: McGraw-Hill; 2010 [Consultado 2016 May 2]. Disponible en: <https://leonelmartinez.files.wordpress.com/2015/01/1-gabriel-baca-urbina-evaluacion-de-proyectos-6ta-edicion-2010.pdf>.
2. Orta L. Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. Fitosanidad. 2002;6(3):55-62.
3. Hernández H. Agua y Saneamiento: opciones prácticas para vivir mejor 3ra ed. Bogotá. [Internet]. . Bogotá: Programa de preparativos para situaciones de emergencia y coordinación de socorro en casos de desastres, PED; 2001 [Consultado 2016 May 2]. Disponible en: <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2015/01/040244.pdf>.
4. Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial, 47837 (Oct 25 2010).
5. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA. Regulación integral del sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia [Internet]. 2008 [Consultado 2016 Abr 25]. Disponible en: <http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/32383933383036613231636236623336/compilacionCRA.pdf>.
6. Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud. Guía rápida para la vigilancia sanitaria del agua. Acciones para garantizar agua segura a la población [Internet]. . Santo Domingo: OPS - OMS; 2013 [Consultado 2016 Abr 26]. Disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/166713/1/Guia%20para%20la%20vigilancia%20del%20agua%20VERSION%20WEB.pdf?ua=1>.
7. Tobon F, López L, Paniagua R. Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. Rev salud pública. 2010;12:300-7.
8. Colombia. Ministerio de la protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 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. Diario oficial, 46679 (Jun 22 2007).
9. Organización Mundial de la Salud. 2,4 mil millones de personas carecen de acceso a saneamiento [internet]. [Consultado 2016 Mar 22]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/jmp-report/es/>.

10. Banco Mundial. Gestión de recursos hídricos: Panorama general [internet]. [Consultado 2016 Feb 25]. Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement/overview>.
11. Sanchez AZ. Efectos de los trihalometanos sobre la salud. Hig Sanid Ambient. 2008;8:280-5.
12. Organización Mundial de la Salud. Lucha contra Las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares [internet]. . Suiza: Ediciones OMS; 2007 [Consultado 2016 Mar 5]. Disponible en: http://cdrwww.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf.
13. Tribunal Latinoamericano del Agua. Situación hídrica en América Latina [internet]. [Consultado 2016 Feb 26]. Disponible en: <http://tragua.com/situacion-hidrica-en-america-latina/>.
14. UNICEF. La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales [internet]. . Bogotá: Embajada del Reino de los Países Bajos, Procuraduría General de la Nación, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios; 2006 [Consultado 2016 Mar 10]. Disponible en: <http://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf>.
15. Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social. Colombia trabaja para mejorar acceso a agua potable y saneamiento básico en zonas rurales [internet] [Consultado 2016 Mar 2]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-trabaja-para-mejorar-acceso-a-agua-potable-y-saneamiento-b%C3%A1sico-en-zonas-rurales.aspx>.
16. Vélez NC. Análisis a la gestión del plan de saneamiento hídrico de Pereira desde la perspectiva integral del recurso, haciendo uso de weap como sistema soporte de decisión [Internet]. [Trabajo de grado para optar por el título de Administradora Ambiental]. Pereira: Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira; 2012.
17. Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Conpes 3177 de 2002. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales [Internet]. [Consultado 2016 Mar 27]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>.
18. Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Conpes 3810 de 2014. Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural [Internet]. [Consultado 2016 Mar 17]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810%20-%202014.pdf>.
19. Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Conpes 3463 de 2007. Planes departamentales de agua y saneamiento para el manejo empresarial de

los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo [Internet]. [Consultado 2016 Mar 17]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2007/conpes_3463_2007.pdf.

20. Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Conpes 3550 de 2008. Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química [internet]. [Consultado 2016 Mar 22]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3550%20-%202008.pdf>.

21. Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Conpes 3177 de 2002. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales [Internet]. [Consultado 2016 Mar 27]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>

22. Tabares J. Condiciones del agua para consumo humano y saneamiento básico - Antioquia - 2010 [internet]. [Consultado 2016 Mar 9]. Disponible en: <https://www.dssa.gov.co/index.php/descargas/461-condicionessumiagua/file>.

23. Cardona A. Política pública sectorial de agua y saneamiento básico en Colombia: una mirada crítica. [internet]. [Consultado 2016 Mar 3]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11277/1/08905083.2012.pdf>.

24. Colombia. Medellín. Concejo Municipal. Acuerdo 48 de 2014. Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias. Gaceta Oficial del Municipio de Medellín 4267 (Dic 17 2014).

25. Corantioquia. Resumen Plan de manejo de la Quebrada Santa Elena. [internet]. [Consultado 2016 Mar 10]. Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/Images/MenuSuperiorArchivos/Generalidadessantaelena.pdf>.

26. Organización Mundial de la Salud: OMS. Enfermedades diarreicas [internet]. [Consultado 2016 Apr 10]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs330/es/>.

27. Periódico El Colombiano. Santa Elena: no hay casa pa' tanta gente. [internet]. [Consultado 2016 Abr 2]. Disponible en: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/santa-elena-no-hay-casa-pa-tanta-gente-YH2999661>.

28. DANE. Proyecciones de población 2006 - 2016 Municipio de Medellín. [Internet]. [Consultado 2016 Mar 30]. Disponible en: www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpcccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Planeaci%C3%B3n%20Municipal/Secciones/Indicadores%20y%20Esta

d%C3%ADsticas/Documentos/Proyecciones%20de%20poblaci%C3%B3n%20005%20-%202015/0%20Libro%20Proyecciones%202006%20-%202015.pdf.

29. Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 49486 (Abr 18 2015).

30. Colombia, Congreso Nacional. Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Diario Oficial, 35308 (Jul 16 1979).

31. López C. Monografía de la quebrada santa Elena [internet].[Consultado 2016 Mar 23]. Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/flujoencanales/quebradastaelena/quebradastaelena.html>.

32. Instituto para el Desarrollo de Antioquia. Generalidades corregimiento Santa Elena. [internet]. [Consultado 2016 Apr 24]. Disponible en: <http://www.antioquiadigital.com/silleteros/esp/tsantae.htm>.

33. Alcaldía de Medellín. Secretaría del Medio Ambiente. Quiénes somos [internet] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/ciudadanos?NavigationTarget=navurl://34c0d67bc14be1d7599f0c9120eb1f43>.

34. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia). Quiénes somos [Internet] Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/sitios/extranetcorantioquia/SitePages/Inicio.aspx>

35. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Quiénes somos[Internet] Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/institucional/Paginas/Presentacion.aspx>.

36. Santamaría D, Villa J. Saneamiento hídrico en Colombia: Instituciones y situación actual. Ecos de Economía. 2004;8(18):73-97.

37. Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del Recurso hídrico [Internet]. [Consultado 2016 May 15]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA_TECNICA_PORH.pdf.

38. Colombia, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Desarrollo Económico, Ministerio de Medio Ambiente, Superintendencia de Servicios Públicos. Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia [Internet]. [Consultado 2016 May 10]. Disponible en:

http://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1392&Itemid.

39. Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico. Resolución 1096 de 2000. Noviembre 17, Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS. Bogotá: El Ministerio; 2000.

40. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? [Internet]. . Roma: FAO; 2009 [Consultado 2016 Abr 10]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s01.pdf>.

41. Guevara A. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales [internet]. : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud; 1996 [Consultado 2016 Abr 20]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>.

42. Maldonado J. Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales en mataderos. Rev ambiental aire, agua y suelo. 2013;1(1).

43. García Sosa J, Castillo Borges E, Espadas Solís A. Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Ingeniería [Internet]. 2007; 1161-69 [Consultado 2016 Nov 2]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46711107>.

44. Mejía R. Tecnologías de bajo costo para sistemas de alcantarillado [Internet]. [Consultado 2016 Sep 6]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt055.html>.

45. Centro de investigaciones en hidroinformática. Valoración de la calidad del agua de cuerpos superficiales en Colombia a través de índices de calidad del agua [Internet]. [Consultado 2016 Oct 20]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>.

46. Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales IDEAM. Índice de la calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) [Internet]. [Consultado 2016 Oct 20]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031.

47. IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales [Internet] 2007 [Consultado 2016 May 25]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428.

48. Colombia. Ministerio Salud. Resolución 8430 de 1993, octubre 4, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Bogotá: El Ministerio; 1993.
49. Alcaldía de Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá [internet]. Medellín [Consultado 2016 Oct 12]. Disponible en: http://www.siata.gov.co/siata_nuevo/index.php/mapa/.
50. Polanco E, Luna V. Pruebas de biodegradabilidad e inducción de la biodegradación de [Internet]. [Consultado 2016 Ago 15]. Disponible en: http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EC/CAC-44.pdf.
51. Union mundial para la naturaleza. Plan de monitoreo para la planta de tratamiento de aguas residuales [Internet]. [Consultado 2016 Ago 22]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-092.pdf>.
52. Universidad de Salamanca. Caracterización de aguas residuales [Internet]. [Consultado 2016 Oct 25]. Disponible en: http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/curso/uni_03/U3C3S6.htm.
53. Torres P, Cruz C, Patiño P, Escobar J, Perez A. Aplicación de índices de calidad de agua -ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. Ing Investig 2010;30:86-95.
54. IDEAM. Formato Común Hoja Metodológica Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) [Internet]. [Consultado 2016 Ago 22]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031.
55. Pineda J. Todo sobre el medio ambiente [Internet]. [Consultado 2016 Nov 15]. Disponible en: <http://todosobreelmedioambiente.jimdo.com/gesti%C3%B3n-ambiental/>.
56. Palacio LS, Lopera A, Jaramillo D. Operación y mantenimiento del sistema tanque séptico - FAFA [Internet]. . Medellín- Colombia: Corantioquia. Disponible en: http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/Lists/Administrar%20Contenidos/EditForm/tanques_septicos.pdf.
57. Estrada J. El cuidado de su pozo séptico. Guía útil para el dueño de casa [Internet]. [Consultado 2016 Nov 5]. Disponible en: <http://www.condominiocostadelcampo.com/descargas/otros/gu%C3%ADa-cuidado-pozo-septico.pdf>.

58. Cifuentes A, Campillo D. Determinación del impacto ambiental producido por la zona urbana sobre la quebrada Santa Elena [Internet]. [Consultado 2016 Dic 15]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Informes/INFORMES/Red%20Rio%20Fase%20IV/Proyecto%20Investigacion%20-%20Santa%20Elena.pdf>.
59. Red Río Aburrá-Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Red de monitoreo ambiental en la cuenta hidrográfica del río aburrá en jurisdicción del Área Metropolitana [Internet]. [Consultado 2016 Nov 25]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/Informes/INFORMES%20EJECUTIVOS/INFORME%20EJECUTIVO%20REDR%C3%8DO%20FASE%20III%202009-2011.pdf>.
60. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Red Río Aburrá-Medellín. Red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá - Medellín en jurisdicción del área metropolitana-fase III Resumen diagnóstico [Internet] [Consultado 2016 Mar 28]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/recursohidrico/diDocumentosdeConsulta/MESA%2002/PERFIL%20R%C3%8DO%20ABURR%C3%81-MEDELL%C3%8DN%202011.pdf>.
61. Colombia. Antioquia. Concejo Municipal. Municipio de Medellín. Acuerdo 48 de 2014. Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias. Gaceta oficial 4267 (Dic 17 2014).
62. Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación. Plan de desarrollo local corregimiento Santa Elena [Internet]. [Consultado 2016 Dic 5]. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_17/ProgramasyProyectos/Shared%20Content/Documents/2015/Planes%20de%20desarrollo%20Local/COMUNA%2090%20SANTA%20ELENA.pdf.

Anexos

Anexo 1 Formulario de encuesta.

La encuesta puede ser visualizada electrónicamente entrando a la siguiente dirección web copiando la dirección en el navegador o presionando la tecla "ctrl":

<https://goo.gl/forms/ufpXFVICbgCGHrdx1>

Encuesta de Caracterización

Proyecto de Saneamiento Hídrico Rural para la Quebrada Santa Elena, Medellín 2016

*Obligatorio

1. Fecha Elaboración *

Fecha

dd/mm/aaaa

2. Código *

ej: día (05) mes-(08) consecutivo (02) : 050802

Tu respuesta

3. Dirección o referencia para ubicación *

Tu respuesta

4. Sector encuestado *

- Vivienda - Finca recreo
- Finca agrícola
- Empresa - Restaurante
- Otra:

5. Código GPS *

Tu respuesta

6. Puntos que el encuestador observa en el lugar *

- Agua estancada
- Tanque almacenamiento de agua en malas condiciones
- Residuos orgánicos
- Residuos ordinarios
- Escombros
- RAEE (Residuos aparatos eléctricos y electrónicos)
- Presencia de vectores
- Malos olores
- Excremento de animales
- Roedores
- Aguas residuales provenientes de otros predios
- Otro:

7. Servicios públicos con que cuenta la vivienda *

- Energía
- Acueducto
- Alcantarillado
- Recolección de residuos sólidos
- Otro: _____

8. Ubicación o zona *

- Muy dispersa (no se ven viviendas a su alrededor)
- Dispersa (se ven algunas viviendas a 50 metros o más)
- Concentrada (viviendas a una distancia de 15 a 50 metros)
- Muy concentrada (viviendas a una distancia inferior a 15 metros)

9. Fuente de abastecimiento de agua *

- Acueducto EPM
- Acueducto veredal
- Captación agua lluvia en la vivienda
- Captación desde la quebrada por tubería - sistema de bombeo
- Transporte con recipientes desde la quebrada
- Transporte con recipientes desde un sistema de acueducto
- Otro: _____

10. Usos dados al agua que no es de la quebrada *

- Solo utiliza agua de la quebrada
- Limpieza casa
- Alimento
- Riego plantas
- Aseo personal
- Agricultura
- Industrial
- Otro:

11. Usos dados al agua de la quebrada *

- No utiliza el agua de la quebrada
- Limpieza casa
- Alimento
- Riego plantas
- Aseo personal
- Agricultura
- Industrial
- Otro: _____

12. Sistemas con que se cuenta *

- No requiere puesto que tiene Alcantarillado
- Trampa grasas
- Tanque séptico para toda la casa
- Tanque séptico para una parte de la casa
- Pozo séptico para toda la casa
- Pozo Séptico para parte de la casa
- Sistema tratamiento
- Ninguno (Descarga directa)

