



**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL
MANEJO INTEGRADO DEL AGUA EN LA ESTACIÓN CENTRAL
NARANJAL “CENICAFÉ”**

JOSÉ RAÚL RENDÓN SÁENZ

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2014

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL
MANEJO INTEGRADO DEL AGUA EN LA ESTACIÓN CENTRAL
NARANJAL “CENICAFÉ”**

JOSÉ RAÚL RENDÓN SÁENZ

Cohorte VII

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Nelson Rodríguez Valencia, Ingeniero Químico Ph.D.

Línea de Investigación:
Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2014

A mi preciosa hijita Danna Isabella Rendón Cuarán, el fruto del amor, la esperanza y la alegría de nuestro hogar.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por su iluminación y por la salud, que es la mayor riqueza del hombre para realizar sus obras.

Al Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, con su Director el Dr. Fernando Gast, por su apoyo y la oportunidad de poder realizar este estudio.

Al Dr. Nelson Rodríguez Valencia, por todas sus enseñanzas, la asesoría y la motivación para sacar adelante el proyecto.

Al equipo incondicional de la Disciplina de Gestión de Recursos Naturales y Conservación, la Ingeniera Química Laura Quintero y el Auxiliar de Investigación Samuel Castañeda por sus aportes, la colaboración y el alto nivel de calidad en el trabajo y el trato hacia las personas.

A todos los integrantes de la gran familia “Naranjal” con la especial participación de Mario, José Luis, Fenelón, Ángela, Deisy y Lina a quienes aprecio y recordaré por siempre.

RESUMEN

A través de esta investigación se evaluaron estrategias para el manejo integrado del agua en la Estación Central Naranjal de Cenicafé, como mecanismo para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación del sistema productivo frente a un escenario de escasez del recurso. Durante el desarrollo de la investigación se definieron dos procesos de importancia para el manejo integrado del agua, como fueron el beneficio húmedo del café y las actividades domésticas. Para estas actividades se realizó un diagnóstico con el fin de conocer el estado de los sistemas de acueducto y alcantarillado, contabilizando los consumos de agua.

Para el sistema de acueducto, el diagnóstico inicial permitió identificar que las aguas provenientes del acueducto veredal se mezclaban con las aguas provenientes de una concesión utilizadas en labores agrícolas (de menor calidad) y esta mezcla era la que llegaba a las residencias. Se determinaron altos consumos de agua (superiores a 227 m³/mes, que representaron una dotación de 303 L/persona-día) para las labores domésticas. También se identificó que no existían controles operacionales para el seguimiento y control del funcionamiento de los sistemas de abastecimiento y el volumen de los tanques de almacenamiento no era suficiente para las necesidades de agua en la Estación. En cuanto a los usos del agua en las viviendas, se identificó que los grifos no tenían reductores de flujo y muchos de ellos presentaban fugas, y que la mayoría de los sanitarios consumían 12 L/descarga.

Para el sistema de alcantarillado, se identificó que este era mixto, pues las aguas lluvias se mezclaban con las aguas residuales provenientes de las viviendas. El único sistema independiente era el sistema de tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café.

Los sistemas sépticos existentes para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, estaban subdimensionados para tratar las aguas generadas, las cuales en época de cosecha correspondían a cerca de 70 personas.

Teniendo en cuenta la información obtenida en el diagnóstico inicial, se realizaron actividades que permitieron separar las aguas provenientes de la concesión para uso agrícola y las provenientes del acueducto veredal para uso de las viviendas. Se elaboraron los diferentes planos de las redes de conducción de agua (abastecimiento y

alcantarillado), se diseñaron e implementaron campañas educativas relacionadas con el uso eficiente del agua, se implementaron dispositivos ahorradores, se rediseñaron los sistemas de tratamiento para las aguas residuales domésticas y se implementaron controles operacionales tanto en el abastecimiento como en el sistema de alcantarillado para todas las aguas residuales generadas, que incluyeron el mantenimiento de los sistemas y las caracterizaciones de las aguas residuales a la entrada y a la salida de los sistemas de tratamiento.

Las campañas educativas y la implementación de dispositivos ahorradores lograron disminuir el consumo de agua en las actividades agrícolas y en el uso doméstico en un 63,7% y 62,8% respectivamente.

Con la separación de alcantarillados se logró disminuir los tamaños de las plantas de tratamiento en un 25% (tomando como base la precipitación promedio histórica de 2700 mm año⁻¹ registrada en dicha localidad).

El Índice de Riesgo de la Calidad el Agua (IRCA) aplicado a los resultados de la caracterización de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua suministrada por el acueducto veredal mostró, en el 75% de las muestras analizadas entre los años 2012 y 2013, un valor menor a 5% cuya interpretación sanitaria es que la calidad de esta agua no genera ningún riesgo para la salud humana.

El diseño y la instalación del sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas y del Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) para el tratamiento de las aguas residuales del café, permitieron alcanzar niveles de remoción superiores al 80% de la carga orgánica en términos de DQO y SST durante la fase estable de operación de los sistemas permitiendo cumplir con la normatividad ambiental vigente.

El sistema de postratamiento (compuesto por humedales artificiales de flujo subsuperficial) instalado en serie con el sistema séptico permitió aumentar la eficiencia en la depuración de aguas, con remociones promedio en términos de DQO del 73,9% de la carga orgánica proveniente del sistema séptico.

Las actividades de educación desarrolladas permitieron la capacitación en uso eficiente del agua y manejo de aguas residuales con una participación del 82% de los empleados.

