

EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DEL CORREGIMIENTO DE FELIDIA
ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI

ALEXANDER FERRO ENCISO

Proyecto de grado presentado
como requisito para optar al título de
Ingeniero Sanitario

Director del proyecto:

Ing. INÉS RESTREPO TARQUINO MSc, PhD

Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente
Universidad del Valle Sede Cali
Programa Académico de Ingeniería Sanitaria
Santiago de Cali, Marzo de 2012

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y fecha

DEDICATORIA

A mi esposa, por su amor, paciencia y apoyo incondicional

A mi hijo, la bendición más grande de Dios

A mi madre y a mi hermana, por su amor, comprensión y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

- A la comunidad de la cabecera del corregimiento de Felidia por su receptividad hacia el proyecto
- A los empleados de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Felidia por su valioso aporte, confianza y orientación durante la ejecución del proyecto.
- Al señor Juan Carlos Bastidas por su aporte con los análisis de laboratorio
- Al señor Luis Alberto Ramírez Hincapié por su apoyo durante el trabajo de campo
- A todas las personas que me apoyaron para llevar a cabo este trabajo.

1. RESUMEN

Durante el desarrollo del proyecto se identificaron las condiciones que afectan la sostenibilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de la cabecera del corregimiento de Felidia y que son un potencial riesgo sanitario para la comunidad y de deterioro de los ecosistemas.

El proyecto se dividió en tres etapas:

- Se realizó la caracterización socioeconómica de la comunidad para evaluar las condiciones de la zona de estudio en servicios públicos, vivienda, salud e higiene, ingresos, uso eficiente del agua y organización comunitaria
- Se realizó la caracterización del sistema de tratamiento de aguas residuales y la evaluación del dimensionamiento de las unidades de tratamiento.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica del agua residual y la fuente receptora para evaluar la eficiencia y el impacto ambiental del tratamiento.

Con base en la información recolectada se construyó la tabla de indicadores de sostenibilidad de acuerdo con la metodología propuesta por el instituto CINARA en el año 2005 para evaluar la sostenibilidad del sistema.

Los principales hallazgos fueron la alta producción de aguas residuales domesticas (540 L/hab-d), la baja cobertura de alcantarillado (65%), la falta de participación comunitaria (69%), los bajos ingresos del sistema de tratamiento y fallas en el funcionamiento del desarenador y los humedales construidos.

Las principales recomendaciones son: aumentar la cobertura de alcantarillado, capacitar a la comunidad en uso racional del agua, mejorar la administración de la empresa de servicios públicos, optimizar la gestión de facturación y mejorar la eficiencia de los humedales construidos.

Palabras clave: Sostenibilidad; Tratamiento de aguas residuales en zonas rurales; Uso eficiente del agua; Organización comunitaria, Servicios públicos.

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Definición.....	1
1.2. Evidencia.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Análisis DOFA del saneamiento básico rural en Santiago de Cali.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. MARCO CONTEXTUAL.....	8
4.1. Ubicación geográfica.....	8
4.2. Demografía.....	9
4.3. Condición socioeconómica.....	9
4.4. Servicios públicos.....	10
4.5. Identificación de problemas.....	10
4.6. Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	11
5. ESTADO DEL ARTE.....	12
5.1. Conceptos relacionados con el desarrollo sostenible.....	12
5.2. Sostenibilidad en plantas de tratamiento de aguas residuales.....	13
5.3. Normatividad colombiana de vertimientos.....	15
5.4. Definición de agua residual.....	17
5.5. Evaluación de la calidad del agua residual.....	17
5.6. Tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el sector rural del Valle del Cauca.....	18
5.6.1. Tratamiento preliminar.....	19
5.6.2. Tanque séptico.....	19
5.6.3. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	20
5.6.4. Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal.....	22
5.6.5. Lechos de secado de lodos con cubierta.....	28

6. OBJETIVOS.....	29
6.1. Objetivo General.....	29
6.2. Objetivos Específicos.....	29
7. METODOLOGIA.....	30
7.1. Caracterización socioeconómica de la comunidad.....	30
7.2. Caracterización del sistema de tratamiento.....	32
7.3. Caracterización fisicoquímica del agua residual, efluente del sistema de tratamiento y quebrada Felidia.....	32
7.4. Indicadores sostenibilidad.....	33
8. RESULTADOS Y ANALISIS.....	35
8.1. Caracterización socioeconómica de la comunidad.....	35
8.2. Caracterización del sistema de tratamiento.....	49
8.3. Caracterización fisicoquímica del agua residual, efluente del sistema de tratamiento y quebrada Felidia.....	68
8.4. Tabla de indicadores de sostenibilidad.....	71
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
10. CONCLUSIONES.....	77
11. RECOMENDACIONES.....	79
12. BIBLIOGRAFIA.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Norma de vertimientos. Decreto 1594 de 1984.....	16
Tabla 2. Clasificación de la calidad las fuentes superficiales.....	16
Tabla 3. Composición típica de las aguas residuales domesticas.....	18
Tabla 4. Criterios de diseño para FAFA.....	21
Tabla 5. Conductividad hidráulica (Ks) en un humedal construido.....	27
Tabla 6. Sostenibilidad para sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	34
Tabla 7. Instalaciones hidrosanitarias en la vivienda.....	37
Tabla 8. Hábitos de higiene en la vivienda.....	37
Tabla 9. Cantidad de agua para el aseo personal y de la vivienda.....	38
Tabla 10. Percepción de la comunidad hacia la calidad del agua.....	38
Tabla 11. Practicas de uso eficiente del agua.....	42
Tabla 12. Costos administrativos del sistema de tratamiento.....	44
Tabla 13. Costos operativos del sistema de tratamiento.....	44
Tabla 14. Costo del sistema de mitigación de olores.....	44
Tabla 15. Resumen de costos.....	45
Tabla 16. Ingresos operaciones del sistema de tratamiento.....	45
Tabla 17. Ingresos mensuales con cobertura del 90% y morosidad del 3%	45
Tabla 18. Ingresos del sistema aumentando el valor de la factura	46
Tabla 19. Mediciones realizadas en sitio del desarenador.....	52
Tabla 20. Parámetros del desarenador a diferentes condiciones de carga.....	55
Tabla 21. Dimensiones de los tanques sépticos.....	57
Tabla 22. Volumen efectivo de los tanques sépticos.....	57
Tabla 23. Variaciones estimadas en el caudal de aguas residuales.....	58
Tabla 24. Tiempo de retención de los tanques sépticos	58
Tabla 25. Dimensiones de los filtros anaerobios.....	59
Tabla 26. Volumen efectivo de los filtros anaerobios.....	60
Tabla 27. Variaciones estimadas en el caudal de aguas residuales.....	60
Tabla 28. Tiempo de retención hidráulico de los filtros anaerobios	61
Tabla 29. Dimensiones de los humedales construidos.....	62
Tabla 30. Área superficial requerida para el sistema Felidia.....	63
Tabla 31. Eficiencia estimada en de los humedales construidos.....	64
Tabla 32. Tiempo de retención requerido para DBO en los humedales	64
Tabla 33. Tiempo de retención de los humedales del sistema Felidia.....	65
Tabla 34. Muestreo Septiembre 23 de 2011.....	69
Tabla 35. Muestreo Octubre 21 de 2011.....	69
Tabla 36. Biodegradabilidad del agua residual cruda.....	70
Tabla 37. Muestreo Septiembre 23 de 2011.....	70
Tabla 38. Muestreo Octubre 21 de 2011.....	70
Tabla 39. Muestreo Septiembre 23 de 2011.....	71
Tabla 40. Muestreo Octubre 21 de 2011.....	71
Tabla 39. Indicadores de sostenibilidad para el sistema Felidia.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. División política del municipio de Santiago de Cali.....	8
Figura 2. Sección transversal de fosa séptica de dos compartimientos.....	56

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Morbilidad en el corregimiento de Felidia en 2006.....	2
Grafica 2. Enfermedades reportadas en el centro de salud de Felidia.....	2
Grafica 3. Distribución del número de personas por vivienda.....	35
Grafica 4. Numero de cortes del servicio de agua potable en el mes.....	39
Grafica 5. Principales causas de suspensión del servicio de acueducto.....	39
Grafica 6. Sistema de evacuación de excretas.....	41
Grafica 7. Aceptación de la tarifa de energía.....	43
Grafica 8. Aceptación de la tarifa de acueducto.....	43
Grafica 9. Aceptación de la tarifa de alcantarillado.....	43
Grafica 10. Aceptación de la tarifa de recolección de basuras.....	43
Grafica 11. Valor de la tarifa y capacidad de pago de las familias.....	46
Grafica 12. Asistencia a las reuniones de la Junta del Acueducto.....	47
Grafica 13. Participación de la mujer en la Junta del Acueducto.....	47
Grafica 14. Percepción de consenso en la Junta del Acueducto.....	48
Grafica 15. Condiciones de saneamiento críticas.....	49
Grafica 16. Principales enfermedades percibidas por la comunidad.....	49

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Cabecera del corregimiento de Felidia.....	9
Fotografía 2. Oficina de la empresa de servicios públicos de Felidia.....	10
Fotografía 3. Recolección de residuos sólidos.....	41
Fotografía 4. Vista del sistema de tratamiento.....	50
Fotografía 5. Estructura de separación.....	51
Fotografía 6. Canal de rejilla.....	51
Fotografía 7. Desarenador.....	52
Fotografía 8. Caja de distribución de caudales.....	56
Fotografía 9. Filtro anaerobio.....	59
Fotografía 10. Humedales construidos horizontales de flujo subsuperficial.....	62
Fotografía 11. Lecho de secado.....	66
Fotografía 12. Cámara de recolección gases.....	67
Fotografía 13. Descarga y mezcla con la fuente receptora.....	67
Fotografía 14. Muestreo en la descarga del sistema de tratamiento.....	68

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Definición

Alto riesgo ambiental y sanitario en la zona rural de Santiago de Cali provocado por la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas no sostenibles. Se estudiará el caso de la cabecera del corregimiento de Felidia.

1.2. Evidencia

La disposición de aguas residuales y excretas en las zonas rurales de Colombia es crítica. La falta de cobertura y la deficiente operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento aumentan los vertimientos sin tratamiento, la contaminación del suelo y el deterioro de las fuentes de agua (Restrepo, 2007).

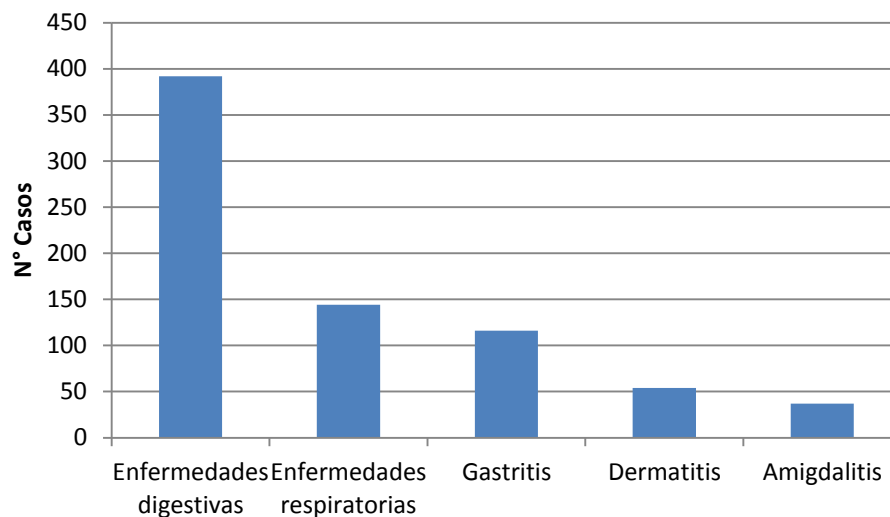
A pesar que las alternativas tecnológicas de saneamiento en zonas rurales son de fácil adaptación, su sostenibilidad es compleja, debido a las condiciones de la localidad y a la falta de apoyo institucional para la operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento (Restrepo, 2007).

También es importante mencionar que los sistemas de saneamiento no han funcionado debido a la implementación de tecnologías diseñadas para operar en condiciones ambientales diferentes a las colombianas y la falta de participación de la comunidad en la planeación y ejecución de los proyectos (Rodríguez, 2009).

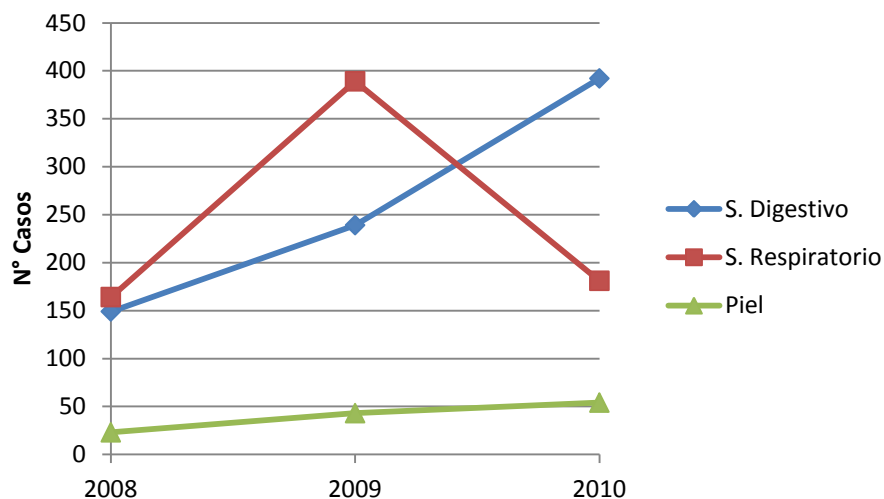
En el corregimiento de Felidia existe una alta incidencia de enfermedades asociadas al agua (Ver gráficas 1 y 2). Los casos enfermedades digestivas y de la piel se han incrementado entre 2008 y 2010.

La información de morbilidad reportada por centro de salud del corregimiento de Felidia, se agrupó debido a la falta de especificidad en los diagnósticos. El grupo

de “Enfermedades digestivas” comprende los diagnósticos de: “Parasitosis intestinal, sin otra especificación” y “Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso” y el grupo de “Enfermedades Respiratorias” comprende los diagnósticos de: “Rinofaringitis aguda (Resfriado Común)” e “Infección aguda de las vías respiratorias superiores, no especificada”.



Gráfica 1. Morbilidad en el corregimiento de Felidia en 2010
Fuente: ESE Ladera, 2011



Gráfica 2. Casos de enfermedad reportadas en el centro de salud de Felidia.
Fuente: ESE Ladera, 2011

2. ANTECEDENTES

Los primeros habitantes que se asentaron en la zona rural del municipio de Santiago de Cali, lo hicieron en sitios cercanos a fuentes de agua. Paralelo al abastecimiento de agua surgió la necesidad de disponer las excretas y los residuos sólidos (Gómez, 2010).

A medida que la zona rural se fue poblando y las enfermedades de origen hídrico se incrementaron, el Gobierno Nacional comenzó a destinar recursos para mejorar los sistemas de abastecimiento y al programa de tasas sanitarias y letrinas.

Mediante la Ley 80 de 1993, se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Los recursos provenientes de esta ley se asignaban de acuerdo a la proporción de población rural/ urbana. Esto provocó una evidente carencia de infraestructura sanitaria para el sector rural (Gómez, 2010).

Durante el periodo entre 1998 – 2000 el municipio realizó convenios con Emcali y la Secretaria de Infraestructura Vial, para la construcción de acueductos y alcantarillados en el área rural. En la ejecución de estos proyectos se presentaron numerosos problemas sociales y jurídicos que no permitieron obtener resultados significativos en los indicadores de calidad, cantidad, continuidad y cobertura.

Con la formulación del Plan de Servicios Públicos Domiciliarios mediante el acuerdo 069 de 2000, se definió un horizonte de planificación hasta el año 2011 para dotar de servicios públicos al área rural del municipio de Cali de acuerdo con los lineamientos propuestos dentro de las metas de milenio (Gómez, 2010).

A partir de 2008 la Secretaría de Salud Pública ha suscrito convenios con la Federación Nacional de Cafeteros para la realización de obras en acueducto y

alcantarillado con la interventoría de la Universidad del Valle. Esta asociación ha sido muy positiva por el fortalecimiento de las empresas de servicios y por el trabajo social realizado durante la ejecución de los proyectos (Gómez, 2010).

En el corregimiento de Felidia se optimizó la planta de tratamiento de aguas residuales en el año 2010 mediante la construcción de un desarenador, una cámara de distribución de caudales, dos tanques sépticos, dos filtros anaerobios, dos filtros fitopedológicos y un lecho de secado. Con estas obras, se espera reducir la contaminación de la cuenca del río Felidia en un 80%. (Gómez, 2010)

La evaluación del comportamiento del sistema tanque séptico, filtro anaerobio y humedal construido de flujo subsuperficial ha demostrado que puede operar hasta con el doble del caudal de diseño sin reducir la eficiencia del tratamiento y cumple con la normatividad ambiental colombiana. Por este motivo, esta combinación de tecnologías se considera una alternativa apropiada para municipios pequeños y medianos (Madera, 2003)

2.1. Análisis DOFA del saneamiento básico rural en Santiago de Cali

- Debilidades: La ausencia de sistemas de saneamiento adecuados, provoca contaminación de las fuentes hídricas, erosión, deslizamientos por infiltración de aguas residuales y aumento del riesgo a la salud pública.
- Oportunidades: Apoyo del gobierno municipal, del sector privado y las universidades en proyectos de agua y saneamiento.
- Fortalezas: Se tiene suficiente conocimiento del área rural y sus factores de riesgo, además existe buena comunicación con los líderes comunitarios y la población en general.
- Amenazas: Conflicto de intereses, cambios en los representantes en la comunidad y daños en las redes de alcantarillado por desestabilización de los terrenos.