13. Tipo sistema de tratamiento con que se cuenta *

- No tiene sistema de tratamiento
- Sistema Infiltración
- Pozo de absorción
- Filtro FAFA
- Descarga al alcantarillado
- Otro: _____

14. El sistema de pretratamiento es *

- No tiene sistema de pretratamiento
- Descarga al alcantarillado
- Individual
- Entre 2 y 4 usuarios
- Entre 5 y 10 usuarios
- Más de 10 usuarios

15. El sistema de tratamiento es *

- No tiene sistema de tratamiento
- Descarga al alcantarillado
- Individual
- Entre 2 y 4 usuarios
- Entre 5 y 10 usuarios
- Más de 10 usuarios

16. Vertimientos que impactan la quebrada (descargan por tubería a la quebrada o están una distancia no mayor a 10 Mt) *

- Todas las AR Descargan al Alcantarillado (NA)
- Todas las AR Descargan a un sistema de tratamiento (NA)
- Descarga directa de todas las AR sin ningun tratamiento
- Efluente de Tanque Séptico
- Efluente de Pozo Séptico
- Solo Lavaderos - pocetas
- AR exepcto las del Sanitario
- Vertimientos actividades industriales
- Otros: _____

17. ¿Que otro tipo de vertimiento o actividad realiza que impacta la calidad del agua de la quebrada? (si no la realiza poner "ninguna") *

Tu respuesta _____

18. Frecuencia de mantenimiento que le da a los sistemas *

	Cada semana	Cada mes	Cada 6 meses	Cada año	Entre 3 y 5 años	Nunca	No posee	Tiene alcantarillado (NA)
Trampa grasas	<input type="radio"/>							
Pozo séptico	<input type="radio"/>							
Tanque séptico	<input type="radio"/>							

19. Calidad percibida del agua para consumo *

- Buena
- Regular
- Mala

20. Califique la disponibilidad de agua que consume (alimento)

- En una semana evidencia suspensión
- En un mes evidencia suspensión
- cada tres meses evidencia suspensiones
- En seis meses evidencia suspensión
- Es permanente el servicio

21. Enfermedades durante el último año *

	Primera infancia 0-5 años	Infancia y adolescencia (6-17 años)	Juventud-Adultez 18-59 años	Adultos mayores >60 años	No tuvo enfermedad
Diarrea	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vómito	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Parasitosis intestinal (Lombrices)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fiebre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. Número de personas en el hogar *

	0	1	2	3	4	5	> 5
Primera infancia 0-5 años	<input type="radio"/>						
Infancia y adolescencia (6-17 años)	<input type="radio"/>						
Juventud-Adultez 18-59 años	<input type="radio"/>						
Adultos mayores >60 años	<input type="radio"/>						

23. ¿Qué tratamiento le da al agua para consumo? *

- La hierve
- La filtra
- Sistema de Ozono
- Ninguno (Cruda)
- Compra agua
- Pastillas de cloro
- Otro: _____

24. Forma de disponer los Residuos Sólidos Ordinarios *

- Tira a la quebrada
- Tira a un terreno cercano
- La quema
- La lleva a un sitio de acopio para posterior recolección
- La entierra
- La recoge el carro recolector en el lugar
- Otro: _____

25. Forma de disponer los Residuos Sólidos Reciclables (Cartón, Papel, Plástico, Vidrio) *

- Tira a la quebrada
- Tira a un terreno cercano
- La quema
- La lleva a un sitio de acopio para posterior recolección
- La entierra
- La recoge el carro recolector en el lugar
- Lo entrega en una ruta selectiva o Personas recuperadoras
- Lo comercializa
- Otro: _____

26. Forma de disponer los Residuos Sólidos Orgánicos *

- Tira a la quebrada
- Tira a un terreno cercano
- La lleva a un sitio de acopio para posterior recolección
- La entierra
- La recoge el carro recolector en el lugar
- Tiene compostaje
- Lo entrega a un tercero para compostaje
- Otro: _____

27. ¿Quién Diligencia? *

- Elkin
- Eddie
- Diego
- Otra: _____

ENVIAR



**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA
“Héctor Abad Gómez”**

CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Proyecto de Saneamiento Hídrico Rural para la Quebrada Santa Elena.
Medellín 2016.**

Nombres y Apellidos del participante: _____
Código de la encuesta _____

Introducción

Llevando a cabo la formulación del proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada, se tendrá un diagnóstico claro de las afectaciones que tiene el recurso hídrico, siendo una fuente de información primaria importante para la administración pública a la hora de ejecutar proyectos e intervenciones futuras referentes al tema; el proyecto a formular dará una alternativa de solución a los problemas más relevantes encontrados producto de la contaminación por descargas de agua residual, influyendo positivamente en la calidad de vida de las personas que habitan en sus alrededores y su situación de salud. El proyecto propiciará condiciones sanitarias y ambientales más favorables a las ya existentes.

Objetivos del proyecto:

Objetivo general

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del municipio de Medellín a partir de un diagnóstico de las condiciones sanitarias del lugar.

Objetivos específicos

- Caracterizar la calidad del agua de la quebrada Santa Elena según parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el área de estudio.

- Observar las condiciones higiénico-sanitarias de la quebrada Santa Elena y sus alrededores, analizando vertimientos, formas de abastecimiento y usos dados al agua.
- Establecer las actividades y productos esperados para la formulación del proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena, a través del análisis e interpretación de los resultados.

Duración del estudio: 6 meses

Duración de su participación: Únicamente mientras se le aplica la encuesta, aproximadamente 15 minutos.

¿Por qué lo estamos invitando a participar?

Su participación es clave para nosotros en la etapa de recolección de la información, respecto a los diferentes vertimientos que se hacen a la quebrada y cada una de las actividades que generan el aumento de la contaminación del recurso hídrico, además porque a través de su experiencia en la participación del proyecto podremos alcanzar el objetivo planeado.

Propósito del proyecto

Formular un proyecto de saneamiento hídrico rural para la quebrada Santa Elena del corregimiento Santa Elena del municipio de Medellín

Participación

Brindar información sobre las actividades realizadas por cada uno de los participantes en su vivienda con relación al uso, manejo y disposición de las aguas, teniendo en cuenta que las preguntas que se le hagan sobre el tema de interés será clave para el proyecto. Se realizará un registro fotográfico de las condiciones observadas que sean de interés para el proyecto, como lo son vertimientos a la quebrada, sistemas de tratamiento de agua y disposición de residuos sólidos.

Costos

Para usted como participante, el estudio no genera ningún costo, este proyecto es financiado por la Universidad de Antioquia y la Facultad Nacional de Salud Pública y de allí se derivará cualquier tipo de costo que se genere.

Beneficios

Con su participación usted se beneficia porque la información brindada será de gran utilidad para el desarrollo de la formulación del proyecto de saneamiento, y

en un futuro éste puede ser ejecutado en la zona, beneficiándolo directamente ya que propiciará una mejora en las condiciones de calidad de vida.

Riesgos

Esta investigación no representa ningún riesgo para usted como participante, pues solo se está haciendo una caracterización de la zona, para identificar las afectaciones que se tiene a la quebrada, esta información en ningún momento será utilizada para generar sanciones por la autoridad ambiental competente.

Derechos

Usted es libre de responder o no la encuesta de caracterización sin que esto le represente perjuicio de ningún tipo.

Confidencialidad

Nos comprometemos a guardar privacidad con los registros que puedan identificarlo como participante. La información suministrada se manejará de manera anónima y solo se utilizará un código en el estudio para identificarlo, su nombre no aparecerá en ningún informe.

Compensación

Su participación no representa ningún beneficio económico

Personas a contactar

En caso de tener preguntas o inquietudes sobre el proyecto puede contactarse con:

Los proponentes del proyecto

- Diego Enrique Vélez Gómez, Estudiante de pregrado de Administración en Salud con énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental. Teléfono 3003183659. Correo electrónico denrique.velez@udea.edu.co
- Eddie Andrés Guevara Petro, estudiante de pregrado de Administración en Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria Y Ambiental. Teléfono 301 563 9628. Correo electrónico eddie.guevara@udea.edu.co
- Elkin Yesid Bonet Arengas estudiantes de pregrado de Administración en Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria Y Ambiental. Teléfono 3145752106. Correo electrónico elkin.bonet@udea.edu.co

Comité de ética Universitario

- Presidenta del comité de ética de la investigación Facultad nacional de Salud Pública, Margarita Montoya. Teléfono: 2196830. Correo electrónico eticasaludpublica@udea.edu.co

Aceptación

¿Tiene alguna pregunta sobre el estudio, su participación o el formato de consentimiento informado?

Su firma abajo indica que usted decidió participar en este estudio.

Participante Nombre (en letra clara)	Lugar y fecha (día/mes/año)	Firma o huella digital

Testigo

Observé el proceso de consentimiento. El participante leyó este formato (o le ha sido leído), tuvo oportunidad de hacer preguntas, estuvo conforme con las respuestas y firmó (o colocó su huella digital) para ingresar al estudio.

Testigo Nombre (en letra clara)	Lugar y fecha (día/mes/año)	Firma o huella digital

Anexo 3. Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales IDEAM

INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código: TI0187	Fecha de elaboración: 10/09/2007	Versión:03
	TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES		

1. PROPÓSITO

En el presente documento se describen los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para la toma de muestras de aguas residuales industriales (ARI) o domésticas (ARD) para análisis en el Laboratorio.

2. APLICABILIDAD

El presente instructivo aplica para muestreo de aguas residuales provenientes de efluentes industriales, plantas de tratamiento, alcantarillados, entre otras; como parte de la prestación de servicios, convenios, contratos y solicitudes en general.

3. REQUERIMIENTOS

3.1. PERSONAL

Las actividades descritas a continuación deben ser realizadas por un profesional y/o técnico debidamente capacitado y avalado por el Laboratorio de Calidad Ambiental en la toma de muestras de agua, en la operación de sensores de campo y con conocimientos básicos en química.

3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- La siguiente es una lista general de los implementos requeridos en el momento del muestreo:
- Geoposicionador (si se tiene).
- Altimetro (si se tiene).
- Equipos portátiles para mediciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica.
- Muestreador (botella Van Dorn, Kemmerer o balde).
- Baldes plásticos de 10 L de capacidad, con llave, para la composición de muestras y medición de caudal cuando se requiera.

- Tubo plástico para homogenización de la muestra compuesta.
- Probeta plástica graduada de 1000 ml.
- Cronómetro.
- Neveras de icopor o poliuretano con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C.
- Frasco lavador.
- Toalla de papel absorbente.
- Cinta pegante y de enmascarar.
- Bolsa pequeña para basura.
- Esfero (bolígrafo) y marcador de tinta indeleble.
- Tabla portapapeles.
- Guantes.
- Papel aluminio (cuando se requiera).
- Cono imhoff para análisis de sólidos sedimentables (cuando se requiera).
- Agua destilada. En su defecto utilizar agua embotellada o de bolsa.
- Preservantes para muestras: Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), Ácido nítrico (HNO₃), Hidróxido de sodio (NaOH) 6N, Acetato de Zinc 6N, Ácido clorhídrico concentrado (HCl) u otro cuando se requiera.
- Recipientes plásticos y de vidrio. Varía según requerimientos de análisis.
- Formato de captura de datos en campo TF0188 y TF0195 (si la visita resulta no efectiva)
- Bolsa plástica para guardar los formatos.
- Instructivos de calibración del pHmetro (TI0363) y conductímetro (TI0362), instructivo de muestreo de aguas superficiales (TI0207).
- Cuerda de nylon de 0.5 a 1 cm de diámetro de longitud suficiente para manipular los baldes en las cajas de inspección.
- Papel indicador universal, para verificación de pH de preservación.
- Barretón de hierro para levantar tapas de cajas de inspección.
- Documentos de identificación personal (carnet del IDEAM, de EPS y ARP).
- Formato de Notificación de presunto accidente de trabajo suministrado por la ARP.
- Overol o ropa de trabajo cómoda y que le brinde protección adecuada
- Gafas de seguridad
- Máscara respiradora con filtros para ácidos y vapores orgánicos
- Impermeable
- Botas de caucho

4. PROCEDIMIENTO

Cuando vaya a realizar muestreo de calidad de aguas residuales siga las instrucciones descritas a continuación:

4.1. Organice las botellas rotuladas, los reactivos, formatos e insumos listados en el numeral 3. Para las unidades productivas que va a visitar.

4.2. Cuando llegue al punto de muestreo, identifíquese y solicite la colaboración necesaria para efectuar el muestreo y saque todo el material correspondiente al sitio.

Diligencie el formato TF0188 de captura de datos con la información de ubicación tiempo–espacial (nombre de la empresa, fecha, hora), observaciones de los contadores de agua y energía (si aplica), suministro de servicios, etc.

NOTA: Cuando el muestreo es realizado por la empresa o una entidad diferente de IDEAM NO se diligencia el formato TF0188 sino se acepta la remisión de muestras del cliente siempre que tenga toda la información básica requerida para la radicación de la muestra.

Con ayuda del geoposicionador y del altímetro determine la latitud, longitud y altitud del sitio exacto de vertimiento y regístrelos en el formato de captura de datos, en el numeral correspondiente. Si la unidad productiva tiene más de dos puntos de vertimiento, deberá georreferenciar cada uno de ellos.

4.3. Escriba con letra legible y con esfero el nombre del responsable del muestreo (pg 5 del formato).

4.4. Calibre el pHmetro y conductímetro siguiendo los procedimientos descritos en los documentos TI0363 y TI0362, respectivamente. Diligencie los resultados de calibración de los equipos portátiles en el formato TF0020 disponible para cada equipo.

4.5. Mida el caudal del efluente preferiblemente por el método volumétrico manual, empleando el cronómetro y uno de los baldes aforados. Purgue el balde.

4.6. Coloque el balde bajo la descarga de tal manera que reciba todo el flujo; simultáneamente active el cronómetro. Tome un volumen de muestra entre 1 y 10 L, dependiendo de la velocidad de llenado, y mida el tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización de la recolección de la descarga; siendo Q el caudal (en litros por segundo, L/s), V el volumen (en litros, L), y t el tiempo (en segundos, s), el caudal se calcula como $Q = V / t$, para ese instante de tiempo. Otros métodos de aforo aplicables se describen en el Anexo 1.