3. JUSTIFICACIÓN

En el mundo mueren alrededor de 1,8 millones de personas debido a Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), de los cuales el 90% son niños menores de 5 años. Aproximadamente el 88 % de los casos son causados por agua de consumo insalubre y deficiente higiene (Mouthon, 2007).

En el año 2010, en el puesto de salud de Felidia se atendieron 392 casos de enfermedades digestivas, 181 casos de enfermedades respiratorias y 54 casos de enfermedades de la piel, en una población servida de 2047 habitantes.

En la Cumbre del Milenio de la Organización de las Naciones Unidas en el año 2000, Colombia al igual que 189 naciones, adoptaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio; comprometiéndose en materia de paz, seguridad, derechos humanos, protección del entorno y atención especial a la pobreza. Dentro de los Objetivos del Milenio, meta 10, propone reducir a la mitad el porcentaje de personas que carecen de acceso sostenible a agua potable y saneamiento básico (CGR, 2007).

La contaminación del agua con desechos humanos, animales o químicos puede provocar enfermedades como la diarrea, la esquistosomiasis, el cólera, la fiebre tifoidea, la disentería, la poliomielitis, la meningitis y las hepatitis A y B. La falta de saneamiento está asociada también a la infección por helmintos y tracoma. Los lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas favorecen la rápida propagación de estas enfermedades debido a que las heces expuestas en el ambiente contienen organismos patógenos que contaminan el agua y los alimentos. La construcción de letrinas sanitarias y el tratamiento de las aguas servidas permiten la degradación de los desechos y ayudan a prevenir las enfermedades causadas por la contaminación (URL-5, 2003).

La baja cobertura en agua y saneamiento en algunas regiones del país está estrechamente ligada a la morbilidad y mortalidad infantil. Cada año mueren en Colombia aproximadamente 13,600 niños menores de 5 años. Más de la mitad de estas muertes ocurren por causas prevenibles y muchas de ellas como consecuencia de la mala calidad del agua, las deficiencias en el sistema de alcantarillado, la inadecuada disposición de las basuras y el ambiente insalubre. Además de los niños que mueren por estas causas, muchos más sufren de diarrea crónica, desnutrición, así como enfermedades e infecciones que en muchos casos obstaculiza su asistencia y rendimiento escolar y compromete su desarrollo físico, emocional e intelectual. Para los adultos, las deficiencias de agua y saneamiento se traducen en enfermedades potencialmente mortales, en una disminución de la productividad, de los ingresos y en una baja calidad de vida (URL-1, 2009).

En Colombia existe una gran cantidad de municipios que vierten sus aguas residuales a las fuentes superficiales más cercanas, sin hacerles ningún tipo de tratamiento que disminuya el impacto ambiental. Esto representa una amenaza para la salud de la población, en especial de los municipios que obtienen el agua para consumo humano de las mismas fuentes donde se descargan aguas residuales. El problema es mucho más grave cuando los vertimientos de aguas residuales se hacen en cauces con baja capacidad de asimilación, como quebradas, ríos de bajo caudal y humedales, entre otros (URL-2, 2008). La cantidad de materia orgánica arrojada a los cuerpos de agua se estimó para el año 1999 en 500 toneladas diarias (IDEAM, SF) y los costos en salud por enfermedades de origen hídrico ascienden a 400 Millones de dólares en los últimos 10 años (MAVDT, 2009).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales reducen la contaminación de las fuentes superficiales y cuerpos de agua. Esto mejora la calidad de vida de las comunidades en cuanto a salud y productividad, además contribuye a la preservación de los ecosistemas. Para el funcionamiento óptimo y continuo de

estos sistemas, se debe realizar un análisis multifactorial que incluya los componentes ambientales, tecnológicos, sociales y económicos que permita implementar acciones orientadas a mejorar la sostenibilidad de las obras realizadas.

4. MARCO CONTEXTUAL

4.1. Ubicación geográfica

En la Figura 1, se observa que el corregimiento de Felidia se encuentra ubicado al Nor- Occidente del municipio de Santiago de Cali sobre la cordillera Occidental en la sub-cuenca del río Felidia, que a su vez es tributario río Cali.

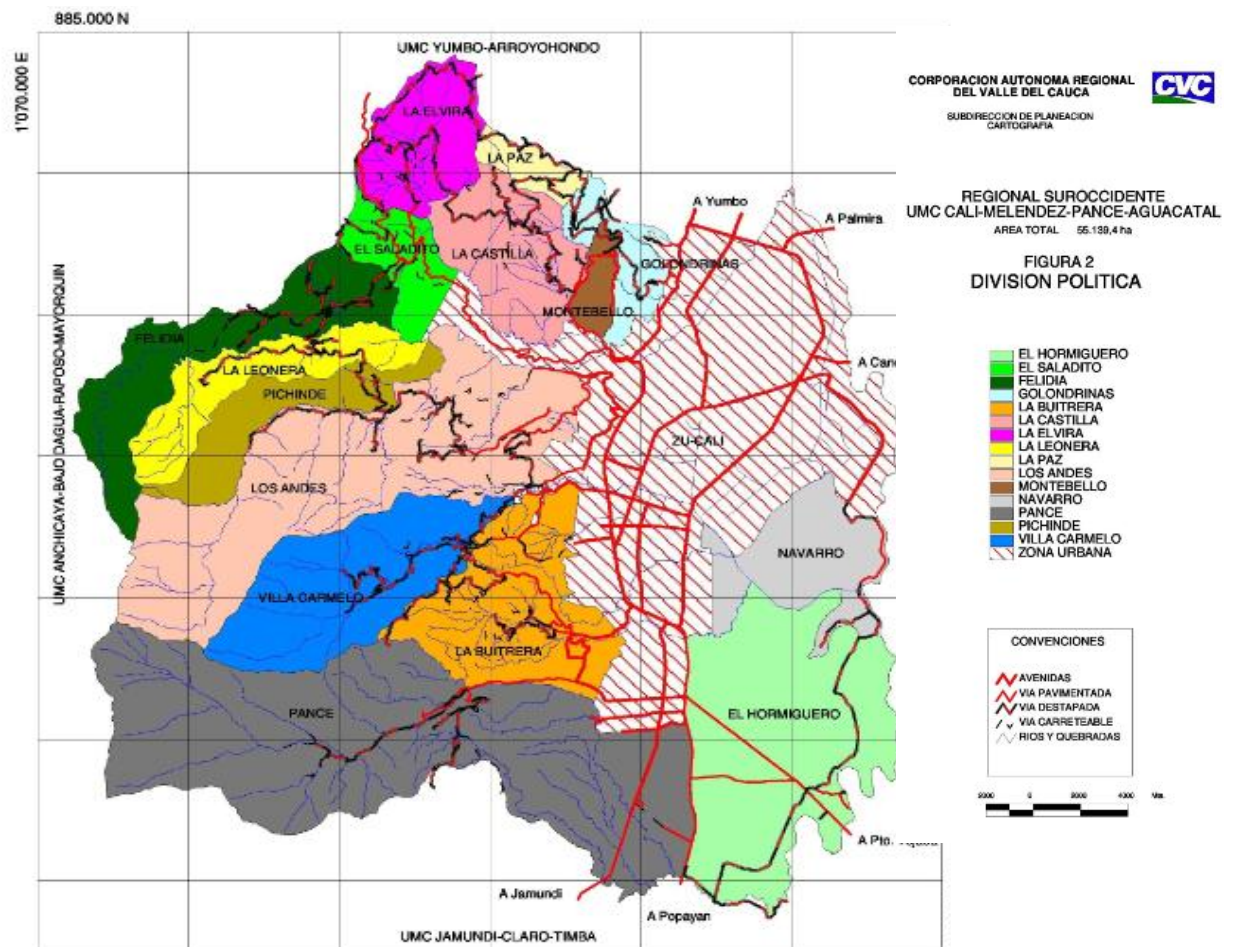


Figura 1. División política del municipio de Santiago de Cali.
Fuente: CVC, 2000

Sus límites son: al oriente con el corregimiento del Saladito, al occidente con el municipio de Buenaventura, al noroccidente con el municipio de Dagua, al norte con el municipio de Dagua y al sur con los corregimientos Saladito y La Leonera.

El Corregimiento está compuesto por seis veredas: Cabecera, La Esperanza, Las Nieves, El Diamante, El Cédral y La Soledad.

4.2. Demografía

La cabecera del corregimiento de Felidia (Fotografía 1) cuenta con 200 viviendas y 4 personas por familia en promedio. Con esta información se puede calcular una población aproximada de 800 habitantes (Bueno, 2011).



Fotografía 1. Cabecera del corregimiento de Felidia

4.3. Condición socioeconómica

La cabecera del corregimiento cuenta con un puesto de salud, una estación de Policía y cinco establecimientos educativos (Alcaldía de Cali, 2010).

La actividad económica principal son los negocios independientes como restaurantes, tiendas, ferreterías, etc. También se informa que gran parte de la población se desplaza hasta la zona urbana de Cali para desempeñarse en

trabajos de construcción y como empleadas domésticas. No existe ganadería bovina en la zona y existen pocos criaderos de cerdos y aves (Bueno, 2011).

4.4. Servicios públicos

En 2010 se optimizó la planta de potabilización y la planta de tratamiento de aguas residuales con lo que se espera mejorar las condiciones de saneamiento en el corregimiento. Sin embargo existen vertimientos de aguas residuales en las fuentes de agua debido a usuarios que no están conectados al alcantarillado por las condiciones topográficas de la vivienda. Como consecuencia, la comunidad vive bajo riesgo constante de enfermedades, contaminación, proliferación de insectos y erosión por la construcción de pozos sépticos mal diseñados (*Adaptado del Plan de Desarrollo 2008 – 2011*).

La entidad prestadora del servicio de agua potable y saneamiento es la Empresa Comunitaria de Acueducto y Alcantarillado de Felidia, ECAAF ESP (Fotografía 2)



Fotografía 2. Oficina de la empresa prestadora de servicios públicos de Felidia

4.5. Identificación de problemas

- Educación: La prestación del servicio de educación es deficiente, debido a la falta de personal administrativo, a la falta de idoneidad de los docentes y a la deficiente infraestructura de los establecimientos educativos (*Adaptado del Plan de Desarrollo 2008 – 2011*).

- Salud y bienestar social: La percepción de la comunidad hacia la calidad de los servicios de salud es negativa. Básicamente, porque no hay presencia permanente de un médico y además no se cuenta con servicio de urgencias, ni con un medio de transporte de pacientes a otros niveles de atención. También existen deficiencias en los programas de promoción y prevención en salud. *(Adaptado del Plan de Desarrollo 2008 – 2011).*
- Vías: Las vías del corregimiento se encuentran en mal estado, debido principalmente a la falta de mantenimiento y la mala disposición de aguas servidas en las calles (URL-3, 2008). Adicionalmente por trabajos en la red de alcantarillado, en donde no se repara adecuadamente la vía (Bueno, 2011).
- Vivienda y medio ambiente: El deterioro de las fuentes hídricas, se debe principalmente a la ampliación de la frontera agrícola y la adecuación de lotes para casas de veraneo. Además, existen problemas de contaminación con residuos agroquímicos que son el resultado de prácticas agrícolas inadecuadas. De igual manera se presentan problemas de erosión por las deficientes prácticas de conservación de suelos y el manejo inadecuado de residuos sólidos. La comunidad reconoce que todo lo anterior se debe al incumplimiento de las normas ambientales, a la débil acción de las autoridades ambientales, a la débil organización comunitaria y falta de conciencia ambiental *(Adaptado del Plan de Desarrollo 2008 – 2011).*

4.6. Sistema de tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera del corregimiento de Felidia se compone de una estructura de separación, un canal rejilla y de desarenación, una caja de distribución de caudales, tres tanques sépticos, dos filtros anaerobios, dos humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y una estructura de entrega. En el literal 8.2. se describirá el sistema de tratamiento.

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. Conceptos relacionados con el desarrollo sostenible

El alcance del desarrollo sostenible está en la relación entre el mundo social y el mundo natural. Este espacio se caracteriza por la presencia de múltiples variables que interactúan recíprocamente y de manera sistémica para producir resultados algunas veces difíciles de prever (Pérez, 2008).

La sostenibilidad puede entenderse como el equilibrio entre la búsqueda del desarrollo socioeconómico y la preservación del sistema natural y sus funciones ambientales. La complejidad en las relaciones ambiente-sociedad exige una actitud integradora que permita comprender las relaciones que se dan entre los organismos, los procesos naturales y la especie humana. (Pérez, 2008).

La sostenibilidad fuerte se sustenta en el “escepticismo tecnológico” y en el “principio de precaución” (Pérez, 2008).

Los problemas ambientales provienen de la intervención de la especie humana y se presentan en sistemas complejos, los cuales para ser comprendidos deben mirarse desde la teoría general de sistemas aplicada (TGS aplicada). La TGS permitió superar el análisis tradicional de aislar los elementos para poder comprenderlos, con lo que cobró auge el argumento de que para comprender no se requieren sólo los elementos sino las relaciones entre ellos. El análisis de los problemas ambientales debe partir del enfoque ecosistémico, el cual posibilita construir un nuevo marco interpretativo para el estudio de la sostenibilidad partiendo de las relaciones sistémicas entre los procesos biofísicos y socioculturales (Pérez, 2008).

5.2. Sostenibilidad en sistemas de saneamiento

El objetivo principal de un sistema de saneamiento es proteger la salud de las personas a través de la dotación de un ambiente limpio y de la interrupción del ciclo de las enfermedades. Para que un sistema sea sostenible, debe ser económicamente viable, socialmente aceptable, técnica e institucionalmente apropiado y también debe proteger el ambiente y los recursos naturales (URL-11, 2010).

Para lograr que las inversiones en agua y saneamiento generen los resultados esperados en la calidad de vida de las comunidades y la preservación del ambiente, se requiere una visión sistémica del problema, donde el agua es administrada como un recurso limitado y las soluciones sean formuladas bajo criterios apropiados de asignación y protección, considerando la cuenca hidrográfica como unidad de planificación (Galvis et al., 2008).

Los estudios realizados en sistemas de agua potable y saneamiento han permitido concluir que uno de los mecanismos de mayor impacto en la protección de los recursos hídricos es la adecuada selección entre las alternativas tecnológicas en el tratamiento de aguas residuales municipales, integrando aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos que permitan la transición de un enfoque tradicional, en donde el ambiente es una fuente inagotable de recursos y receptor de desechos a otro de procesos cerrados y eficientes que disminuyan el impacto ambiental y garanticen los usos posteriores del agua (Galvis et al., 2008).

Cuando se mejora un sistema existente o se diseña un nuevo sistema de saneamiento, se deben considerar los siguientes criterios de sustentabilidad:

- **Salud e higiene:** Incluye el riesgo de exposición a los patógenos y sustancias peligrosas que podrían afectar la salud pública en todos los puntos de un

sistema de saneamiento: el inodoro, la recolección, el sistema de tratamiento, el punto de reuso, el vertimiento y las captaciones aguas abajo. Este tema también incluye aspectos de higiene, nutrición y mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

- **Ecosistema:** Involucra la energía y recursos naturales requeridos para la construcción, operación y mantenimiento del sistema, así como las emisiones potenciales al ambiente resultantes de su uso. Además, se deben considerar factores como el uso del suelo, producción de olores y vectores, la caracterización y potencial reuso del efluente y los lodos, temperatura en el sitio de la planta, la precipitación promedio anual y la protección de los recursos no renovables (URL-11, 2010 y Galvis, 2005).
- **Tecnología y operación:** Incorpora la funcionalidad y la facilidad con la que el sistema en todos sus procesos puede ser construido, operado y monitoreado por la comunidad local y/o un equipo técnico. Otros aspectos importantes son la solidez del sistema, su vulnerabilidad, la adaptabilidad de sus elementos técnicos a la infraestructura existente y su flexibilidad a los desarrollos socio-económicos (URL-11, 2010).
- **Aspectos económicos y financieros:** Se relaciona con la capacidad de los hogares y comunidades para pagar por los costos de construcción, operación, mantenimiento, administración y reinversiones necesarias en el sistema de tratamiento (URL-11, 2010). Se deben considerar la cantidad de usuarios, los ingresos por familia y la posibilidad de subsidios (Adaptado de Galvis, 2005).

Además de la evaluación de los costos directos, se debe considerar también los beneficios directos, los costos externos y los beneficios externos.

- Beneficios directos: Aprovechamiento de subproductos.

- Costos externos: La reducción de la contaminación ambiental, los riesgos para la salud y deterioro de los ecosistemas.
 - Beneficios externos: Incremento en la productividad agrícola y la creación de puestos de trabajo.
- **Aspectos socioculturales e institucionales**: Los criterios en esta categoría evalúan la aceptación socio-cultural, la adaptación de la comunidad, la conveniencia, la percepción hacia el sistema, temas de género e impactos en la dignidad humana, la contribución a la seguridad alimentaria, el cumplimiento con el marco legal y ajustes institucionales estables y eficientes (URL-11, 2010).

La mayoría de los sistemas de saneamiento han sido diseñados teniendo en cuenta estos aspectos, sin embargo, en la práctica están fallando frecuentemente porque algunos de los criterios no son alcanzados. De hecho, probablemente no existe un sistema que sea absolutamente sostenible, pues el concepto de sostenibilidad es más una dirección que un estado a alcanzar. No obstante, es crucial que los sistemas de saneamiento sean evaluados cuidadosamente con respecto a todas las dimensiones de sustentabilidad. Ya que no hay una solución de saneamiento que se amolde a todas las situaciones y que llene los criterios de sustentabilidad en diferentes circunstancias en el mismo grado, la evaluación del sistema dependerá del marco local y se deberán considerar las condiciones ambientales, técnicas, socio-culturales y económicas existentes (URL-11, 2010).

5.3. Normatividad colombiana de vertimientos

La legislación para la prevención y control de la contaminación está reglamentada en el Decreto 3930 de 2010. Sin embargo este decreto todavía no tiene definida su norma de vertimientos; por esta razón, los vertimientos puntuales a un cuerpo de agua deben cumplir la norma del decreto 1594 de 1984 mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Normatividad colombiana de vertimientos líquidos
Fuente: Decreto 1594 de 1984

Referencia	Usuario existente	Usuario nuevo
pH	5 – 9 Unidades	5 – 9 Unidades
Temperatura	< 40°C	< 40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
SST domésticos	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
DBO ₅ Doméstica	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga

5.3.1. Clasificación de la calidad de las fuentes superficiales

La calidad de una fuente superficial se define cuando en el 90% del tiempo (t_{90}) de una serie de análisis fisicoquímicos y microbiológicos se cumplan con los parámetros de calidad de la indicados en la Tabla 2 (RAS, 2000).

Tabla 2. Clasificación de la calidad de las fuentes superficiales.
Fuente: RAS 2000

Parámetros	UND	Aceptable	Regular	Deficiente	Muy deficiente
DBO ₅ Prom. mes	mg/L	≤ 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
DBO ₅ Máx. diario	mg/L	1,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 6,0	> 6,0
Coliformes	NMP/ 100	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
pH Prom.	UND	6,0 - 8,5	5,0 - 9,0	3,8 - 10,5	3,8 - 10,5
Turbiedad	UNT	< 2	2 - 40	40 - 150	> 150
Color verdadero	UPC	< 10	10 - 20	20 - 40	> 40
Gusto y olor		Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros	mg/L	< 50	50 - 150	150 - 200	> 300
Fluoruros	mg/L	< 1,2	< 1,2	< 1,2	> 1,7

Los análisis deben ser realizados durante un ciclo de tiempo lluvioso y un ciclo de tiempo seco. La clasificación de las fuentes superficiales se realiza para definir el grado de complejidad requerido para sistemas de potabilización.

5.4. Definición de agua residual

Las aguas residuales municipales son aquellas aguas de consumo doméstico y productivo que después de ser utilizadas son descargadas a los alcantarillados o directamente al ambiente (MAVDT, 2002).

La materia orgánica (grasas, proteínas, carbohidratos) presente en las aguas residuales domésticas es degradada por los microorganismos, en condiciones aeróbicas cuando los cuerpos de agua no están altamente contaminados, o en condiciones anaerobias cuando se superan los niveles de asimilación, agotando el oxígeno disuelto, limitando la vida acuática y generando malos olores, producto de los procesos de descomposición (MAVDT, 2002).

El alto número de coliformes fecales presentes en los vertimientos, pueden sobrevivir en el ambiente hasta 90 días. Este hecho afecta la disponibilidad del recurso para consumo humano, ya que cualquier microorganismo patógeno, que esté presente en los vertimientos es potencialmente peligroso y susceptible de afectar la salud humana si no es controlado (MAVDT, 2002).

5.5. Evaluación de la calidad del agua residual

El diseño y manejo de las plantas de tratamiento de aguas residuales requieren de una evaluación de la calidad de las aguas residuales de la localidad.

Los principales parámetros a ser evaluados son: sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO₅), contenido de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), contenido de gérmenes y metales pesados (Rojas, 2002). La composición típica de las aguas residuales se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición típica de las aguas residuales domésticas.
Fuente: Rojas, 2002

Parámetro	Concentración (mg/L)		
	Baja	Media	Alta
Sólidos totales	350	700	1200
Sólidos suspendidos	100	200	350
Sólidos disueltos	250	500	850
Sólidos suspendidos volátiles	70	150	275
Sólidos sedimentables	5	10	20
DBO ₅	100	200	300
DQO	190	380	570
Nitrógeno orgánico	8	15	35
Nitrógeno amoniacal	12	25	50
Fosforo total	6	10	20
Cloruros	30	50	100
Alcalinidad	50	100	200
Grasas	50	100	150

5.6. Tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el sector rural del Valle del Cauca

El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de evitar la contaminación física, química, biológica de los ecosistemas. De un modo general, el tratamiento persigue evitar daños en los sistemas de abastecimiento, contaminación de las aguas destinadas a la recreación y otros usos, perjuicios a la actividad agropecuaria, depreciación del valor de la tierra, impacto al entorno ecológico y la prevención de enfermedades (Rojas, 2002).

Los sistemas de tratamiento de agua residuales construidos en las zonas rurales del Valle del Cauca, están conformados por tratamiento preliminar, tanque séptico, filtro anaerobio y humedal construido. Esta combinación ha probado ser resistente a variaciones de caudal y carga, lo que lo hace adecuado para zonas donde se presentan diversidad de actividades económicas y fluctuación de caudal por población flotante (Adaptado de CVC, SF y Madera, 2003).

El tratamiento se resume en tres etapas:

- El tanque séptico se encarga de degradar la materia orgánica particulada
- El filtro anaerobio degrada materia orgánica soluble
- El humedal construido se encarga de la reducción de nutrientes y patógenos

Una de sus principales ventajas es la baja producción de lodos, que facilita y reduce los costos de operación y mantenimiento.

La sostenibilidad técnica y ambiental de estos sistemas depende principalmente de su adecuado funcionamiento y a su vez del correcto dimensionamiento de las unidades de tratamiento.

5.6.1. Tratamiento preliminar

Está destinado al acondicionamiento de las aguas residuales mediante el cribado de sólidos de gran tamaño y la sedimentación de arenas. Esto con el objetivo específico de proteger las instalaciones, evitar obstrucciones en el sistema de tratamiento y mantener la estética de las plantas de tratamiento (Rojas, 2002).

5.6.2. Tratamiento primario : Tanque séptico

El objetivo del diseño, la operación y el mantenimiento de un tanque séptico, es que las aguas residuales permanezcan el tiempo necesario, con el fin de que se efectúen los procesos físicos y biológicos mediante los cuales las bacterias anaerobias descomponen la materia orgánica sedimentable convirtiéndola en gases, líquidos y sólidos, que se separan dentro del tanque por procesos físicos de sedimentación y flotación (URL-4, 2002). El efluente estabilizado, se lleva a postratamiento en sistemas secundarios o puede disponerse en terreno (URL-4, 2002). En el caso de unidades de gran tamaño, se deben diseñar como reactores de flujo a pistón (URL-6, 2009).

Entre sus principales características se encuentran:

- No requiere electricidad para su funcionamiento
- Aprovechamiento de la capacidad de infiltración del suelo
- Buena sedimentabilidad de materia orgánica particulada

▪ Dimensionamiento de un tanque séptico

Los parámetros de diseño más importantes en un tanque séptico son:

-
- Volumen de sedimentación: $V_s = Q \times TRH$ Ecuación 1
- Volumen de digestión de lodos: $V_d = P_L \times P \times N$ Ecuación 2

Donde:

V_s = Volumen de sedimentación en m^3 ; Q = Caudal de aguas residuales (m^3 / día);
 TRH = Tiempo de retención hidráulico en días; P = Población servida (hab);
 P_L = Producción anual de lodos por habitante en L/hab –año;
 N = Intervalo deseado en años, entre operaciones sucesivas de remoción de lodos.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) en tanques sépticos no debe ser menor a 0,2 días (Madera, 2007). La cantidad de lodos primarios producidos por habitante en un año son 40 – 60 litros/hab – año en clima cálido y 50 - 70 litros/hab – año en clima frío (Madera, 2007).

5.6.3. Tratamiento secundario: Filtro anaerobio de flujo ascendente

El Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA) es un sistema para el tratamiento de materia orgánica disuelta. Es un reactor en donde se tiene un lecho de contacto biológico fijo (inmóvil), donde el material de empaque debe tener idealmente una alta porosidad, de tal forma que se aumente la superficie específica de contacto entre el material orgánico a estabilizar y el medio filtrante (URL-10, 2007).

Previo al proceso FAFA se debe incorporar un tratamiento primario que elimine material suspendido del agua, con miras a evitar tempranas obstrucciones del filtro. Se debe tener control de la temperatura, pH, tipo de sustrato, nutrientes, tasa de crecimiento de los microorganismos, entre otros para lograr una estabilización efectiva de la biomasa.

Las ventajas de este sistema de tratamiento son la fácil operación y mantenimiento, menor requerimiento de área, baja producción de energía, baja producción de lodo y no requiere digestor de lodos. Las desventajas son la generación de olores, la alta sensibilidad a los cambios operativos, no es viable económicamente para aguas residuales con temperatura menor a 14°C y la baja remoción de nutrientes y patógenos (URL-8, 2007).

▪ Dimensionamiento de un filtro anaerobio de flujo ascendente

La información general necesaria para el diseño de un filtro anaerobio, principalmente, consiste en la población, el tipo de tratamiento, dotación, periodo de diseño, etc. Los criterios de diseño que se deben definir son: el coeficiente de retorno, el tiempo de retención hidráulico, % vacíos en el medio de soporte, la altura del medio filtrante, la altura del falso fondo y las condiciones de alimentación del sistema. Los valores recomendados se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Criterios de diseño para FAFA.

Fuente: Rodríguez, 2008

Criterios de diseño	Recomendación
Coeficiente de retorno	0,8
Tiempo de retención hidráulico	8 H
% vacíos en el medio de soporte	95%
Altura del medio filtrante	0,8 m
Altura del falso fondo	0,3 m
Área por punto de alimentación	2 m ²
Ángulo de alimentación	45°
Velocidad de alimentación	0,6 m/s

Los parámetros más importantes para el diseño de los filtros anaerobios son:

- Caudal de aguas residuales: $Q = P \times D \times C$ Ecuación 3
- Volumen de tratamiento: $V = Q \times TRH$ Ecuación 4
- Volumen de la zona de filtración : $V' = V / \% \text{ Vacios}$ Ecuación 5
- Área de la zona de filtración: $A = V' / h_{mf}$ Ecuación 6

Donde:

P = Población (Hab); D = Dotación (L/hab – d); C = Coeficiente de retorno;
% Vacios = Volumen vacio/ Volumen total en el medio de soporte;
TRH = Tiempo de retención hidráulico; h_{mf} = Altura del medio de filtrante

5.6.4. Tratamiento secundario avanzado: Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal

Los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal son sistemas que se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario a avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas, rellenos de material granular generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava (URL-7, 2009).

En estas estructuras, el caudal y la duración del agua residual en el sistema permiten mantener condiciones de saturación del medio granular. Suelen tener profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos (URL-7, 2009).

Se pueden lograr eficiencias de remoción de DBO_5 , sólidos suspendidos y nitrógeno superiores al 80%. En cambio la eliminación de fósforo es mínima en estos sistemas (URL-7, 2009).

En los humedales construidos, el sustrato mantiene la conductividad hidráulica del agua residual y sirve como medio de soporte para la fijación de los

contaminantes y el crecimiento de microorganismos. El oxígeno necesario para la degradación aerobia lo suministran las plantas emergentes sembradas en el lecho a través de las raíces (Adaptado de URL-7, 2009).

Los componentes de un humedal construido de flujo subsuperficial son:

- **Agua:** En la hidrología de un humedal, el sistema actúa fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración. La densidad de la vegetación reduce la exposición al viento y al sol, y además, obstruye las líneas de flujo haciendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces (URL-7, 2009).
- **Sustratos, sedimentos y restos de vegetación:** Los sustratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación; los cuales intervienen en la conductividad hidráulica del sistema y la fijación de los contaminantes. Además, la acumulación de restos de vegetación es una fuente de carbono y energía para las reacciones bioquímicas en el sistema y es un medio de soporte para la fijación de microorganismos (URL-7, 2009).
- **Vegetación:** El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Las plantas emergentes estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo, además, permiten que los materiales suspendidos se depositen y favorecen el paso de carbono, nutrientes y elementos traza a los tejidos de la planta (URL-7, 2009).
- **Microorganismos:** Una característica fundamental de los humedales que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos. Estos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes (URL-7, 2009).

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales (URL-7, 2009).

5.6.4.1. Dimensionamiento de humedales

El dimensionamiento de humedales de flujo horizontal se realiza en dos etapas: en la primera llamada dimensionamiento biológico se determina la superficie necesaria de tratamiento y en la segunda llamada dimensionamiento hidráulico se establecen las dimensiones geométricas del sistema (García, 2008).

- **Dimensionamiento biológico**

Para la obtención de las ecuaciones de diseño se asume que los humedales se comportan como reactores ideales de flujo a pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden. Por tanto, el balance de masa para un contaminante es simplemente:

Ecuación 7:

$$\frac{dC}{dt} = -K_v C$$

Donde:

C = concentración del contaminante en mg/L;
K_v = constante de cinética de primer orden, en d⁻¹.

El signo negativo en la expresión indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Si se integra esta ecuación entre la concentración del afluente (C₀ para t=0) y la concentración del efluente (C₁ para t=t, siendo este último el tiempo medio de retención hidráulico, en días) se obtiene:

Ecuación 8:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp (-K_v t)$$

El tiempo de retención hidráulico esta dado por:

Ecuación 9:

$$t = \frac{V}{Qmd} = \frac{\varepsilon x S x h}{Q}$$

Donde:

V = Volumen del humedal (m³); Q = Caudal medio diario (m³/d); S = Superficie del humedal (m²); ε = porosidad, en tanto por uno; h = Profundidad media del humedal (m)

Sustituyendo t en las dos ecuaciones anteriores y definiendo una nueva constante cinética de primer orden en función del área (K_A, en m/d):

Ecuación 10:

$$K_A = K_v x \varepsilon x h$$

Despejando S, se obtiene:

Ecuación 11:

$$S = \frac{Q}{K_A} x \ln \frac{C_0}{C_1}$$

Esta es la ecuación de diseño recomendada para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal. Los valores de Q y C₀ se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el de C₁ se define a partir de los límites de vertido establecidos por la normativa ambiental vigente (García, 2008).

El valor de K_A varía según el contaminante. Para eliminar la DBO es adecuado un valor de 0,08 m/d. Además, si el sistema se dimensiona para eliminar DBO, a la vez también se va a reducir la materia en suspensión de forma suficiente, ya que estos sistemas son más eficaces para eliminar la materia en suspensión que la DBO. Alternativamente también se puede dimensionar el sistema para eliminar nitrógeno utilizando el valor de K_A de 0,025 m/d (García, 2008).

Una característica notable de los humedales construidos de flujo subsuperficial es su poca sensibilidad a los cambios de temperatura para eliminar DBO. Numerosos estudios han demostrado que la eficiencia de eliminación de la DBO de los humedales no mejora en verano ni empeora en invierno de forma significativa (Kadlec y Knight, 1996). Es por ello que no se propone realizar una corrección por temperatura mediante la expresión de Arrhenius. No obstante, de forma práctica, si el humedal de flujo horizontal se dimensiona para eliminar nitrógeno se debe tener en cuenta que la eficiencia en invierno puede reducirse en un 30% (García, 2008).

Los anteriores valores de K_A son válidos para aguas residuales que llegan al humedal después de tratamientos previos con carga media ($DBO_5 < 250$ mg/L). Para cargas más elevadas es conveniente reducir el valor de K_A en un 20%.

Para llevar a cabo un buen dimensionamiento es importante plantearse diferentes escenarios en cuanto a caudales y concentraciones, y observar si para la superficie de diseño determinada, se cumplen los valores límites de vertido establecidos (García, 2008).

Una vez determinada la superficie de tratamiento se realiza una verificación final consistente en comprobar que la carga orgánica superficial sea menor de 6 g DBO/m^2 -d. En el caso que el valor obtenido sea superior a éste, se deberá incrementar la superficie necesaria para cumplir este criterio.

- **Dimensionamiento hidráulico**

El dimensionamiento hidráulico sirve para determinar las dimensiones del sistema (ancho y longitud) una vez conocida su superficie. El dimensionamiento hidráulico se realiza aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen del flujo en un medio poroso, mediante la siguiente expresión:

Ecuación 12:

$$QMD = K_s \times A_t \times s$$

Donde:

QMD = Caudal máximo diario, en m³/d; K_s = Conductividad hidráulica del medio en la dirección del flujo, en m³/m²-d; A_t = Sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo en m²; s = Gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), en m/m.

La conductividad hidráulica varía en función del tamaño del medio granular utilizado (Tabla 5) y se va reduciendo por la retención de sólidos y crecimiento del biopelícula en el sistema.

Tabla 5. Conductividad hidráulica (Ks) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal construido de flujo subsuperficial

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D10 (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica Ks (m3/m2×d)
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10 000
Gravas medianas	32	36-40	10 000-50 000

Fuente: García, 2008

El ancho del humedal se calcula con base el área transversal y la profundidad. La longitud se calcula con base en el área superficial y el ancho.