4.7. Repita el proceso cuantas veces sea necesario para obtener una muestra compuesta en el periodo de tiempo establecido.

4.8. Para cada alícuota recogida mida los sólidos sedimentables. Llene el cono Imhoff a la marca de 1 L con una muestra bien mezclada. Deje sedimentar durante 45 minutos, agitar suavemente la muestra cerca de las paredes del cono con una varilla o por agitación, dejar reposar durante 15 minutos, leer y registrar el volumen de sólidos sedimentables en el formato como mililitros por litro. Si el material sedimentado contiene bolsas de líquido contenido entre las partículas

grandes sedimentadas, estimar el volumen de éstas y restarlo del volumen de sólidos sedimentables. El límite práctico inferior de medición depende de la composición de la muestra y generalmente se encuentra en el rango de 0,1 a 1,0 ml/l. Donde exista una separación entre el material sedimentable y el flotante, no estimar el material flotante como materia sedimentable. Usualmente no se requiere de réplicas.

4.9. Mida los parámetros de campo, Introduzca los electrodos del pHmetro y conductímetro. Oprima la tecla MODE. Espere a que los valores en las pantallas de los equipos se estabilicen (el valor deja de titilar). Oprima la tecla READ. Cuando se estabilice la medición, registre los datos de pH, temperatura y conductividad eléctrica en la página 4 del formato TF0188.

4.10. Lave los electrodos con abundante agua ya que los valores extremos que pueden presentar los efluentes industriales los deterioran más rápidamente.

4.11. Componga una muestra desde 1 a 24 horas, según se haya establecido en el plan de muestreo.

4.12. Obtenga la muestra compuesta mezclando en un balde con llave los volúmenes de cada porción necesarios según la siguiente fórmula:

$V = \sum_{i=1}^n Q_i \quad V V_i$ == volumen de cada alícuota o porción de muestra, volumen total a componer (pueden ser 10 L),

$V_i = n \cdot Q_p$ donde: Q_{ip} == caudal instantáneo de cada muestra, caudal promedio durante el muestreo

n = número de muestras tomadas

4.13. Una vez mezclados los volúmenes, homogenice el contenido del balde por agitación con un tubo plástico limpio y proceda al llenado de los recipientes.

4.14. Registre en el formato de captura de datos en campo todas las observaciones a que haya lugar durante el muestreo y la integración de la muestra. Otras alternativas para la toma de muestras se detallan en el Anexo 2.

4.15. Etiquete las botellas antes del llenado. Los rótulos cuentan con la información de los analitos y la preservación respectiva. Diligencie el nombre de la empresa o punto de vertimiento, fecha y responsable del muestreo.

4.16. Cubra el rotulo con una cinta adhesiva transparente para evitar su deterioro.

4.17. Tan pronto se ejecuta el muestreo, purgue todas las botellas con muestra y proceda a llenarlas, mientras homogeniza el contenido del balde por agitación constante con el tubo plástico (NO agite directamente con la mano ni por rotación del balde).

4.18. Evite la inclusión de objetos flotantes y/o sumergidos. Extraiga la muestra del balde a través de la llave, nunca sumerja las botellas.

4.19. Tome la muestra para análisis de coliformes, aceites y grasas (cuando aplique) ubicando directamente la botella bajo el flujo del efluente, hasta

completar el volumen necesario sin dejarla rebosar. Si se trata de un canal abierto, sumerja la botella y sáquela rápidamente, sin dejarla rebosar. Si es evidente una capa de grasa flotante, deje constancia de tal situación en el formato de captura de datos.

4.20. Tome la muestra para análisis de sulfuros adicionando a la botella purgada el preservante (acetato de Zinc) y después de llenarla hasta cerca de la boca del recipiente, adicione el NaOH a pH>13 y continúe hasta llenado total sin dejar espacio de cabeza entre el nivel de líquido y la tapa.

4.21. Preserve las muestras dependiendo del parámetro a analizar, según se relaciona en la tabla 1. Use un frasco gotero y añada cerca de 1 ml = 20 gotas del preservante adecuado por cada 500 ml de muestra.

4.22. NOTA: en caso de muestras de lixiviados agregue el preservante a las botellas antes de llenarlas con muestra.

4.23. Tape cada botella y agítela.

4.24. Coloque las botellas dentro de la nevera y agregue hielo suficiente para refrigerar.

4.25. Enjuague con agua destilada los baldes y todos los elementos utilizados en el muestreo.

4.26. Coloque las botellas de un mismo sitio de muestreo dentro de la nevera en posición vertical y agregue hielo suficiente para refrigerar.

4.27. Termine de diligenciar el formato TF0188 y envíelo junto con las muestras al laboratorio, preferiblemente el mismo día del muestreo.

Tabla 1. Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo almacenamiento Recomendado/Regulatorio
Alcalinidad total	Refrigeración	24h/14d
Cloruros	No requiere	28d
Color	Refrigeración	48h/48h
Cianuro total	Adicionar NaOH a pH >12, refrigerar en oscuridad	24h/14 d; 24 h si hay sulfuro presente
Dureza	Adicionar HNO3 a pH < 2	6 meses/6 meses
Aceites y grasas	Adicionar HCl a pH < 2.0, refrigerar	28d/28d
DBO	Refrigeración	6h/48h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H2SO4 a pH < 2.0, refrigerar	7d/28d
Conductividad eléctrica	Refrigeración	28 d/28 d

Metales en general	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ a pH<2	6 meses/6 meses
Cromo VI	Refrigerar	24h/24h
Mercurio	Adicionar HNO ₃ a pH<2, refrigerar	28 d/28 d
Amonio	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2, refrigerar	7 d/28 d
Nitrato	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	48 h/48 h
Nitrato + Nitrito	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	1-2d/28d
Nitrito	Analizar tan pronto como sea posible ó refrigerar	Ninguno/48 h
Nitrógeno orgánico, Kjeldahl	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	7 d/28 d
Fenoles	Refrigerar, adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2.0	Preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar tan pronto sea posible /28 d después de la extracción.
Grasas y aceites	Adicionar HCl ó H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	28 d/28 d
Oxígeno disuelto, electrodo	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h
Oxígeno disuelto, winkler	Analizar inmediatamente, puede retrasarse la titulación después de la acidificación	8 h/8h
pH	Analizar inmediatamente	0.25 h/0.25 h
PO ₄	Para fósforo disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h/
Fósforo total	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0, refrigerar	28 d
Salinidad	Analizar inmediatamente	6 meses
Sólidos	Refrigeración	7 d/ 2-7 d
Sulfatos	Refrigeración	28 d /28 d
Sulfuros	Refrigerar, adicionar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL muestra; adicionar NaOH a pH > 9.0	28d/7d
Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h
Turbidez	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas; refrigerar	24 h/48 h

Anexo 4 Resultados Análisis del Laboratorio

 Universidad de Antioquia 1803	LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES INFORME DE RESULTADOS INF-16-2158	 Facultad de INGENIERÍA Página 1 de 2
--	--	--

1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

Cliente:	Eddie Andrés Guevara Petro		
Nit/C.C.:	1.039.462.619-3		
Dirección:	Calle 65 N° 56-84		
Teléfono:	571 95 35	Fax:	No suministrado
Solicitado por:	Eddie Andrés Guevara Petro	Dependencia / Cargo:	No suministrado

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

Procedencia:	Medellín, Antioquia			
Tipo de muestra:	Agua Cruda	Fecha de muestreo:	Octubre 09 de 2016	
Código de laboratorio	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por:	C.C.:	Hora de muestreo
16-2158-1	Punto de muestreo # 1	Elkin Bonet	1.064.794.920	10:00 a.m. a 04:00 p.m.
16-2158-2	Punto de muestreo # 2	Eddie Andrés Guevara	1.039.462.619	
16-2158-3	Punto de muestreo # 3	Diego Vélez	1.052.207.774	

Las muestras para análisis microbiológicos fueron tomadas a la 01:00 p.m.