5.6.5. Lechos de secado de lodos con cubierta

En los lechos de secado el lodo se deshidrata por efecto de la percolación y la evaporación. La fase acuosa se infiltra a través de capas de grava y arena, se recolecta en tuberías de drenaje hasta una cámara y se bombea el líquido hacia los tanques sépticos. (URL-8, 2007).

El tiempo requerido para el proceso depende de las características del lodo, el área disponible, la humedad final requerida y las condiciones climáticas. Se recomienda que los lechos estén cubiertos para proteger el lodo de la lluvia.

En cuanto a los aspectos ambientales, se puede decir que los biosólidos, dependiendo de su clasificación pueden ser utilizados para la recuperación de suelos degradados o agricultura. Con respecto a la generación de olores, se puede decir que los lodos estabilizados no deben presentar malos olores, sin embargo, estos pueden ser controlados agregando hipoclorito de calcio a los lodos hidratados.

Entre las ventajas más relevantes son: escaso mantenimiento, bajo costo de inversión, no requiere electricidad, bajo consumo de insumos químicos, entre otras. Como desventajas se encuentra que solo es viable para lodos estabilizados, alto requerimiento de área, sensible a cambios de clima, impacto visual, entre otras (URL-8, 2007).

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Identificar las condiciones de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales instalado en la cabecera del corregimiento de Felidia del Municipio de Santiago de Cali con base en la determinación de indicadores de sostenibilidad.

6.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la comunidad servida por la planta de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia.
- Caracterizar el sistema de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia.
- Evaluar la sostenibilidad ambiental, social, técnica y económica de la planta de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia.
- Identificar posibles alternativas de mejoramiento del sistema de saneamiento del corregimiento de Felidia.

7. METODOLOGIA

Este proyecto se enmarca dentro del contexto de la investigación operativa, que busca orientar la toma de decisiones, a través de un estudio retrospectivo de análisis de situación enfocado en el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera del corregimiento de Felidia.

El proyecto se divide en tres etapas:

- Caracterización socioeconómica de la comunidad.
- Caracterización del sistema de tratamiento
- Caracterización fisicoquímica del agua residual cruda, del efluente del sistema de tratamiento y de la quebrada Felidia

7.1. Caracterización socioeconómica de la comunidad

Para la caracterización de la comunidad se realizaron encuestas para la construcción de indicadores de sostenibilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad.

El formato de las encuestas incluyó una serie de preguntas que abarcan las condiciones de la familia en cuanto a instalaciones hidrosanitarias, higiene en la vivienda, servicio de acueducto, uso eficiente del agua, manejo de excretas, nivel de ocupación e ingresos de las familias, aceptación de las tarifas de servicios públicos, organización comunitaria y enfermedades más frecuentes.

El tamaño de la muestra para encuestas domiciliarias fue calculado con base en la metodología que utiliza actualmente el grupo de saneamiento básico del instituto CINARA.

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Donde:

- N = Cantidad total de viviendas en la zona
- p = Proporción de viviendas con características similares. La agrupación de estas características forma categorías respecto a las viviendas que indican la variabilidad de las condiciones de una localidad.
- q = Es la proporción de viviendas con características diferentes a las utilizadas para estimar p . En síntesis $q = 1 - p$.
- Z_{α} = Es el valor en la tabla normal que muestra la distribución de probabilidad de una variable para un nivel de confianza deseado.
- d = Es el error permitido en la estimación de la muestra. En este caso se asumió del 5%.
- n = Tamaño de la muestra (en este caso cantidad de viviendas a encuestar)

Para establecer el número total de viviendas y el valor p se utilizó el plano de predios y el plano del alcantarillado suministrados por la oficina de planeación municipal del municipio de Santiago de Cali y la Empresa Comunitaria de Acueducto y Alcantarillado de Felidia (ECAAF) respectivamente.

El valor de N se estableció mediante el conteo total de los predios y el valor p se calculó con base en los predios con posibilidad de acceso a la red de alcantarillado según su ubicación y condición topográfica

Para el caso de estudio se tomaron los siguientes valores:

- $N = 250$ viviendas
- $p = 0,76$ proporción de viviendas con posibilidad de conexión al alcantarillado
- $q = 0,24$ Proporción de viviendas sin posibilidad de conexión al alcantarillado
- $Z = 1,28$ para un intervalo de confianza del 90%
- $d = 0,05$ para un porcentaje de error en la medición del 5%
- $n = 80$ viviendas encuestadas.

Para complementar las encuestas y evaluar posibles sesgos, se entrevistaron algunos empleados de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Felidia, los cuáles fueron:

- La administradora: Encargada de la facturación y atención al público.
- Operador de la planta de potabilización
- Operador de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para estimar la capacidad de pago del servicio de alcantarillado de las familias, se emplearon las siguientes preguntas en el formato de las encuestas:

- Cuantas personas habitan en la vivienda?
- Cuantas personas trabajan?
- En que trabajan?

Con base en los resultados se estimó el nivel de ingresos de cada familia encuestada y se considera que la capacidad de pago para el servicio de alcantarillado es del 1% de los ingresos.

7.2. Caracterización del sistema de tratamiento

Para la caracterización de la planta de tratamiento se realizó la descripción de las unidades de tratamiento. Posteriormente se realizó la evaluación del dimensionamiento del sistema con base en mediciones en sitio de longitud, ancho y profundidad útil de cada unidad de tratamiento. Para eliminar la incertidumbre en el volumen calculado, se construirán diferentes escenarios de volumen efectivo y caudal de operación para calcular los parámetros de diseño del sistema y compararlos con los recomendados en la literatura.

7.3. Caracterización fisicoquímica del agua residual, del efluente del sistema de tratamiento y de la quebrada Felidia

Para la caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales y la fuente receptora se realizó aforo y muestreo en los siguientes puntos:

- Entrada del sistema de tratamiento
- Descarga del sistema de tratamiento
- Cauce de la quebrada Felidia antes del vertimiento.

La composición de la fuente receptora después de la descarga se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$C_f = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}$$

Donde:

C_f = Concentración después de la mezcla; C_1 = Concentración del contaminante en el vertimiento; Q_1 = Caudal del vertimiento; C_2 = Concentración del contaminante en la fuente receptora; Q_2 = Caudal de la fuente receptora

Se realizaron dos muestreos puntuales de acuerdo con el documento “Guía de toma y preservación de muestras” (IDEAM, SF). Los análisis fisicoquímicos fueron: DBO₅, DQO, SST, SSV, Grasas y aceites, pH y temperatura.

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados con la asesoría del laboratorio ambiental de la empresa Cartón de Colombia S.A. (certificado por el IDEAM) y los resultados emitidos son de total responsabilidad del investigador.

Los resultados de los análisis del agua residual cruda y del efluente permitirán estimar la eficiencia de sistema de tratamiento y el cumplimiento de la normatividad ambiental colombiana

Los resultados de los análisis del efluente y de la quebrada Felidia permitirán estimar el impacto ambiental de la descarga y la capacidad auto-depuradora de la fuente receptora para sistemas de potabilización aguas debajo de la localidad.

7.4. Indicadores de sostenibilidad

Con la información recolectada se construyó la Tabla 6 de indicadores de sostenibilidad de acuerdo a la metodología propuesta por el instituto Cinara aplicada al sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera del corregimiento de Felidia

Tabla 6. Indicadores de sostenibilidad para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

FACTOR DE SOSTENIBILIDAD	INDICADOR	META
Planificación		100%
Cantidad	Caudal (lps)	*
	Volumen Mensual (m ³ /mes)	*
Eficiencia	Remoción de DBO (%)	>= 80
	Remoción de sólidos suspendidos (%)	>= 80
	Remoción de grasas y aceites (%)	>= 80
	pH	5.0 – 9.0
Continuidad	Tiempo Diario de Funcionamiento (h/día)	*
	Tiempo Mensual de Funcionamiento (día/mes)	*
Participación y Gestión Comunitaria con enfoque de Género	Gestión gerencial: Existe un sistema de organización que permite la participación efectiva de los usuarios en el control y toma de decisiones para el manejo de las aguas residuales.	Si
	Participación de la Mujer: En la Asociación que está encargada del manejo del agua residual participan mujeres que toman decisiones.	100%
	Participación de la Comunidad: Asistencia de los usuarios a las reuniones convocadas por la Asociación	100%
	Socialización de los Proyectos: Socialización a los usuarios de los proyectos de saneamiento.	Si
Operación y mantenimiento	Daños (daños/mes)	*
	Tiempo de Respuesta a Daños (días)	*
	Índice de Mantenimiento:	1
	Capacidad institucional: Existe personal entrenado en la operación y mantenimiento de la planta con equipos y métodos.	Si al menos una persona
	Existe la capacidad de realizar o contratar la ejecución de los análisis de laboratorio requeridos para la operación normal de la planta de tratamiento (personal, materiales y equipos).	Si

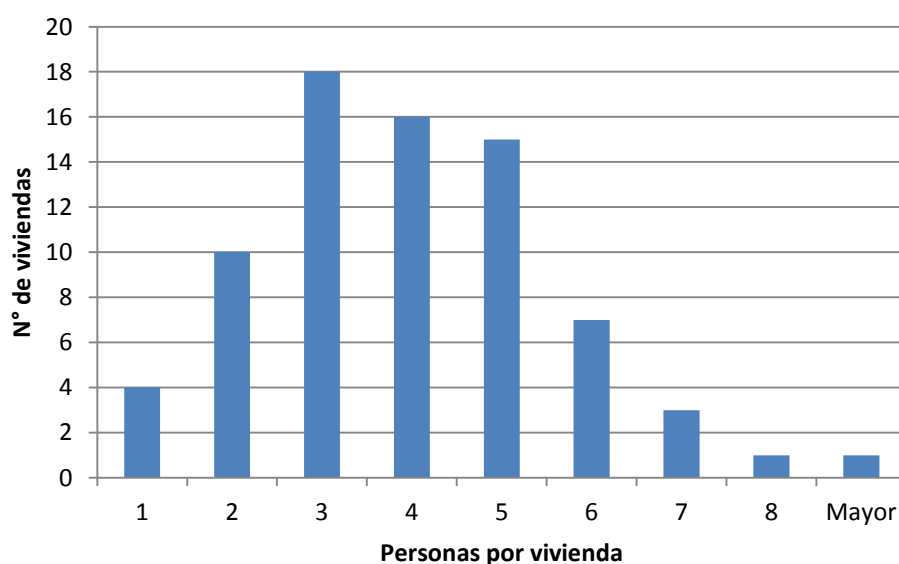
8. RESULTADOS Y ANALISIS

8.1. Caracterización socioeconómica de la comunidad

Se realizaron encuestas domiciliarias para evaluar el estado del tratamiento de aguas residuales domésticas en el corregimiento de Felidia. En esta actividad se procesaron una serie de preguntas que permitieron estimar las condiciones de saneamiento básico, la producción de aguas residuales, la percepción de la comunidad hacia el sistema de tratamiento y la capacidad financiera de las familias. Con esta información se construyen los indicadores de sostenibilidad social y económica del sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad.

8.1.1. Población

La cabecera del corregimiento de Felidia cuenta con 205 viviendas, las cuáles se obtuvieron del plano de predios de planeación municipal.



Gráfica 3. Histograma del número de personas por vivienda

Con un promedio de 4 personas por vivienda (Gráfica 3) y 205 viviendas se calcula una población de 820 habitantes.

8.1.2. Producción aguas residuales

El caudal de aforo del sistema de tratamiento de aguas residuales según el plan de muestreo para la caracterización fisicoquímica fue de 4 L/s en promedio.

De acuerdo con la hora de los aforos (8:00 A.M.), se estima que el caudal medido corresponde al caudal máximo horario (CEPIS/OPS, 2005). El coeficiente máximo horario se asume en 1,5 (CEPIS/OPS, 2005).

$$Q_{md} = \frac{Q_{MH}}{K_2} = \frac{\frac{4 \text{ L}}{\text{S}} \times \frac{86400 \text{ S}}{\text{d}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}}}{1,5} = 230 \text{ m}^3/\text{d}$$

Donde:

Qmd= Caudal medio diario de aguas residuales en m³/d;
QMH = Caudal máximo horario en L/s; K₂=Coeficiente máximo horario

Teniendo una población de 820 habitantes, una cobertura del 65 % del alcantarillado (Literal 8.1.8) y un coeficiente de retorno del 80%, se tiene:

$$Pr = \frac{Q_{md}}{P \times C \times K} = \frac{230 \text{ m}^3/\text{d}}{820 \times 0,65 \times 0,8} = 540 \text{ L/hab} - \text{d}$$

Donde:

Pr = Producción per cápita de aguas residuales en L/hab-d;
Qmd= Caudal medio diario de aguas residuales en m³/d;
P = Población total; C = Cobertura del alcantarillado (C = 65%. Ver literal 8.8);
K = Coeficiente de retorno de agua al sistema de alcantarillado

8.1.3. Instalaciones hidrosanitarias en la vivienda

En las viviendas encuestadas se observan adecuadas instalaciones para la preparación de alimentos y el aseo personal (Tabla 7). La principal deficiencia se

presenta por la ausencia de lavamanos en la parte alta del corregimiento, donde se reemplaza el lavamanos por lavadero.

Tabla 7. Instalaciones hidrosanitarias en la vivienda

Equipo	SI	NO
Sanitario	99%	1%
Lavamanos	86%	14%
Ducha	96	4
Cocina	100	0

8.1.4. Higiene en la vivienda

Los hábitos de higiene de la comunidad en cuanto a la preparación de alimentos e higiene personal son buenos (Tabla 8). Esto contribuye a la prevención de enfermedades por contaminación química y microbiológica.

Tabla 8. Hábitos de higiene en la vivienda

Pregunta	SI	NO
Usa jabón para el aseo de manos y cuerpo?	100%	0%
Usa jabón para la limpieza de los utensilios de cocina?	97%	3%

8.1.5. Cantidad de agua

El suministro de agua para la preparación de alimentos y aseo personal es suficiente (Tabla 9). Este volumen no considera demandas que se encuentran fuera del uso doméstico, como el centro de salud, instituciones educativas y establecimientos comerciales.

Tabla 9. Cantidad de agua para el aseo personal y de la vivienda

Pregunta	SI	NO
A la vivienda llega suficiente agua para el baño?	100%	0%
A la vivienda llega suficiente agua para la cocina?	97%	3%

8.1.6. Calidad de agua

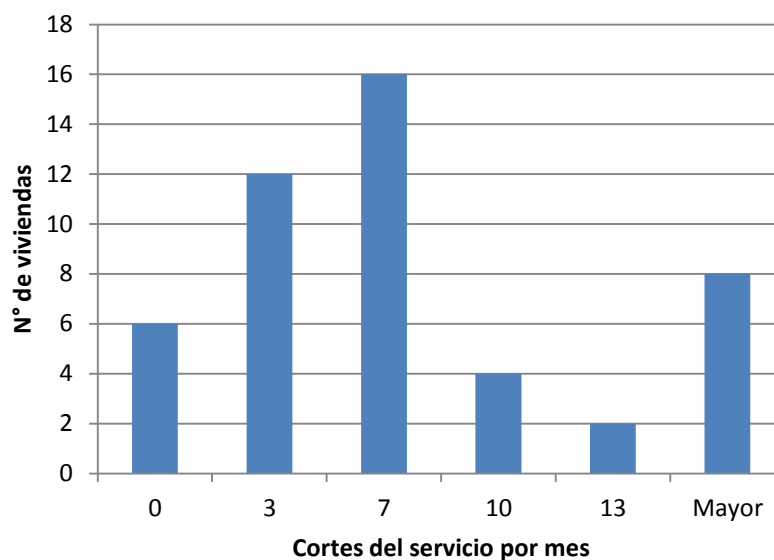
La calidad del agua de suministro cumple entre el 85% y el 89% con las expectativas de la comunidad para el uso doméstico y la higiene personal, pero genera un rechazo del 33% para consumo directo (Tabla 10).

Tabla 10. Percepción de la comunidad hacia la calidad del agua

Pregunta	SI	NO
La calidad del agua es buena para el aseo personal?	89%	11%
La calidad del agua es buena para la preparación de alimentos?	85%	15%
Consume agua directamente de la llave?	67%	33%

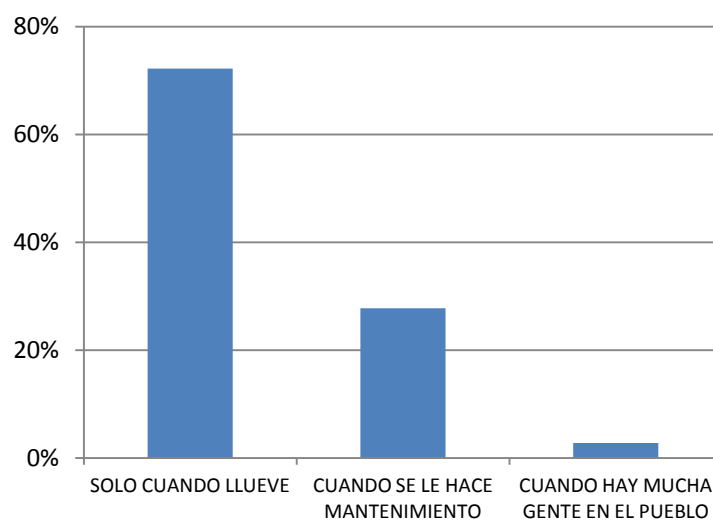
8.1.7. Continuidad

El suministro de agua potable se suspende todos los días de forma programada en la madrugada para recuperar el nivel del tanque de almacenamiento, sin embargo, la mayor parte de la comunidad reconoce solamente siete cortes de agua en el mes (Gráfica 4). Esto se debe a que en la madrugada se reduce la demanda de agua y la mayor parte de las viviendas puede satisfacer sus necesidades con el líquido remanente en la red de distribución.