3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Fecha de recepción:	Octubre 10 de 2016	Hora:	08:00 a.m.		
Fecha de análisis microbiológicos:	Octubre 10 de 2016	Hora:	10:00 a.m.		
Fecha de análisis fisicoquímicos:	Octubre 10 al 14 de 2016				
Fecha de reporte:	Octubre 19 de 2016				
Parámetro	Unidades	LDM*	Valor Obtenido		
			16-2158-1	16-2158-2	16-2158-3
Color Verdadero	UC	1,00	11,5	15,2	16,3
Conductividad	µS/cm	0,297	86,9 ± 2,8	79,1 ± 2,5	86,4 ± 2,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno-5	mg/L O ₂	3,04	< LDM	< LDM	4,96 ± 0,75
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	1,80	8,59 ± 0,62	11,8 ± 0,9	39,2 ± 2,8
pH	U.pH	2-12	7,222 ± 0,003	7,235 ± 0,003	7,368 ± 0,003
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L SST	2,83	< LDM	2,87 ± 0,19	16,7 ± 1,2
Sólidos Totales	mg/L ST	3,22	52,0 ± 3,5	70,0 ± 4,8	111 ± 8
Turbiedad	N.T.U.	0,100	1,71	2,57	9,50
Coliformes Totales	NMP/100mL	1	65 x 10 ³	152 x 10 ³	365 x 10 ³
<i>E-coli</i>	NMP/100mL	1	7 x 10 ³	4 x 10 ³	19 x 10 ³

*LDM: Límite de detección del método.



Acreditado por el IDEAM bajo la Norma ISO/IEC 17025-2005. Resolución 0123 de febrero 13 de 2012
 Resolución de Ampliación 0721 de mayo 11 de 2015
 Registro ICA. Resolución 03893 de dic. /05. "Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas". www.ica.gov.co
 Ciudad Universitaria. Calle 67 No. 53-108. Laboratorio 20-240/244. E-mail: laboratorioestudiosambientales@udea.edu.co
 Teléfonos 219 55 07 / 55 12. Fax: 211 90 28. Medellín

1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

Cliente:	Eddie Andrés Guevara Petro		
Nit/C.C.:	1.039.462.619-3		
Dirección:	Calle 65 N° 56-84		
Teléfono:	571 95 35	Fax:	No suministrado
Solicitado por:	Eddie Andrés Guevara Petro	Dependencia / Cargo:	No suministrado

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

Procedencia:	Medellín, Antioquia		
Tipo de muestra:	Agua superficial		
Fecha de muestreo:	Noviembre 14 de 2016	Hora de muestreo:	01:00 p.m
Código de laboratorio	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	C.C.
16-2695-1	Punto de muestreo # 1	Elkin Bonet	1.064.794.920
16-2695-2	Punto de muestreo # 2	Eddie Andrés Guevara	1.039.462.619
16-2695-3	Punto de muestreo # 3	Diego Vélez	1.052.207.774

Las muestras microbiológicas fueron tomadas a la 01:00 p.m.

3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Fecha de recepción:	Noviembre 15 de 2016	Hora:	07:30 a.m.		
Fecha de análisis fisicoquímicos:	Noviembre 15 a 29 de 2016				
Fecha de reporte:	Noviembre 30 de 2016				
Parámetro	Unidades	LDM*	Valor Obtenido		
			16-2158-1	16-2158-2	16-2158-3
Fosforo Total	mg/L P	0,050	<LDM	<LDM	0,094 ± 0,008
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L N	1,00	<LDM	<LDM	<LDM
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	----	6,57	7,22	7,06

*LDM: Límite de detección del método.

- ♦ Métodos Analíticos: Basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012

Fósforo Total: Espectrofotométrico – Ácido Ascórbico (4500-P-B,E).

Nitrógeno Total Kjeldahl: Método Micro Kjeldahl – Titulométrico (4500-N_{org}- B).

Oxígeno Disuelto: Modificación de Azida (4500-O-C).

 <p>Universidad de Antioquia 1803</p>	<p>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</p> <p>INFORME DE RESULTADOS</p> <p>INF-16-2158</p>	 <p>Facultad de INGENIERÍA</p> <p>Página 2 de 2</p>
--	---	---

- ♦ **Métodos Analíticos:** Basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. 2012

Color Verdadero: Colorimétrico – (2120-C).

Conductividad: Electrométrico – (2510-B).

Demanda Bioquímica de Oxígeno: Potenciométrico – Oxímetro – Prueba de los 5 días (5210-B y EPA 380.3).

Demanda Química de Oxígeno: Espectrofotométrico – Reflujo Cerrado (5220-D).

pH: Electrométrico (4500-H⁺-B).

Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico – Secado (103 - 105) °C (2540-D).

Sólidos Totales: Gravimétrico – Secado (103 - 105) °C (2540-B).

Turbiedad: Nefelométrico (2130-B).

Coliformes Totales: Sustrato definido (9223-B).

E-coli: Sustrato definido (9223-B).

4. OBSERVACIONES

- ♦ A solicitud del cliente se realizaron las anteriores mediciones.
- ♦ Cuando no se detecta la presencia de los compuestos analizados; no se reporta ND (No se Detecta) ni cero, sino <LDM (Menor del Límite de Detección del Método).
- ♦ Cuando no se detecta la presencia de microorganismos en 100 mL; se reportara (0<1) que equivale a que no hubo recuperación de microorganismos en 100 mL.
- ♦ Las muestras serán descartadas por el laboratorio 15 días después de entregado el informe.

5. CONFIDENCIALIDAD

- ♦ Los resultados reportados son válidos únicamente para las muestras recibidas y analizadas en el Laboratorio, son de carácter confidencial y de propiedad del cliente.