Gráfica 4. Histograma del número de cortes de agua potable en el mes

Las paradas de la planta de potabilización por turbiedad alta durante los eventos de lluvia (Gráfica 5) son la principal causa de suspensión del servicio de agua potable.



Gráfica 5. Principales causas de suspensión del servicio de acueducto

8.1.8. Evacuación de aguas servidas y excretas

La red de alcantarillado actual del corregimiento comprende desde el tanque de almacenamiento de agua potable hasta la planta de tratamiento de aguas residuales.

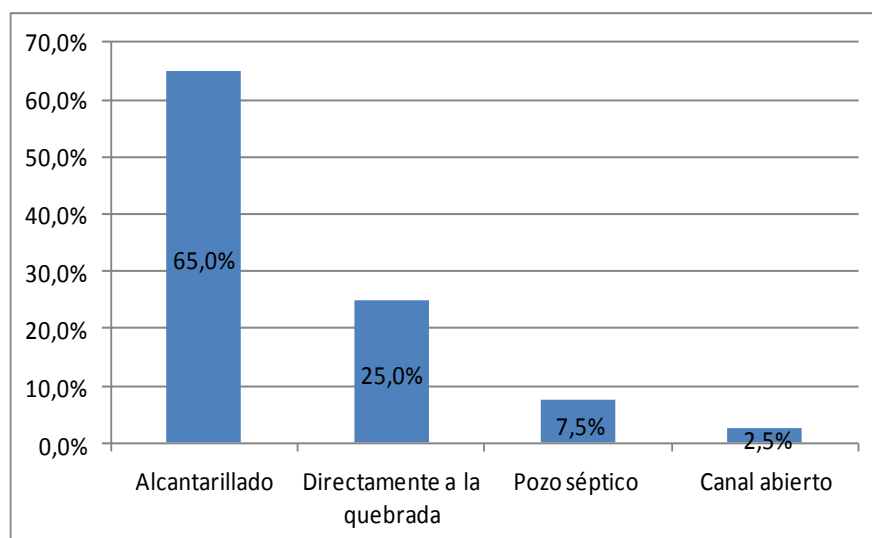
La cobertura de alcantarillado medida es del 65,0%, la presencia de sistemas individuales (Pozos sépticos) es del 7,5% y se observa que un 25% de las viviendas encuestadas descargan sus aguas residuales directamente a la quebrada (Gráfica 6).

La principal causa de falta de cobertura de alcantarillado se debe a las condiciones topográficas de la zona de estudio. En algunos casos, la cota del alcantarillado es mayor que la cota de terreno de la vivienda y en otros casos, las viviendas están ubicadas en la vertiente opuesta de la quebrada Felidia.

La contaminación fecal que se observa en el corregimiento es principalmente de origen doméstico, ya que no existe una vocación pecuaria en la zona.

A la entrada del sector central de la localidad se descargan las aguas residuales en canal abierto a la orilla de la vía. Esto genera gran incomodidad de los residentes de la zona, aumenta la inestabilidad de los terrenos e incrementa la presencia de olores y vectores. En esta misma zona se observa un tubo que descarga de aguas residuales que fluyen por gravedad hasta la quebrada sin ningún tratamiento.

Las vías se encuentran en mal estado desde la construcción del alcantarillado, porque no se repararon adecuadamente las calles después de rellenar las zanjas de excavación (Bueno, 2011).



Gráfica 6. Sistema de evacuación de excretas

8.1.9. Residuos sólidos

En el 90% de las viviendas encuestadas desecha el papel higiénico en tarro y lo dispone como un residuo sólido; el restante 10% lo dispone en tasa sanitaria. La recolección de residuos sólidos se realiza una vez por semana (Fotografía 3).



Fotografía 3. Acumulación de residuos sólidos en la vía pública

8.1.10. Uso eficiente del agua

En las viviendas de la localidad no se tiene el requerimiento de ahorrar agua, tal como indica la Tabla 11. Esto se debe a la ausencia de micromedición en la facturación del servicio de acueducto y a la baja capacitación de la comunidad en este tema.

Tabla 11. Prácticas de uso eficiente del agua

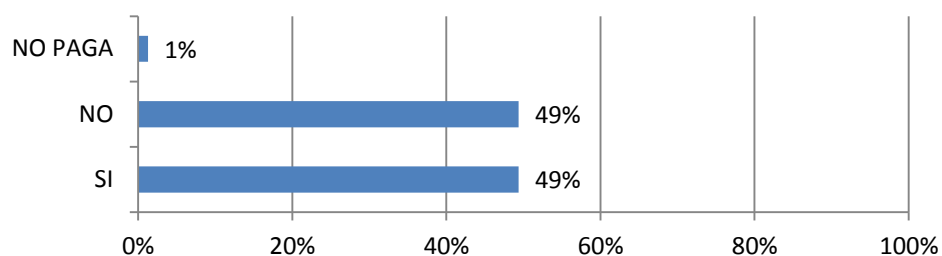
Pregunta	SI	NO
Utiliza agua lluvia para alguna actividad dentro de la vivienda?	19%	81%
Reutiliza el agua en alguna actividad dentro de la vivienda?	16%	84%

8.1.11. Aceptación de las tarifas de servicios públicos

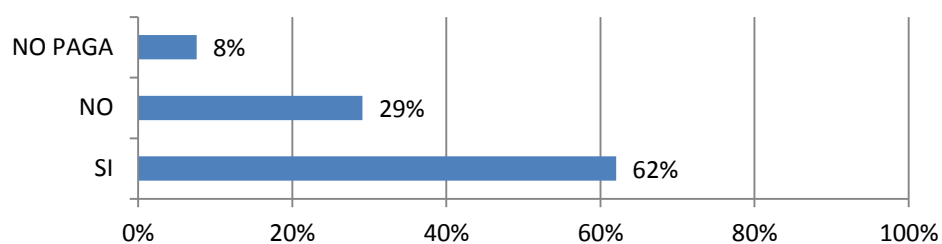
La aceptación de la tarifas de servicios públicos se encuentra entre el 50% y 80% (Gráficas 7 a 10). Algunos suscriptores no pagan el servicio de acueducto porque se abastecen de nacimientos de agua (Grafica 8) y otros no pagan alcantarillado porque no están conectados a la red (Grafica 9). En algunas viviendas se informa que la comunidad ha sido quien ha canalizado las aguas servidas y que por ello no pagan alcantarillado.

La tarifa de alcantarillado tiene la menor condición de rechazo de la comunidad (20%) y a su vez presenta la mayor condición de no pago (19%).

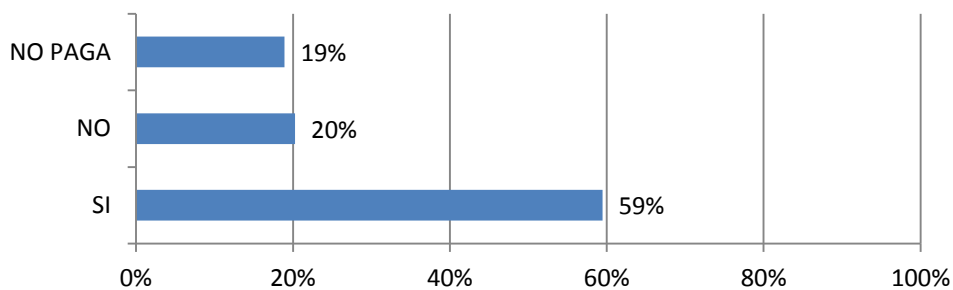
Existe una condición de inconformidad especial que no fue cuantificada, en donde se factura el servicio de alcantarillado, pero la vivienda no está conectada al sistema. Sin embargo la administradora del acueducto afirma que estos suscriptores si están conectados, pero no pagan porque no tienen la presión de la suspensión del servicio de agua potable debido a que se abastecen de nacimientos de agua.



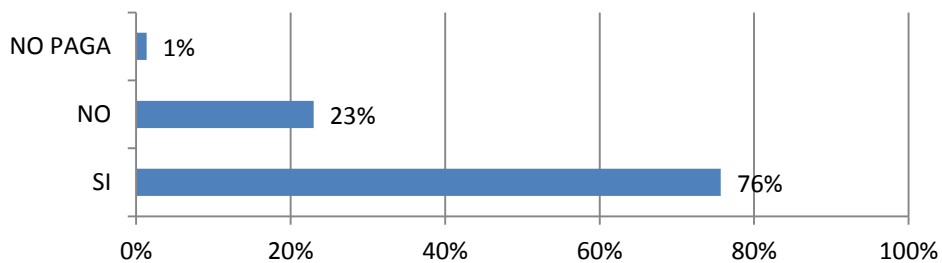
Grafica 7. Aceptación de la tarifa de energía



Grafica 8. Aceptación de la tarifa de acueducto



Grafica 9. Aceptación de la tarifa de alcantarillado



Gráfica 10. Aceptación de la tarifa de recolección de basuras

8.1.12. Costos e ingresos operacionales del sistema de tratamiento de aguas residuales

Se observa que los costos del sistema de tratamiento (Tabla 15) son mayores que los ingresos operacionales (Tabla 16) y aunque se aumente la cobertura del alcantarillado y se reduzca la morosidad no se podrían cubrir los costos de administración y operación del sistema (Tabla 17).

Tabla 12. Costos administrativos

Item administrativos	Valor /mes
Salarios	\$ 367.000
Servicios públicos	\$ 5.000
Papelería y comunicaciones	\$ 10.000
Subtotal	\$ 382.000

Tabla 13. Costos operativos

Item operativos	Valor /mes
Salario fontanero	\$ 320.960
Cal	\$ 10.000
Dotación	\$ 12.083
Implementos de seguridad	\$ 13.333
Implementos de aseo	\$ 7.000
Subtotal	\$ 363.377

Tabla 14. Costo del sistema de mitigación de olores

Insumos para mitigación de olores	Valor /mes
Módulos de retención de humedad	\$ 6.250
Hipoclorito de sodio	\$ 17.500
Carbón activado	\$ 27.083
Energía	\$ 149.000
Subtotal	\$ 199.833

Tabla 15. Resumen de costos

Total costos PTAR (\$/mes)	
Costos administrativos	\$ 382.000
Costos operativos	\$ 363.377
Costo sistema de mitigación de olores	\$ 199.833
Total	\$ 945.210

Tabla 16. Ingresos operacionales actuales

Ingresos operacionales	
Total suscriptores actuales	153
Morosidad actual	13%
Factura alcantarillado actual	\$ 4.000
Ingresos totales actuales (\$/mes)	\$ 532.440

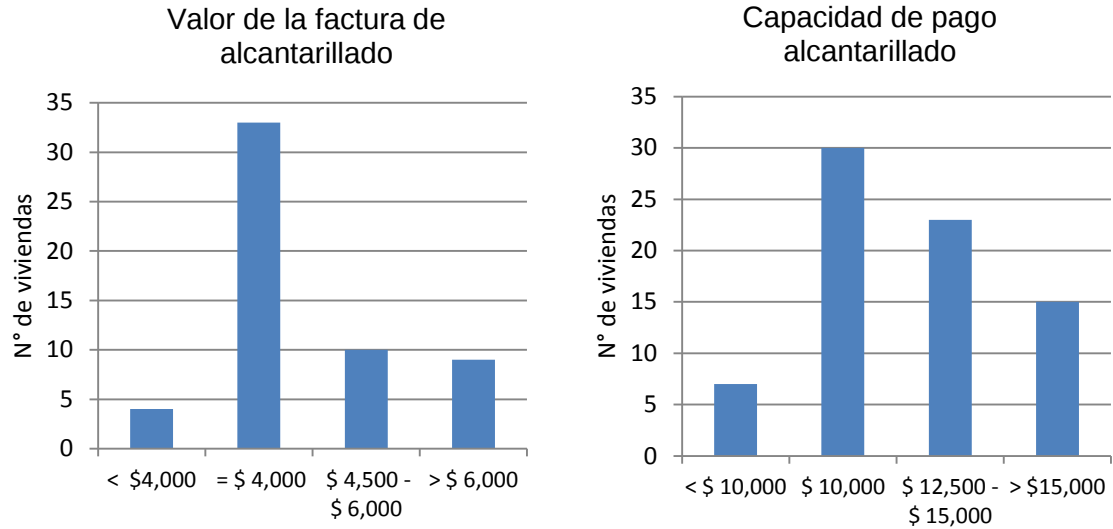
Tabla 17. Ingresos mensuales aumentado la cobertura al 90%, disminuyendo la morosidad al 3% y aumentado el valor de la factura

Ingresos operacionales proyectados	
Total suscriptores (cobertura 90%)	185
Morosidad esperada	3%
Factura alcantarillado actual	\$ 4.000
Ingresos (\$/mes) con factura actual	\$717.800
Factura alcantarillado (Incremento 32%)	\$5.281
Ingresos (\$/mes) con factura incrementada	\$945.210

8.1.13. Tarifa y capacidad de pago del servicio de alcantarillado

La capacidad de pago de las familias se calculó mediante una estimación de los ingresos de acuerdo a la ocupación y a la cantidad de personas laboralmente activas en la vivienda.

Se observa que la capacidad de pago del servicio de alcantarillado es mayor que la tarifa actual (Gráfica 11). Además, en las condiciones actuales de cobertura y morosidad solo podrían cubrir los costos del sistema si la tarifa se incrementara en un 77,7% (Tabla 18).



Gráfica 11. Valor de la tarifa y capacidad de pago de las familias

Tabla 18. Ingresos del sistema de tratamiento aumentando el valor de la factura con la condición actual de cobertura y morosidad

Ingresos operacionales proyectados	
Total suscriptores actuales	153
Morosidad actual	13%
Factura alcantarillado (Incremento 77,7%)	\$ 7.107
Ingresos totales	\$ 945.210

8.1.14. Organización y participación comunitaria

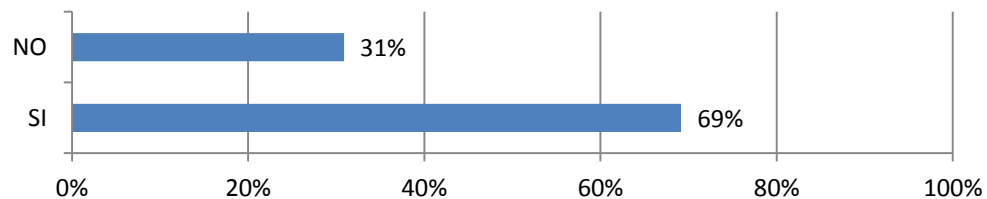
En la muestra se reporta un nivel de asistencia a las reuniones de la Junta del Acueducto del 69% (Gráfica 12), sin embargo la administradora de la empresa de servicios públicos, informa que estas reuniones tienen muy baja asistencia de los suscriptores.

También se informa que a las reuniones de la Junta del Acueducto no pueden asistir arrendatarios y otros usuarios diferentes al suscriptor del servicio.

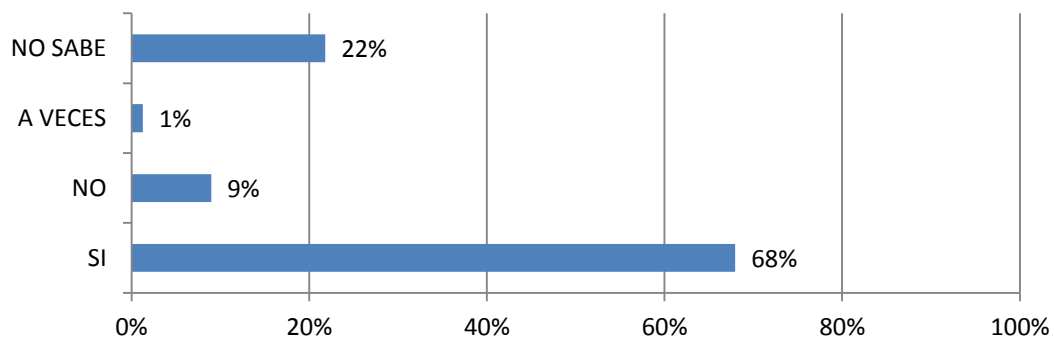
En la toma de decisiones no se llega fácilmente a acuerdos entre los suscriptores (Grafica 14), sin embargo, el actual presidente de la Junta del Acueducto es residente de la localidad, y por lo tanto se espera mejorar en la toma de decisiones en la administración de los servicios públicos.

Se observa una participación de la mujer del 68% (Gráfica 13) en la toma de decisiones en la junta del acueducto.

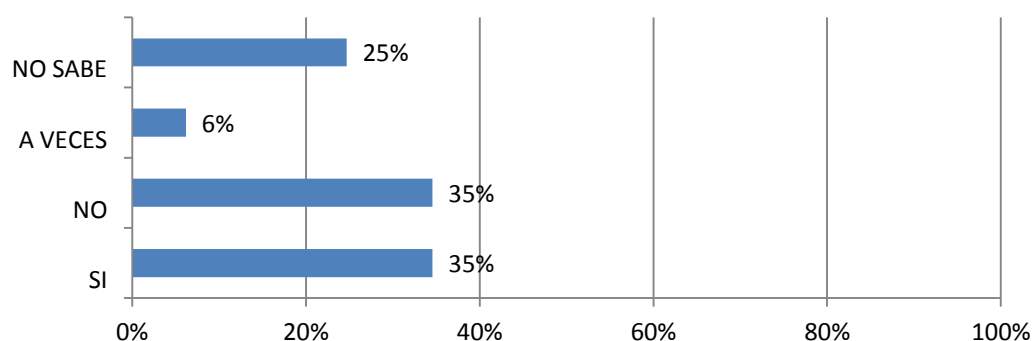
Otro factor reportado por la comunidad, es la alta inmigración hacia el corregimiento. Los nuevos residentes no participan en los procesos comunitarios porque llegan a competir por las oportunidades de trabajo y de negocio. Esto ha generado aumento de la pobreza y de la contaminación.



Grafica 12. Asistencia a las reuniones de la junta del acueducto



Grafica 13. Participación de la mujer en las decisiones de la junta del acueducto



Gráfica 14. Percepción de consenso en la Junta del acueducto

8.1.15. Selección de tecnología

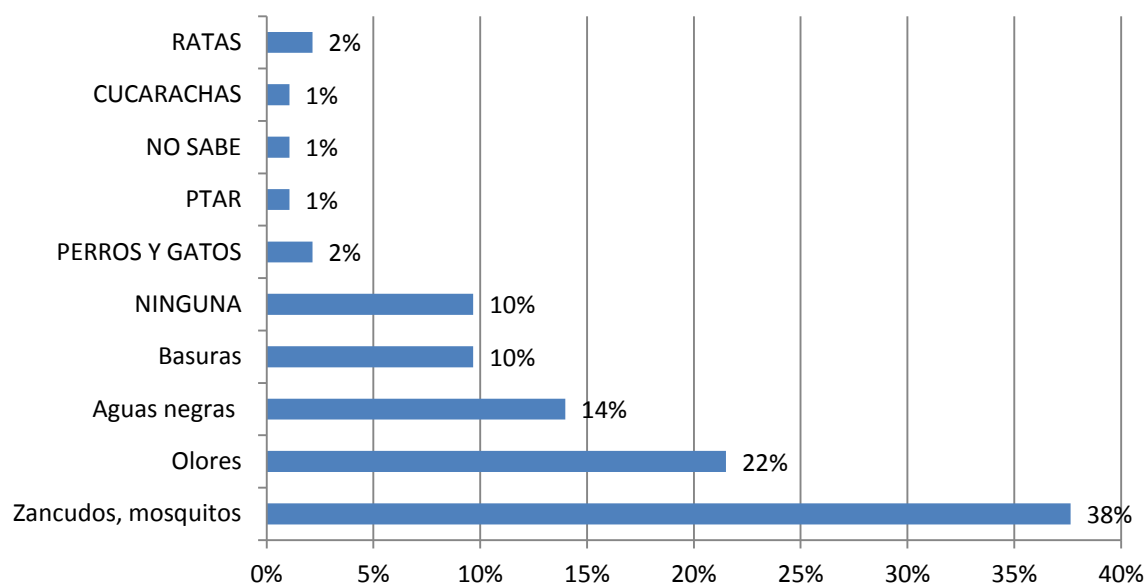
El 52% de los encuestados afirma que no conoce el sistema de tratamiento de aguas residuales y solo un 6% participó en la planeación y ejecución del proyecto.

El proyecto fue realizado por la Federación Nacional de Cafeteros y la Secretaría de Salud Pública Municipal de Santiago de Cali. El diseño fue socializado, pero no se presentaron diferentes alternativas a la comunidad. La veeduría comunitaria del proyecto de la PTAR fue realizada por el señor Arnold Rivera.

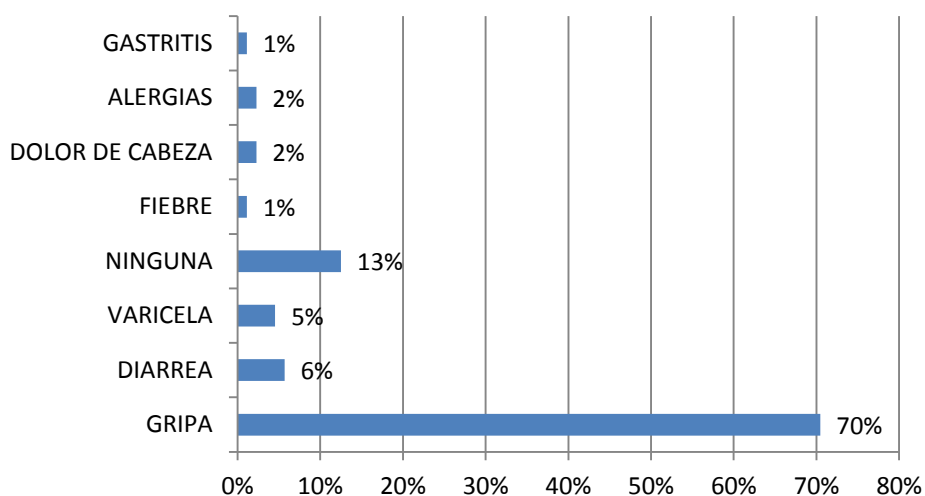
8.1.16. Salud pública

Se reporta el aumento de la presencia de zancudos y malos olores (Gráfica 15), después de eventos de lluvia. Esta situación se presenta por el fraccionamiento del caudal en la estructura de separación, en donde una parte de agua residual diluida se descarga directamente a la fuente receptora sin tratamiento.

En la Grafica 16, se muestra la percepción de la comunidad frente a las enfermedades más frecuentes en la localidad



Gráfica 15. Condiciones de saneamiento críticas percibidas por la comunidad



Gráfica 16. Principales casos de enfermedad percibidas por la comunidad

8.2. Caracterización del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

En esta sección, se describe la planta de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia y se realiza la evaluación del dimensionamiento de las

unidades del sistema. Con esta información se construyen los indicadores de sostenibilidad técnica del sistema de tratamiento.

8.2.1. Ubicación

El sistema se encuentra ubicado en zona de alta pendiente (Fotografía 4) sobre la cota más baja de la red de alcantarillado de la localidad. Las unidades de tratamiento están construidas en concreto y el sistema está enmallado en todo su entorno.

Adicionalmente, existe una barrera de arboles entre la planta de tratamiento y la fuente receptora, lo cual mejora el soporte de las estructuras y reduce el riesgo de deslizamientos.

Todo esto permite estimar una baja vulnerabilidad del sistema de tratamiento ante fenómenos naturales y sociales.



Fotografía 4. Vista del sistema de tratamiento

8.2.2. Estructura de separación

Debido a que el alcantarillado del corregimiento de Felidia es de tipo combinado, se requiere de esta estructura (Fotografía 5) para separar los caudales máximos de aguas lluvias y garantizar que al sistema solo ingrese el caudal de aguas residuales domésticas producidas por el centro poblado.



Fotografía 5. Estructura de separación.

8.2.3. Canal de rejillas

Solo se construyó una línea de rejillas en planta (Fotografía 6), la cual consta de barrotes de acero inoxidable de 5/8" de diámetro, con espaciamiento de 1" y una inclinación de 55°.



Fotografía 6. Canal de rejilla

Esta rejilla tiene como función de retener sólidos gruesos como plásticos, pañales, toallas higiénicas, etc.

8.2.4. Desarenador

En el desarenador se sedimentan las partículas medianas, las cuales se depositan en la zona de baja velocidad (Fotografía 7).



Fotografía 7. Desarenador

8.2.4.1. Dimensionamiento del desarenador

Se verifican los parámetros de velocidad horizontal, tiempo de retención y carga hidráulica superficial del desarenador y se comparan con los valores recomendados en la literatura. La tabla 19 muestra las dimensiones del desarenador construido en Felidia.

Tabla 19. Mediciones realizadas en sitio del desarenador

Dimensiones del desarenador	
Longitud	1,80 m
Ancho	0,90 m
Profundidad total	0,33 m

- **Profundidad de la zona de sedimentación**

La profundidad total del desarenador (0,33 m), comprende la zona de sedimentación y la zona de acumulación de arenas. La profundidad de la zona de sedimentación se calcula con base en la velocidad de sedimentación de arenas, $V_s = 0,02 \text{ m/s}$ y la velocidad horizontal mínima para evitar la sedimentación de materia orgánica, $V_H = 0,30 \text{ m/s}$ (Rodríguez, 2009).

$$H_s = \frac{V_s}{V_H} L = \frac{0,02 \text{ m/s}}{0,30 \text{ m/s}} \times 1,80 \text{ m} = 0,12 \text{ m}$$

Donde:

H_s = Profundidad de sedimentación; V_H = Velocidad horizontal de flujo en m/s;
 V_s = Velocidad de sedimentación de arenas con diámetro de 0,2 mm en m/s

- **Volumen de la zona de sedimentación:**

El volumen del desarenador corresponde al producto del ancho por el largo y la profundidad de la zona de acumulación de arenas.

$$V = L \times B \times H_s = 1,80 \text{ m} \times 0,90 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} = 0,19 \text{ m}^3$$

Donde:

L = Longitud construida del desarenador; B = Ancho construido del desarenador
 H_s = Profundidad calculada de la zona de sedimentación

- **Relación Largo/ Ancho:**

Es el cociente entre la longitud y el ancho del desarenador. El valores recomendados son: 3 (Rodríguez, 2009) y 2,5 – 5,0 (RAS, 2000. Título E).

$$\frac{L}{B} = \frac{1,80 \text{ m}}{0,90 \text{ m}} = 2$$

El desarenador no cumple con los valores sugeridos.

- **Relación largo/ profundidad:**

Es el cociente entre la longitud y la profundidad de la zona de sedimentación de arenas. El valores recomendados son de 5 - 20 (Rodríguez, 2009) y 2,5 – 25 (Adaptado de RAS 2000. Titulo E)

$$\frac{L}{H} = \frac{1,80 \text{ m}}{0,12 \text{ m}} = 15$$

El desarenador cumple con los valores sugeridos.

- **Tiempo de retención hidráulico:**

Corresponde al tiempo que permanece el agua en el desarenador y se calcula mediante el cociente entre el volumen de la unidad y el caudal ($Q_{\text{aforo}} = 4 \text{ L/s}$). El valor sugerido está entre 45 y 90 segundos (Rodríguez, 2009) y entre 20 – 180 segundos (RAS 2000. Titulo E)

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{0,19 \text{ m}^3}{0,004 \text{ m}^3/\text{s}} = 49 \text{ s}$$

El sistema cumple la recomendación en las condiciones del aforo.

- **Velocidad Horizontal:**

Corresponde a la velocidad de flujo en la sección transversal del desarenador y se calcula mediante el cociente entre el caudal y el área de la sección transversal de la zona de sedimentación. La velocidad horizontal mínima para evitar la sedimentación de materia orgánica es de 0,15 m/s (Rodríguez, 2009) y 0,2 - 0,4 m/s (RAS 2000. Titulo E)

$$V_H = \frac{Q}{B \times H_s} = \frac{0,004 \text{ m}^3/\text{s}}{0,90 \text{ m} \times 0,12 \text{ m}} = 0,04 \text{ m/s}$$

El sistema no cumple con la recomendación en las condiciones del aforo.

- **Carga hidráulica superficial**

Corresponde al volumen de agua tratada por unidad de área en el tiempo. Se calcula mediante el cociente entre el caudal y el área superficial del desarenador. El rango recomendado está entre 900 y 1300 m³/m²/d (Rodríguez, 2009) y 700 – 1600 m³/m²/d (RAS 2000. Título E)

$$CH = \frac{Q}{L \times B} = \frac{0,004 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{d}}{1,80 m \times 0,90 m} = 213 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

El sistema no cumple con la recomendación de carga hidráulica superficial en las condiciones de aforo.

- **Calculo de parámetros de operación a diferentes caudales**

En la tabla 20 se reporta el tiempo de retención, la velocidad horizontal y la carga hidráulica superficial calculadas a diferentes valores de carga hidráulica.

Tabla 20. Parámetros de operación a diferentes condiciones de carga

Parámetro	Unidad	Recomendado	Caudal (L/s)			
			2	4	6	8
Tiempo de retención	s	45 - 90	97	49	32	24
Velocidad horizontal	m/s	0,25 - 0,40	0,02	0,04	0,06	0,07
Carga superficial	m ³ /m ² /d	600 -1300	107	213	320	427

En ninguna de las condiciones de operación del sistema, se cumple el criterio de velocidad horizontal, ni de carga hidráulica superficial.

8.2.5. Caja de distribución de caudales

En la Fotografía 8 se observa la cámara de distribución de caudales, la cual recibe el flujo del desarenador y lo distribuye uniformemente en tres líneas de tratamiento.



Fotografía 8. Caja de distribución de caudales

8.2.6. Tanque séptico

Consiste en tres tanques de concreto de dos compartimientos cada uno (Figura 2) y cuyo objetivo dentro del sistema de tratamiento es la sedimentación y degradación de la materia orgánica particulada. Cuenta con tres líneas de tratamiento para permitir una mejor operabilidad del sistema.

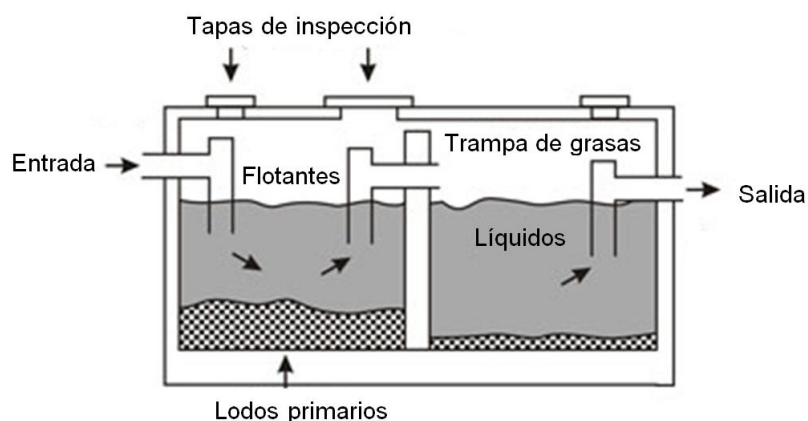


Figura 2. Sección transversal de fosa séptica de dos compartimientos
Fuente: Adaptado de CEPIS/ OPS-OMS, 2009

8.2.6.1. Dimensionamiento de los tanques sépticos

Se verifica el tiempo de retención hidráulico en los tanques sépticos y se compara con los valores recomendados en la literatura.

- **Volumen de tratamiento**

En la Tabla 21 se muestra el cálculo del volumen de los tanques sépticos, el cual se realizó con base en mediciones en sitio del largo, ancho y profundidad de cada unidad.

Tabla 21. Dimensiones de los tanques sépticos

Parámetro	Unidad	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3
Largo	m	11,30	12,65	12,65
Ancho	m	4,00	6,3	6,3
Profundidad útil	m	1,90	2,60	2,60
Volumen	m ³	86	207	207
Volumen total	m ³	500		

Posteriormente, en la Tabla 22, se calculan diferentes valores de volumen efectivo, teniendo en cuenta factores de forma, tabiques ubicados en el interior de cada tanque y acumulación de lodos.

Tabla 22. Volumen efectivo de los tanques sépticos

Fracción del volumen total	Volumen efectivo	Unidad
0,5 V	250	m ³
0,6 V	300	m ³
0,7 V	350	m ³
0,8 V	400	m ³

- **Caudal**

En la Tabla 23, se calculan diferentes porcentajes del caudal medido en el aforo ($Q = 4 \text{ L/s}$), debido a que este valor puede presentar fluctuaciones horarias por las variaciones de la demanda de agua potable y las precipitaciones.

Tabla 23. Variaciones estimadas en el caudal de aguas residuales

Fracción del caudal de aforo	Caudal	Unidad
0,25 Q	1	L/s
0,50 Q	2	L/s
Q	4	L/s
1,5 Q	6	L/s
2,0 Q	8	L/s

- **Calculo del tiempo de retención a diferentes valores de caudal y volumen efectivo**

En la tabla 24, se calcula el tiempo de retención hidráulico de los tanques sépticos para diferentes valores de caudal y de volumen efectivo. El tiempo de retención recomendado para tanques sépticos de sistemas comunitarios es de 12 – 51 horas (CVC, SF) y mínimo 4,8 h (Madera, 2007)

Tabla 24. Tiempo de retención hidráulico de los tanques sépticos para diferentes condiciones de carga del sistema

Volumen efectivo (m ³)	Caudal (L/s)					Unidad
	0,25 Q	0,50 Q	Q	1,5 Q	2,0 Q	
0,5 V	69	35	17	12	9	Horas
0,6 V	83	42	21	14	10	Horas
0,7 V	97	49	24	16	12	Horas
0,8 V	111	56	28	19	14	Horas

De acuerdo con los resultados, los tanques sépticos soportan variaciones de caudal hasta del 50% con respecto al aforo de 4 L/s. Los valores de tiempo de retención hidráulico más cercanos a la recomendación se encuentran con caudales entre 2 – 6 L/s.

8.2.7. Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA)

Consisten en dos tanques de concreto en donde se trata el efluente de los tanques sépticos y se realiza la degradación de la materia orgánica soluble. Para aumentar

el tiempo de retención celular se emplea un medio de filtrante plástico (Fotografía 9) que aumenta la superficie de contacto para la formación de biomasa.