6. PARÁMETROS ACREDITADOS CON EL IDEAM

Matriz Agua: Alcalinidad Total, Cadmio, Calcio, Calcio Disuelto, Cloruros, Cobalto, Cobre, Conductividad Eléctrica, Cromo Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Detergentes, Dureza Cálcica, Dureza Total, Fluoruros, Fósforo Total, Hierro Soluble, Hierro Total, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Total Kjeldahl, Ortofosfatos, pH, Plata, Plomo, Potasio, Sólidos Disueltos Totales(SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Sulfatos, Sulfuros, Zinc, Coliformes Totales y *E. Coli*, *Pseudomonas Aeruginosas*, Bacterias Heterótrofas, m-Xileno, p-Xileno, Aldrín, 4,4'-DDD, 4,4-DDT, Heptacloro, HeptacloroEpóxido, Alfa-BHC, Endosulfan II, Endrin Aldehído, Metoxicloro, Acenafúleno, Acenafeno, Fenantreno, Fluoranteno, Benzo,Fluranteno, Ditocarbamatos. **Matriz Aire-Calidad del Aire:** Partículas Suspendidas Totales, Material Particulado como PM₁₀, Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Hidrocarburos Totales expresados como Metano, Compuestos Orgánicos Volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, p-Xileno, m-Xileno, o-Xileno). **Matriz Aire-Fuentes Fijas:** Material Particulado, SO₂, SO₃ y Neblinas de H₂SO₄, Óxidos de Nitrógeno, Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo. **Matriz Sedimentos:** Cadmio, Cobalto, Cobre, Manganeseo, Níquel, Plata, Plomo, Zinc, Aluminio, Bario, Cromo, Molibdeno, Mercurio, Selenio, Ditiocarbamatos.

7. RESPONSABILIDAD

Claudia Lucía Zuluaga Echeverry
Coordinadora de Laboratorio

Olga Cecilia Berrío Álvarez
Directora Técnica



Acreditado por el IDEAM bajo la Norma ISO/IEC 17025-2005. Resolución 0123 de febrero 13 de 2012

Resolución de Ampliación 0721 de mayo 11 de 2015

Registro ICA. Resolución 03893 de dic. /05. "Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas". www.ica.gov.co
Ciudad Universitaria. Calle 87 No. 53-108. Laboratorio 20-240/244. E-mail: laboratorioestudiosambientales@udea.edu.co
Teléfonos 219 55 07 / 55 12. Fax: 211 90 28. Medellín

Anexo 5. Manual mantenimiento pozos sépticos Corantioquia

¿Qué es un Tanque Séptico?

Un tanque séptico es un recipiente fabricado en fibra de vidrio que se instala enterrado y tapado. Su función es recibir y descontaminar las aguas residuales que se producen en nuestros hogares cuando realizamos labores cotidianas como cocinar, entrar al baño o lavar la ropa. Cuando el agua contaminada entra al tanque los residuos sólidos van al fondo, en un proceso llamado sedimentación.



Para lograr una buena descontaminación del agua el tanque cuenta con cuatro cámaras: la primera es la trampa de grasas, la segunda y la tercera son el tanque séptico y la cuarta (ubicada en el centro) es el filtro biológico o Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).



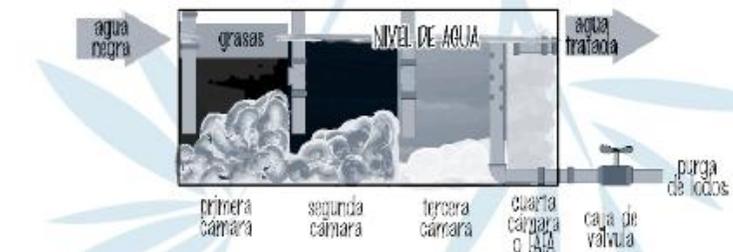
El tratamiento de las aguas residuales domésticas ó "aguas negras" es un compromiso de toda la ciudadanía.

¿Cómo funciona un Tanque Séptico?

1. En la primera cámara los materiales sólidos más pesados (materia fecal, sobras de comida, entre otros) van al fondo por sedimentación y los más livianos (grasas, natas, aceites, entre otros) se quedan en la superficie del agua por flotación.

2. En la segunda cámara caen los residuos que no fueron retenidos en la primera cámara, dando inicio al proceso biológico.

3. En la tercera cámara se retienen los residuos que no fueron retenidos en las cámaras uno y dos.

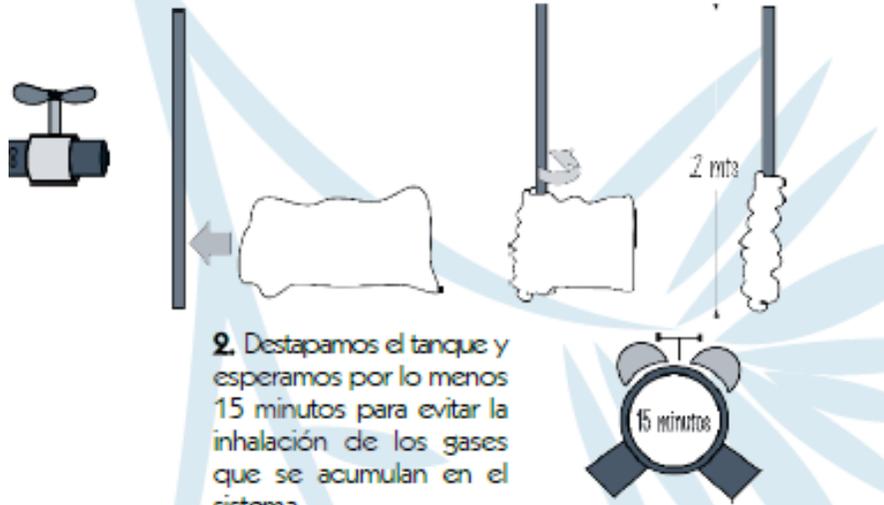


¿Cómo inspeccionar un Tanque Séptico?

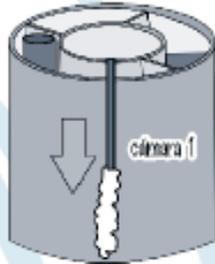
Para efectuar la inspección se debe proceder de la siguiente forma:

1. Para saber la altura de la capa de lodos, construimos una vara de dos metros de largo.

Debemos forrar un metro de la vara con tela blanca o estopa.

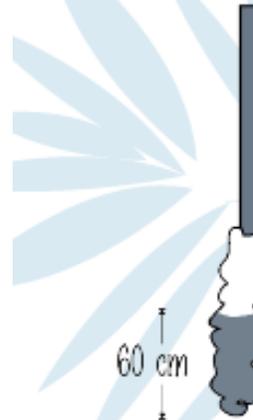


2. Destapamos el tanque y esperamos por lo menos 15 minutos para evitar la inhalación de los gases que se acumulan en el sistema.

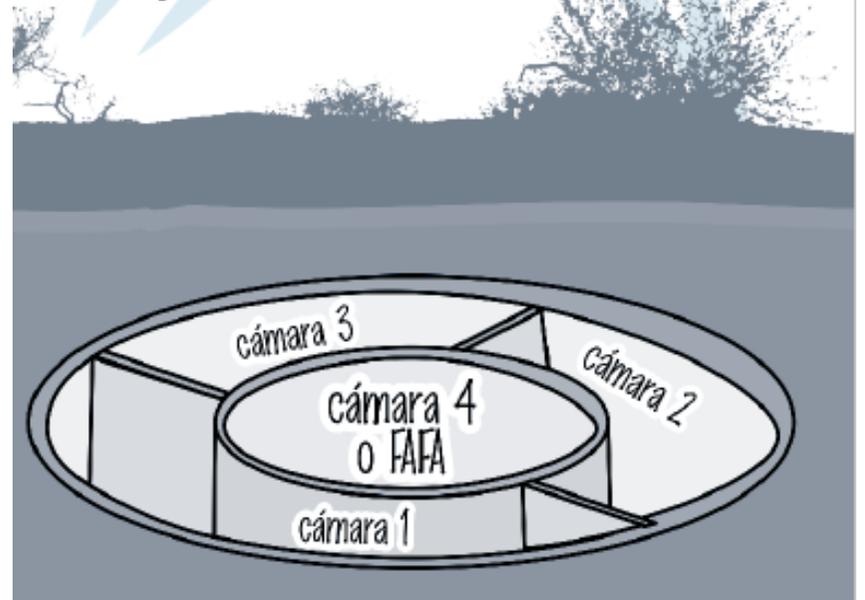


3. Introducimos la vara en la primera cámara (la que está ubicada al lado derecho de la tubería por la cual ingresa el agua) por la punta forrada hasta que toque el fondo.