Fotografía 9. Filtro anaerobio y medio filtrante plástico

8.2.7.1. Dimensionamiento de los filtros anaerobios

Se verifica el tiempo de retención hidráulico en los filtros anaerobios y se compara con los valores recomendados en la literatura.

- **Volumen de tratamiento**

En la Tabla 25 se calcula del volumen tratamiento de los filtros anaerobios con base en mediciones en sitio del largo, ancho y profundidad de cada unidad y un porcentaje de vacíos del medio de soporte del 95%. (URL-12, 2012)

Tabla 25. Dimensiones de los filtros anaerobios

Parámetro	Unidad	Filtro 1	Filtro 2
Largo	m	7,00	11,90
Ancho	m	5,00	5,90
Profundidad útil	m	1,64	1,46
Volumen	m ³	57	103
Vacíos medio de soporte	%	95	95
Volumen de tratamiento	m ³	55	97
Volumen total	m ³	152	

En la Tabla 26, se calculan diferentes valores de volumen efectivo, debido a factores de forma del tanque y acumulación de biomasa.

Tabla 26. Volumen efectivo de los filtros anaerobios

Fracción del volumen total ($V_T = 152 \text{ m}^3$)	Volumen efectivo	Unidad
0,80 V	122	m^3
0,90 V	137	m^3
0,95 V	144	m^3

- **Caudal**

En la Tabla 27, se calculan diferentes porcentajes del caudal medido en el aforo ($Q = 4 \text{ L/s}$), debido a que este valor puede presentar fluctuaciones horarias por las variaciones de la demanda de agua potable y las precipitaciones.

Tabla 27. Variaciones estimadas en el caudal de aguas residuales

Fracción del caudal de aforo	Caudal	Unidad
0,50 Q	2	L/s
0,80 Q	3	L/s
Q	4	L/s
1,2 Q	5	L/s
1,5 Q	6	L/s

- **Cálculo del tiempo de retención a diferentes valores de caudal y volumen efectivo**

En la Tabla 28, se calcula el tiempo de retención hidráulico de los filtros anaerobios para diferentes valores de caudal y de volumen efectivo. El tiempo de retención recomendado para filtros anaerobios en sistemas comunitarios es de 7 - 13 horas (Madera, 2003 y Rodríguez, 2009).

Tabla 28. Tiempo de retención hidráulico de los filtros anaerobios para diferentes condiciones de carga del sistema

Volumen efectivo (m ³)	Fracción del caudal de aforo ($Q_{\text{aforo}} = 4 \text{ L/s}$)					Unidad
	0,5 Q	0,8 Q	Q	1,2,Q	2 Q	
0,80 V	17	11	8	7	6	Horas
0,90 V	19	12	9	8	6	Horas
0,95 V	20	13	10	8	7	Horas

De acuerdo con los resultados, los filtros anaerobios son sistemas sensibles a las variaciones de caudal y solo soportan variaciones hasta del 20% con respecto al aforo de 4 L/s. Los valores de tiempo de retención hidráulico más cercanos a la recomendación se encuentran con caudales entre 3 – 5 L/s.

8.2.8. Humedales contruidos de flujo subsuperficial horizontal

Consiste en dos líneas de tratamiento basadas en lechos de grava sembrados con plantas emergentes (papiros) en donde el flujo corre a través de la grava de forma subsuperficial (Fotografía 10). De acuerdo con el manual de mantenimiento y operación de la planta de tratamiento (Fedecafeteros, 2010), este sistema se diseñó para el tratamiento de nutrientes y patógenos en el agua residual. Además debe contribuir al mejoramiento de la eficiencia de remoción de DBO y SST.

Para el dimensionamiento de los humedales artificiales se emplea el modelo de Reed que considera condiciones de estado estacionario, patrón de flujo tipo pistón y cinética de primer orden independiente de las condiciones de operación del sistema (Sandoval, 2009).



Fotografía 10. Humedales contruidos horizontales de flujo subsuperficial

8.2.8.1. Dimensionamiento de humedales contruidos

Se calcula el área superficial requerida y la eficiencia teórica de los humedales artificiales con base en la ecuación de Reed.

- **Volumen de tratamiento**

En la Tabla 29, se calcula el volumen de tratamiento en los humedales contruidos con base en mediciones en sitio de longitud, ancho, profundidad de cada unidad.

Tabla 29. Dimensiones de los humedales contruidos

Parámetro	Unidad	Humedal 1	Humedal 2
Largo	m	6,15	6,15
Ancho	m	2,05	2,05
Profundidad	m	0,70	0,70
Área total	m ²	25,2	
Volumen total	m ³	17,7	
Caudal aforo	m ³ /d	345,6	

- **Dimensionamiento biológico**

En la Tabla 30, se calcula el área superficial teórica de los humedales construidos para la reducción de DBO y Nitrógeno con base en la ecuación de Redd (García, 2008). Ecuación 11:

$$S = \frac{Q}{K_A} \times \ln \frac{C_0}{C_1}$$

Donde:

C_0 = Concentración de entrada del humedal; C_1 = Concentración de salida del humedal;
 Q = Caudal de operación en m³/d; S = Área superficial del humedal;
 K_A = Constante cinética de primer orden en m/d.

Para la remoción de DBO la constante K_A debe ser de 0,080 m/d y para la remoción de nitrógeno debe ser de 0,025 m/d (García, 2008).

Tabla 30. Área superficial requerida para el sistema Felidia

Parámetro	Unidad	DBO	N
Qmd	m ³ /d	230	230
Ka	m/d	0,080	0,025
C_0/C_1	adim	100/95	100/95
S^(*)	m²	148	473

Se observa que el área construida es insuficiente para el caudal de operación del sistema. El área total de humedales es de 25,2 m² y por lo tanto se esperan obtener eficiencias muy bajas en estos sistemas.

- **Eficiencia teórica de los humedales construidos**

Despejando la ecuación 11, se obtiene la eficiencia teórica para la remoción de Nitrógeno y DBO de los humedales construidos a diferentes caudales de operación (Tabla 31)

Ecuación 13:

$$\frac{C_0}{C_1} = \exp \left[\frac{K_A S}{Q} \right]$$

Tabla 31. Eficiencia teórica de los humedales construidos en diferentes condiciones de carga

Parámetro	Fracción del caudal de aforo (4 L/s)				
	0,25 Q	0,50 Q	1,00 Q	1,50 Q	2,00 Q
Remoción DBO	2,3%	1,2%	0,6%	0,4%	0,3%
Remoción N	0,7%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%

Teóricamente, se observa que la mayor eficiencia de los humedales construidos de Felidia es de 2,3% de reducción de DBO que se logran con un caudal de 1 L/s

- **Tiempo de retención hidráulico requerido**

Mediante la ecuación 14 se obtiene el tiempo de retención necesario en horas para diferentes condiciones de porosidad del medio filtrante y eficiencia de remoción de DBO (Tabla 32)

Ecuación 14:

$$t = \frac{\varepsilon \times h}{K_A} \times \ln \frac{C_0}{C_1}$$

Donde:

K_A = Constante cinética de primer orden en m/d; h = profundidad del medio;
 ε = Porosidad del medio en tanto por uno;

Tabla 32. Tiempo de retención hidráulico requerido en horas para remoción de DBO en los humedales construidos de Felidia

Porosidad	C_0/C_1 expresado en eficiencia (%)					Unidad
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	
30%	1,3	2,6	3,9	5,3	6,6	Horas
35%	1,5	3,0	4,5	6,1	7,7	Horas
40%	1,7	3,4	5,2	7,0	8,9	Horas
45%	1,9	3,9	5,8	7,9	10,0	Horas

Se observa que para lograr una eficiencia del 6% en los Humedales de Felidia, se requiere un tiempo de retención entre 3,9 y 6 horas

- **Tiempo de retención hidráulico calculado**

El tiempo de retención hidráulico está dado por:

$$t = \frac{V \times \varepsilon}{Q}$$

Donde:

t = Tiempo de retención hidráulico en horas; V = Volumen de tratamiento en m³
 ε = Porosidad del medio filtrante; Q = Caudal en m³/h

En la Tabla 33, se calcula el tiempo de retención hidráulico en horas para diferentes caudales de operación y porosidad del medio filtrante entre 30 – 45%.

Tabla 33. Tiempo de retención calculado de los humedales del sistema Felidia

Porosidad	Fracción del caudal de aforo (4L/s)					Unidad
	0,25 Q	0,50 Q	1,00 Q	1,50 Q	2,00 Q	
30%	1,5	0,7	0,4	0,2	0,2	Horas
35%	1,7	0,9	0,4	0,3	0,2	Horas
40%	2,0	1,0	0,5	0,3	0,2	Horas
45%	2,2	1,1	0,6	0,4	0,3	Horas

Los humedales solo cumplen el requerimiento de tiempo de retención hidráulico calculado en la Tabla 32, para caudal de operación de 1 L/s y una eficiencia del 2% de remoción de DBO.

8.2.9. Lecho de secado

En esta estructura se depositan los sólidos retirados del canal de rejillas y del tanque séptico y el filtro anaerobio.

En la Fotografía 11 se observa el lecho de secado de lodos construido en Felidia, el cual posee un área superficial de 65,2 m² (11,65 m x 5,60 m). El medio filtrante consiste en una capa de 10 cm de espesor de ladrillo común, luego una capa de

arena gruesa de 30 cm de espesor, después una capa de gravilla de 20 cm de espesor y por último una capa de grava mediana de 20 cm de espesor.

Los lodos se deshidratan hasta lograr un contenido de humedad entre 15% a 20%. En la parte inferior se encuentra un canal de recolección que dirige las aguas percoladas a una caja, para posteriormente bombear hasta el tanque séptico.



Fotografía 11. Lecho de secado

8.2.10. Unidad de control de olores

Todas las unidades de tratamiento y sus respectivas estructuras de entrada y salida están conectadas al sistema de mitigación de olores (Fotografía 12).

Este dispositivo consiste en una cámara de lavado para gas sulfhídrico con hipoclorito de sodio y posterior filtración con carbón activado. Actualmente, el sistema se encuentra fuera de funcionamiento por fallas en sus componentes eléctricos.



Fotografía 12. Cámara de recolección gases

8.2.11. Descarga en la fuente

En la descarga sobre la quebrada Felidia (Fotografía 13) se observa presencia de natas, espumas, mosquitos y malos olores. La comunidad reporta aumento de malos olores después de eventos de lluvia.



Fotografía 13. Descarga y mezcla con la fuente receptora

8.3. Evaluación fisicoquímica del agua residual y la fuente receptora

Para la caracterización del agua residual cruda, la descarga del sistema de tratamiento y la fuente receptora, se realizaron dos muestreos puntuales los días 23 de Septiembre de 2011 y 21 de Octubre de 2011.

Se midieron las características fisicoquímicas controladas según la norma de vertimientos del decreto 1594 de 1984 (el decreto 3930 de 2010 no tiene definida la norma de vertimientos). Se tomaron muestras de agua residual cruda, del vertimiento y de la fuente receptora antes de la descarga (Fotografía 14). Los parámetros medidos fueron DBO_5 , DQO, SST, SSV, Grasas y aceites, pH y temperatura.

El aforo a la salida de la planta de tratamiento se realizó mediante el método volumétrico y en la fuente receptora mediante el método de área velocidad.

Los resultados de los análisis permiten evaluar la eficiencia del tratamiento y el impacto ambiental del vertimiento. Esta información se construyen los indicadores de sostenibilidad ambiental del sistema de aguas residuales de la localidad.



Fotografía 14. Muestreo en la descarga del sistema de tratamiento

8.3.1. Resultados

En las Tablas 34 y 35 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en la entrada y salida del sistema de tratamiento. También se realizó el análisis de la fuente receptora antes de la descarga.

Tabla 34. Muestreo Septiembre 23 de 2011.

Parámetro	Unidad	Entrada PTAR	Salida PTAR	Quebrada Felidia
Hora	HH: min	11:00	08:00	10:00
Caudal	L/s	4,06	4,15	92,0
DBO	mg/L	89,0	20,9	2,0
DQO	mg/L	168,0	55,0	4,6
SST	mg/L	88,5	7,0	7,0
SSV	mg/L	75,5	5,0	5,0
GRASAS	mg/L	1735,2	11,3	52,4
pH	UND	7,85	7,47	7,85
Temperatura	°C	17,3	19,8	17,3
OD	mg/L			7,30

El muestreo se realizó en tiempo seco.

Tabla 35. Muestreo Octubre 21 de 2011

Parámetro	Unidad	Entrada PTAR	Salida PTAR	Quebrada Felidia
Hora	HH: min	10:30	07:30	09:30
Caudal	L/s	3,93	3,93	90,0
DBO	mg/L	114,0	16,2	3,0
DQO	mg/L	227,0	48,0	6,0
SST	mg/L	114,0	5,0	4,5
SSV	mg/L	78,0	2,0	2,0
GRASAS	mg/L	56,2	17,6	18,3
pH	UND	7,48	7,39	7,75
Temperatura	°C	18,8	18,6	16,5
OD	mg/L			7,6

El muestreo se realizó en tiempo seco.

La Tabla 36 indica el contenido de materia orgánica en el afluente del sistema de tratamiento.

Tabla 36. Biodegradabilidad del agua residual cruda

Parámetro	Entrada PTAR
DBO/DQO	0,52
SSV/SST	0,77

En la Tabla 37 y 38, se calculan las cargas y la eficiencia del tratamiento

Tabla 37. Muestreo Septiembre 23 de 2011

Parámetro	Unidad	Entrada PTAR	Salida PTAR	Eficiencia en carga
DBO	Kg/d	31,2	7,5	76%
DQO	Kg/d	58,9	19,7	67%
SST	Kg/d	31,0	2,5	92%
SSV	Kg/d	26,5	1,8	93%
GRASAS	Kg/d	608,7	4,0	99%

Tabla 38. Muestreo Octubre 21 de 2011

Parámetro	Unidad	Entrada PTAR	Salida PTAR	Eficiencia en carga
DBO	Kg/d	38,7	5,5	86%
DQO	Kg/d	77,1	16,3	79%
SST	Kg/d	38,7	1,7	96%
SSV	Kg/d	26,5	0,7	97%
GRASAS	Kg/d	19,1	6,0	69%

- **Impacto del vertimiento después de la descarga**

En las Tablas 39 y 40, se calculan las concentraciones de los contaminantes después de la mezcla entre el vertimiento y la fuente receptora, mediante la siguiente ecuación:

$$C_f = \frac{C_1 Q_1 + C_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}$$

Donde:

C_f = Concentración después de la mezcla; C_1 = Concentración del contaminante en el vertimiento; Q_1 = Caudal del vertimiento; C_2 = Concentración del contaminante en la fuente receptora; Q_2 = Caudal de la fuente receptora

Tabla 39. Concentración de contaminantes en la quebrada Felidia antes del vertimiento de la PTAR y después de la mezcla aguas abajo.

Muestreo Septiembre 23 de 2011

Parámetro	Unidad	Antes del vertimiento	Después de la Mezcla
DBO	mg/L	2,0	2,8
DQO	mg/L	4,6	6,8
SST	mg/L	7,0	7,0
SSV	mg/L	5,0	5,0
GRASAS	mg/L	52,4	50,6
pH	Und	7,85	7,83
Temperatura	°C	17,3	17,4
DBO/DQO	Adim	0,43	0,42

Tabla 40. Concentración de contaminantes en la quebrada Felidia antes del vertimiento de la PTAR y después de la mezcla aguas abajo.

Muestreo Octubre 21 de 2011.

Parámetro	Unidad	Antes del vertimiento	Después de la Mezcla
DBO	mg/L	3,0	3,6
DQO	mg/L	6,0	7,8
SST	mg/L	4,5	4,5
SSV	mg/L	2,0	2,0
GRASAS	mg/L	18,3	18,2
pH	Und.	7,75	7,73
Temperatura	°C	16,5	16,6
DBO/DQO	Adim	0,50	0,46

8.4. Tabla de indicadores de sostenibilidad

Con base en la información recolectada y el análisis de los resultados se construye la Tabla 39 con indicadores de sostenibilidad para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la cabecera del corregimiento de Felidia

Tabla 39. Indicadores de sostenibilidad para el sistema estudiado

FACTOR DE	INDICADOR	META	VALOR
Planificación integral	Cobertura de alcantarillado	100%	65%
Cantidad	Caudal (lps)	-	4
	Volumen Mensual (m ³ /mes)	-	6912
Eficiencia	Remoción de DBO (%)	≥ 80	76% y 86%
	Remoción de sólidos suspendidos (%)	≥ 80	92% y 96%
	Remoción de grasas y aceites (%)	≥ 80	99% y 69%
	pH	5 -9	7,7 y 7,8 Und.
	Temperatura	-	16,6 y 17,4
Continuidad	Tiempo Diario de Funcionamiento (h/día)	-	24
	Tiempo Mensual de Funcionamiento	-	30
Participación y Gestión Comunitaria con enfoque de Género	<i>Gestión gerencial:</i> El sistema de organización permite la participación de los usuarios en la toma de decisiones para el manejo del sistema.	Si	Si
	<i>Participación de la Mujer:</i> En la Asociación que está encargada del manejo del agua residual participan mujeres que toman decisiones.	100%	68% (*)
	<i>Participación de la comunidad:</i> Asistencia de los usuarios a las reuniones convocadas por la Junta del acueducto	100%	69% (*)
	<i>Socialización de los proyectos:</i> Se presentó a la comunidad el proyecto de sistema de tratamiento de aguas residuales.	Si	Si (**)
Operación y	Daños (daños/mes)	-	Ninguno
	Indice de Mantenimiento (# componentes con	1	1
	<i>Capacidad institucional:</i> Existe personal entrenado en la operación y mantenimiento de la planta con equipos y métodos.	Si al menos una persona	Si
	Existe la capacidad de realizar o contratar la ejecución de los análisis de laboratorio requeridos para la operación normal de la planta de tratamiento (personal, materiales y equipos).	Si	Si (***)

(*) La administradora de la empresa de servicios públicos afirma la participación de la comunidad y de la mujer es mucho menor a la medida en la muestra. (**) El proyecto de la PTAR se socializó, pero no se mostraron diferentes alternativas de tratamiento, ni la comunidad participó en el diseño implementado. (***) Se realizan inspecciones por la Secretaria de Salud Pública Municipal.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo evalúa los parámetros socioeconómicos y sanitarios asociados al sistema de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia. Basados en los resultados experimentales y la información recolectada en campo, se describen a continuación las condiciones de la población estudiada.