4. Dejamos sumergida la vara dos minutos y luego retiramos lentamente.



5. Medimos la parte de la vara que sale impregnada de lodo negro. Si la altura es mayor a 60 centímetros, es el momento de hacer el mantenimiento a nuestro tanque. Si la altura es menor a 60 centímetros, procedemos a taponarlo de nuevo.

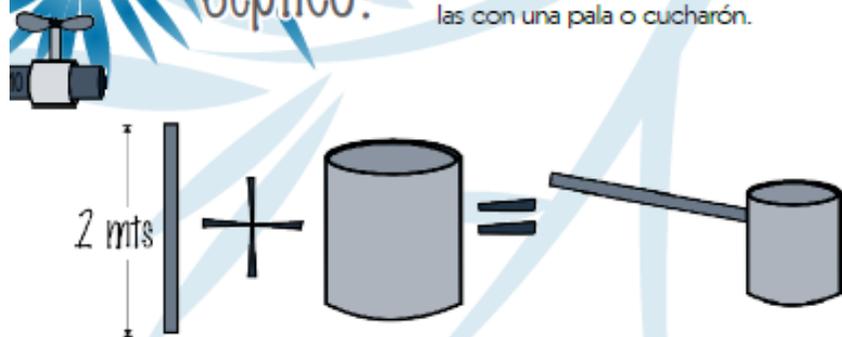


¿Cómo realizamos el mantenimiento del Tanque Séptico?

Remoción de natas

1. Elaboramos un cucharón con una vara de dos metros de largo y amarramos en la punta un tarro de lata o plástico.

2. Retiramos las natas y las grasas que flotan en el agua. Si las natas forman una masa o pasta dura, debemos sacarlas con una pala o cucharón.



Purga de lodos:

1. Para aflojar el lodo que se acumula en la tubería, abra y cierre la válvula de purga en forma consecutiva entre 5 y 6 veces. Esta válvula se encuentra en la parte inferior externa del tanque.

2. Permitimos que el lodo salga hasta disminuir su nivel en el tanque séptico a una altura aproximada de diez centímetros con el fin de dejar un cultivo de bacterias para el próximo tratamiento de las aguas negras.

NOTA: Si el tanque séptico queda ubicado en una zona plana, es necesario drenarlo mediante sistema de bombeo o con un balde.



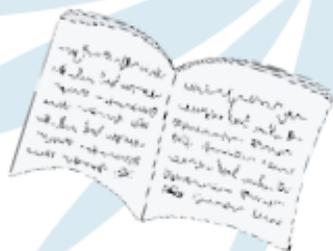
Quando vayamos a realizar esta labor utilicemos siempre los elementos de protección (botas de caucho, guantes y tapabocas) y tengamos a mano las herramientas para el mantenimiento (pala, balde, coche, etc.)



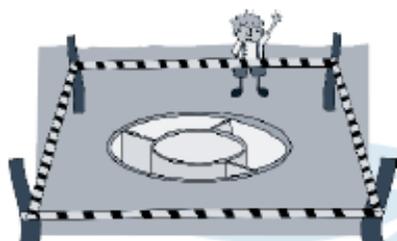


Evitemos usar detergentes y desinfectantes porque éstos matan las bacterias.

Llevemos un control permanente de la frecuencia con la que le hacemos mantenimiento a nuestro tanque haciendo uso del cuadro que se encuentra en la última página de esta cartilla.



Para prevenir accidentes es recomendable mantener alejados a los niños mientras realizamos el mantenimiento, para ello es preferible acordonar el área de trabajo con cinta de seguridad, lazo o alambre.



Una vez finalicemos el mantenimiento del tanque debemos bañarnos con agua y jabón suficiente para evitar el contagio de enfermedades.

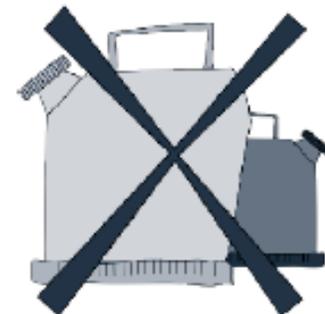


Para saber si el sistema séptico está funcionando correctamente, observemos en la superficie y olor a humedad, además de un color negruzco en



Al tanque séptico no deben llegar colillas de cigarrillo, papel higiénico, papeles desechables, cepillos de dientes, hojas secas, bolsas de plástico, condones, toallas higiénicas, trapos, y en general residuos de gran tamaño que puedan obstruir el sistema.

No debemos ingresar al sistema productos derivados del petróleo (gasolina, tinner, aceites), desinfectantes, ni residuos del lavado de tanques de fumigación con químicos ni fertilizantes, porque estas sustancias matan las bacterias que biodegradan las aguas negras.



Debemos reportar al municipio los cambios que presente el suelo (fisuras o grietas) por causa del sistema. Esta es una medida preventiva para evitar futuros daños.



Recomendaciones generales:

Es importante que no conectemos al sistema las marraneras, los beneficiaderos de café, los corrales de ganado u otra actividad diferente a los servicios de la casa.



No pasemos carros por encima del tanque porque las tapas no están diseñadas para resistir tanto peso.



Mantengamos las llaves del acueducto de la casa cerradas. Sólo debemos abrirla cuando sea necesario.



No fumemos cerca del tanque porque los gases que allí se generan pueden causar una explosión o un accidente.

Evitemos consumir alimentos y bebidas durante las labores de operación y mantenimiento del sistema.



Al sistema no deben ingresar las aguas lluvias provenientes de patios y techos ya que estas aguas lavan las bacterias presentes en el mismo.



Cuidando nuestro tanque séptico estamos asumiendo prácticas más amigables con el territorio que habitamos.

felicitaciones!

Ahora usted y su familia hacen parte del grupo de personas que se esfuerzan por no contaminar la tierra y por conservar limpias las fuentes de agua. Es importante completar el saneamiento con una disposición adecuada de las basuras, prácticas adecuadas de higiene en el hogar y el uso racional del agua.

El mantenimiento del tanque es un compromiso de todos los beneficiados del proyecto.

Tengamos en cuenta que debemos conservar esta cartilla como un documento importante. **En caso de que nos cambiemos de casa debemos entregar esta cartilla al nuevo inquilino**, con el fin de garantizar que la familia que la ocupe pueda hacer uso de ella.