9.1. Producción de aguas residuales

La producción per cápita de aguas residuales es alta (540 L/ hab-d). Esto se puede relacionar con el bajo nivel de prácticas de uso eficiente del agua y a que las familias no tienen el requerimiento de ahorrar el líquido por la ausencia de micromedición en la facturación del servicio de acueducto. Esta condición aumenta progresivamente el caudal de aguas residuales que llega a la planta de tratamiento y a su vez reduce la eficiencia del sistema en el largo plazo.

9.2. Instalaciones hidrosanitarias e higiene en la vivienda

Las instalaciones hidrosanitarias existentes en la localidad, satisfacen al menos en la parte de equipamiento las demandas higiénicas de la vivienda y permiten a la comunidad protegerse de enfermedades transmisibles, intoxicaciones y enfermedades crónicas.

En general, la comunidad tiene buenos hábitos de higiene corporal y de preparación de alimentos. Estas prácticas higiénicas, pueden contribuir a la reducción de la morbilidad de enfermedades de origen hídrico en la localidad.

9.3. Cantidad, calidad y continuidad

La cantidad de agua suministrada en el corregimiento permite satisfacer las necesidades de consumo para la bebida, la preparación de alimentos, el aseo personal y la limpieza de la vivienda.

La percepción de baja calidad del líquido puede constituir un alto riesgo para la salud pública y en el largo plazo puede afectar la prestación del servicio de acueducto por el rechazo a las tarifas, debido a la inconformidad de los suscriptores.

Actualmente, la empresa prestadora del servicio de acueducto (ECAAF) no tiene un Plan de Seguridad del Agua, por lo tanto el sistema de abastecimiento es vulnerable a daños en la infraestructura y a fallas en la calidad y cantidad del suministro.

9.4. Cobertura de alcantarillado

La deficiente cobertura del servicio de alcantarillado y los vertimientos sin tratamiento en la localidad provocan aumento del riesgo sanitario, deterioro de los recursos naturales y la depreciación de las propiedades. Además, es fuente de contaminación del ecosistema de la cuenca del río Felidia que a su vez tributa al río Cali.

9.5. Residuos sólidos

El 90% de las viviendas encuestadas desecha el papel higiénico en tarro y lo dispone como un residuo sólido. Esta práctica aumenta el riesgo de contaminación fecal en la vía pública por la dispersión de las basuras realizada por animales callejeros y el lavado de los residuos en eventos de lluvia.

9.6. Organización comunitaria

En la localidad se observa una deficiente participación en los procesos comunitarios por la falta de sentido de pertenencia de la comunidad hacia los sistemas de agua potable y saneamiento. Esta pérdida de legitimidad institucional, tiene efectos ambientales y económicos adversos, por el manejo inadecuado de

los recursos naturales y la deficiente gestión financiera en la dirección de los servicios públicos.

9.7. Uso eficiente del agua

La falta de prácticas de uso eficiente del agua aumenta la demanda del recurso hídrico y la contaminación por aguas residuales domésticas. Esto además, afecta la calidad y la continuidad del servicio de acueducto, Además incrementa los costos de potabilización y tratamiento de efluentes.

9.8. Tarifas y capacidad de pago

La tarifa de alcantarillado es menor a la capacidad de pago de las familias. Sin embargo, se presenta un alto nivel de morosidad y rechazo al cobro, debido a falta de información a la comunidad en temas de administración de servicios públicos. Algunos suscriptores no reconocen el servicio prestado por la empresa en actividades de mantenimiento de la red de alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

9.9. Ingresos y costos

Los costos del tratamiento de aguas residuales son mayores a los ingresos operacionales y aunque se aumente el número de suscriptores y se reduzca la morosidad, no se pueden cubrir los costos administrativos y operativos del sistema. En las condiciones actuales de cobertura y morosidad solo se podrían cubrir los costos si la tarifa se incrementara en un 78%, lo cual resultaría inaceptable para la comunidad.

9.10. Selección de tecnología

La baja participación de la comunidad en la planeación y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales puede ser una de las causas de la falta de sentido de pertenencia de la comunidad.

9.11. Caracterización del sistema de tratamiento

En el desarenador, no se cumple el criterio de velocidad horizontal en ninguna de las condiciones de operación del sistema. Esta situación provoca la sedimentación de materia orgánica y contribuye a la disposición final de residuos no estabilizados que pueden ser fuente de contaminación y de enfermedades.

Los humedales construidos se encuentran subdimensionados. La eficiencia teórica para la remoción de DBO y nutrientes es menor al 1% en la mayoría de los casos. El tiempo de residencia y el área superficial construida es insuficiente para llevar a cabo los procesos biológicos requeridos y por lo tanto estas unidades aportan muy poco al sistema de tratamiento.

9.12. Evaluación fisicoquímica del agua residual y la fuente receptora

La fracción biodegradable del afluente es adecuada según la literatura para sistemas de tratamiento biológicos. La relación de SSV/SST en el agua residual cruda indica un alto contenido de materia orgánica y una baja tendencia a la colmatación de las unidades de tratamiento por material inerte.

El sistema de tratamiento cumple los parámetros de Grasas y Aceites, SST, pH y Temperatura; sin embargo la reducción de DBO, se observaron valores por encima y por de debajo de la normatividad colombiana. Esto se puede asociar con fallas en la hidráulica o en los procesos biológicos de las unidades de tratamiento.

La descarga del sistema de tratamiento afecta principalmente la DBO y la DQO de la fuente receptora, sin embargo, la quebrada Felidia presenta una buena capacidad de autodepuración, debido a que la topografía del cauce permite mantener el nivel de oxígeno disuelto mayor a 7 mg/L (Tabla 34 y 35). La fracción biodegradable de la mezcla después del vertimiento (Tabla 39 y 40) permite afirmar que el tratamiento continuará llevándose a cabo en el sistema natural.

10. CONCLUSIONES

La presencia de instalaciones hidrosanitarias y las buenas prácticas de higiene en las viviendas encuestadas superan el 90%. Esta situación contribuye a mantener la buena salud de la comunidad. Sin embargo, el parámetro más crítico en el servicio de acueducto es la percepción calidad del agua, la cual presenta un nivel de rechazo del 33% para consumo directo.

El bajo nivel en prácticas de uso eficiente del agua en las viviendas encuestadas (16 - 19 %), incrementa el consumo de agua potable y a su vez la producción de aguas residuales (540 L/hab-d). Esta situación puede ser la causa de los cortes nocturnos del servicio de acueducto y de las deficiencias en la calidad del agua de consumo por la resuspensión de contaminantes en la red de distribución.

El 90% de las viviendas disponen el papel higiénico como un residuo sólido. Esto representa un alto riesgo de contaminación microbiológica del espacio público y de proliferación de vectores.

El sistema de tratamiento no es sostenible financieramente bajo los escenarios factibles de cobertura, morosidad y facturación. Esto se debe principalmente a que el valor de la factura es menor a la capacidad de pago de los suscriptores y a los costos de operación del sistema.

La asistencia de la comunidad a las reuniones de la Junta del acueducto es del 68% y la participación de la mujer del 69%. El punto más crítico es la falta de consenso en la toma de decisiones en la administración del sistema. Esto se asocia a la falta de legitimidad debido a que la comunidad no fue tomada en cuenta para la selección y el diseño de la tecnología implementada.

La cantidad de viviendas que descargan sus aguas servidas sin tratar es del 25% y la carga promedio de DBO del sistema de tratamiento de aguas residuales es de 6,5 Kg/d. Esto afecta la quebrada Felidia del tal forma que la DBO₅ después de la mezcla es de 3,2 mg/L y clasifica la fuente como “Deficiente” para posteriores tratamientos en sistemas de abastecimiento ubicados en la cuenca del río Cali.

La eficiencia en la reducción de Grasas y Aceites es del 84% y cumple con la normatividad colombiana. Sin embargo, se observa que la concentración en el efluente se encuentra entre 10 y 20 mg/L independiente de la carga de entrada. Esta situación mantiene el intercambio gaseoso entre la fuente receptora y la atmósfera (URL- 13, 2001); y en consecuencia, incrementa el nivel de oxígeno disuelto que favorece la capacidad auto depuradora de la quebrada Felidia.

La descarga del sistema de tratamiento no afecta el pH (7,7 – 7,8 Und.) ni la temperatura (16 – 17 °C) de la fuente receptora y cumplen con la normatividad colombiana.

En el desarenador de la planta de tratamiento se presentan condiciones para la sedimentación de materia orgánica. Esto conlleva a la disposición de material biológico sin tratamiento en los lechos de secado y por lo tanto aumento del riesgo sanitario de los residuos del sistema.

Los tanques sépticos operan adecuadamente entre 2 y 6 L/s y los filtros anaerobios entre 3 y 5 L/s.

Los humedales subsuperficiales de flujo horizontal no son una alternativa tecnológica sostenible para el tratamiento terciario de las aguas residuales del corregimiento de Felidia, debido a la baja disponibilidad de terreno y al alto requerimiento de área de estos sistemas.

11. RECOMENDACIONES

Se debe aumentar la cobertura del servicio de alcantarillado. De esta manera se reducen los vertimientos sin tratamiento, que contaminan la fuente receptora y aumentan la proliferación de vectores y malos olores. Adicionalmente, el aumento de la cantidad de suscriptores junto con una adecuada gestión de facturación y recaudo mejoraría los ingresos operacionales del sistema de tratamiento y a su vez la sostenibilidad financiera del mismo.

Para aumentar la cobertura de alcantarillado, se debe realizar un estudio de selección de tecnología para la construcción de un sistema de evacuación de excretas financiera y técnicamente adecuado, el cual debe ir acompañado del mejoramiento en la administración de la empresa de servicios públicos y el uso racional del agua en la vivienda.

Se debe fortalecer la administración de la Empresa de Comunitaria de Acueducto y Alcantarillado de Felidia, mediante la capacitación a la comunidad con enfoque en la aceptación de las tarifas y además, muestren a la gente los beneficios sociales que se pueden lograr con la reducción de la contaminación. Además, debe revisar el esquema de facturación y el estado de las conexiones de las viviendas a la red de alcantarillado.

Se debe capacitar a la comunidad en uso eficiente del agua, para la reducir la producción de aguas residuales domésticas y mejorar la eficiencia de las unidades de tratamiento. Esto inclusive, reduce la demanda del recurso hídrico y a mejora los indicadores de cantidad, calidad y continuidad del servicio de acueducto.

Se debe mejorar en la protección de la fuente receptora, mediante la optimización del tratamiento de las aguas residuales, la reducción de los vertimientos sin tratamiento y la adecuada recolección de residuos sólidos.

La calidad del agua de consumo del corregimiento puede ser mejorada por medio de la protección de la fuente de abastecimiento, el mantenimiento de la red de distribución y el manejo adecuado en la vivienda.

Para la optimización de los humedales construidos se debe realizar un estudio cinético e hidrodinámico que permita identificar los requerimientos técnicos para mejorar la sostenibilidad de estos sistemas.

Se recomienda realizar campañas periódicas para lavado de manos y el manejo higiénico de los alimentos para mejorar las condiciones de salubridad de la comunidad.

12. BIBLIOGRAFIA

Alcaldía de Santiago de Cali, Documento: Cali en Cifras 2010

Bueno, G. Entrevista personal con la guía turística del corregimiento de Felidia, Octubre de 2011.

CEPIS/OPS-OMS. Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable. Lima, 2005.

CEPIS/OPS-OMS. Guías para el diseño de tecnologías para alcantarillado. Lima, 2005.

CEPIS/OPS-OMS. Guías de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades. 2009.

Contraloría General de la República (CGR). Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente. Bogota D.C., Colombia. 2007

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Sistema de información geográfico de la unidad de manejo de las cuencas Cali – Meléndez-Pance – Aguacatal. 2000.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados por la CVC en el sector rural del Valle del Cauca, SF

Decreto 1594 de 1984. Ministerio de Agricultura. Republica de Colombia

ESE Ladera. Alcaldía de Santiago de Cali. Red de Salud de Ladera. 2011.

Federación Nacional de Cafeteros. Manual de mantenimiento y operación. Planta de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Felidia. Santiago de Cali. 2010.

Galvis, A. Esquemas tecnológicos para el tratamiento de aguas residuales domésticas y manejo de lodos en el modelo conceptual SELTAR. 2005

Galvis, A., Cardona, D., Bernal, D. Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de la contaminación por aguas residuales domésticas en localidades colombianas menores a 30000 habitantes. Universidad del Valle. 2008

García, J; Corzo A. Humedales construidos, Guía práctica para el diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Universidad politécnica de Catalunya. 2008

Gómez, A. Desarrollo del Saneamiento Básico en Área Rural de Santiago de Cali, Secretaria de Salud Publica Municipal. 2010

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM. Toma y preservación de muestras. Sin fecha

Kadlec, R; Knight, R. Treatment Wetlands. CRC Press. Boca Ratón. 1996

MAVDT. Guía de gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2002

MAVDT. Producción y consumo sostenible. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2009.

Madera, C. Sistemas combinados de tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico, filtro anaerobio y humedales: una alternativa sostenible en pequeñas comunidades de países tropicales. 2003

Madera, C. Curso de saneamiento ambiental. Programa académico de Ingeniería Sanitaria. Universidad de Valle. 2007

Mouthon, J. Tecnología Apropiada en Colombia para Agua Potable y Saneamiento. Universidad de Cartagena. 2007

Pérez, M. Documentos de política pública "PIENSA Colombia: Hacia el desarrollo sostenible" Universidad del Valle. 2008.

Plan de desarrollo del corregimiento de Felidia 2008 - 2011. Alcaldía de Santiago de Cali.

RAS 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Titulo C: Sistemas de potabilización. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000.

RAS 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

Titulo E: Tratamiento de Aguas residuales. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000.

Restrepo, I., Sánchez, L., Galvis, A., Rojas, J., Sanabria, I. Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. Programa Editorial Universidad del Valle. Cali. 2007

Rodríguez, J. Curso de tratamiento anaerobio de aguas residuales. Programa académico de Ingeniería Sanitaria. Universidad de Valle. 2008.

Rojas, R. Curso internacional: Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. Conferencia: Sistemas de tratamiento de aguas residuales. CEPIS /OMS. 2002

Sandoval, J. Evaluación del desempeño de humedales horizontales subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas: aplicación de modelos macrocinéticos. Universidad del Valle. 2009

Referencias de internet

URL-1:

<http://www.unicef.org.co/0-aguaysaneamiento.htm>

Visitado en Noviembre 5 de 2010 a las 12:00

URL-2:

http://www.procuraduria.gov.co/descargas/publicaciones/parte3_agua.pdf

Visitado en Enero 16 de 2011 a las 18:30

URL-3:

<http://planeacion.cali.gov.co/PlanDesarrollo/PlanesTerritoriales/PERIODO%202008-2011/Corregimientos/59%20Felidia.pdf>

Visitado en Febrero 14 de 2011 a las 09:50

URL-4:

[http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-tanquessepticos.htm#Tanques o fosas sépticas](http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guia-tanquessepticos.htm#Tanques_o_fosas_sépticas)

Visitado en Marzo 22 de 2011 a las 16:27

URL-5:

http://www.col.ops-oms.org/DIAA/2003/DIAA03higiene.asp#_Toc51996863

Visitado en Marzo 22 de 2011 a las 17:03

URL-6:

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/Capitulo1.pdf>

Visitado en Marzo 15 de 2011 a las 23:45

URL- 7:

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/Capitulo3.pdf>

Visitado en Marzo 16 de 2011 a las 00:15

URL-8:

http://www.corantioquia.gov.co/sitio/images/stories/pdf/hidrico/PMAA/san_pedro_milagros.pdf

Visitado en Marzo 16 de 2011 a las 00:45

URL-9:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/aguaresi.pdf>

Visitado en Marzo 11 de 2011 a las 11:55

URL-10:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01512e07.pdf>

Visitado en Junio 22 de 2011 a las 08:55

URL-11:

<http://www.susana.org/lang-es/intro/156-intro/53-what-is-sustainable-sanitation>

Visitado en Junio 25 de 2011 a las 22:48

URL-12:

<http://tlingeambiente.com/productos>

Visitado en Marzo 13 de 2012 a las 00:27

URL- 13:

http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/Fundamentos_Tecnicos.pdf

Visitado en marzo 14 de 2012 a las 10:25