ABSTRACT

Through this research strategies for integrated water management in the Central Station Naranjal of Cenicafé were evaluated, as a mechanism to reduce vulnerability and increase the capacity of adaptation of the productive system in a scenario of scarcity of this resource. During the course of the investigation two important processes for integrated water management were defined, the coffee wet mill and the domestic activities. For these activities a diagnosis was performed, in order to know the status of water supply and sewerage systems, and an accounting of the consumption of water was made.

For the water system, the initial diagnosis allowed the identification of water, from the sidewalk water supply mixed with water from a concession used in agriculture (low quality) and this mixture was used in the residences. High consumption of water (greater than 227 m³ per month, representing an amount of 303 L/person-day) for domestic activities were determined. We also identified that there were no operational controls for monitoring and controlling the operation of water supply systems and the volume of the storage tanks was not sufficient for the needs of water at the Station. As for water use in homes, it was identified that the valves had no flow restrictors and many of them had leaks, and that the majority of toilets consumed 12 L/download.

In the sewerage system, was found a mix, of rainwater mixed with sewage from houses. The only independent system was the treatment for the residual water from the coffee processing.

The existing wastewater septic systems were undersized to treat the water generated, at harvest time when the number of people could reach 70 individuals. Given the information obtained in the initial diagnosis, activities that allowed the separation of waters were made, from the concession for agricultural activities used and from the hamlet water supply for domestic use. Different levels of water supply networks (water supply and sewage) were developed, educational campaigns were designed and implemented related to the efficient use of water, saving devices were implemented. Treatment systems were redesigned for domestic wastewater and operational controls

were implemented, both the supply and the sewerage system for all generated wastewater, the maintenance systems and characterizations of wastewater at the inlet and the outlet of the treatment systems were included.

Educational campaigns and implementing of water saving devices, conducted to reduce water consumption in agricultural activities and domestic use in 63.7% and 62.8 % respectively. With the separation of sewage, there was a reduction of the sizes of treatment plants by 25 % (based on the historical average rainfall of 2700 mm year⁻¹ recorded in the locality). The Risk Index Water Quality (IRCA) applied to the results of the characterization of the physicochemical and microbiological water supplied by the hamlet water supply parameters showed, 75 % of the samples analyzed between 2012 and 2013, a lower value than 5% whose health interpretation is that the quality of this water produces no risk to human health.

The design and installation of a septic system to domestic wastewater treatment and Modular Anaerobic Treatment System (SMTA) for the treatment of wastewater from coffee, allowed levels higher than 80% removal of the organic load in terms of DQO and SST during the stable phase of operation systems enabling the accomplishment of the current environmental regulations.

The post treatment system (consisting of subsurface flow constructed wetlands) in series with the septic system greatly enhanced the efficiency of water treatment, in terms of average DQO removal of 73.9 % of the organic load from the septic system. Education activities developed in training allowed efficient use of water and wastewater management with a involvement of 82 % of employees.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
3.1. Descripción.....	7
3.2. Planteamiento de la pregunta de investigación	7
3.3. Formulación.....	7
3.4. Delimitación del problema.....	7
3.5. Antecedentes Investigativos	8
3.5.1. Riesgo climático.....	8
3.5.2. Manejo integrado del suelo	8
3.5.3. Beneficio ecológico del café	9
3.5.4. Manejo de aguas residuales	10
4. OBJETIVOS	12
5. HIPÓTESIS DE TRABAJO	13
6. MARCO TEÓRICO.....	14
6.1. Marco contextual	14
6.1.1. El agua como recurso finito	14
6.1.2. Estaciones experimentales de Cenicafé	15
6.1.3. Relación del clima con el uso eficiente del agua	16
6.1.4. Relación del suelo con el uso eficiente del agua.....	18
6.1.5. Amenaza, riesgo, vulnerabilidad y adaptación.....	19
6.1.6. Generalidades de la caficultura colombiana	20
6.1.7. Requerimientos hídricos del café.....	20
6.1.8. Beneficio del café y su relación con el uso eficiente del agua.....	21
6.2. Marco conceptual	23
6.2.1 El uso del agua en las actividades domésticas.....	23
6.2.2. Uso de dispositivos ahorradores de agua.....	25
6.2.3. Papel de la educación ambiental en el uso eficiente del agua.....	28
6.2.4. Sistemas de abastecimiento de agua	30
6.2.5. Parámetros de calidad de las aguas.....	31
6.2.5.1. Parámetros físico-químicos.....	32
6.2.5.2. Parámetros Microbiológicos	35
6.2.5.3. Caracterización de las aguas residuales	35
6.2.5.3.1. Características físico- químicas y microbiológicas de las aguas residuales del beneficio del café.....	36
6.2.5.3.2. Características físico- químicas y microbiológicas de las aguas residuales domésticas ..	37
6.2.6. Tratamiento de las aguas residuales, organismos y especies que participan en el sistema.....	37

6.2.6.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales del café	38
6.2.6.1.1. Componentes de un SMTA	38
6.2.6.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas	39
6.2.6.2.1. Componentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas	40
6.2.7.1. Tipos de sistemas para tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales	43
6.3. Marco normativo	45
7. METODOLOGÍA	50
7.1. Diagnóstico oferta y demanda del recurso hídrico.....	50
7.1.1. Medición del consumo de agua.....	51
7.1.2. Identificación de la provisión de agua.....	51
7.1.3. Identificación de aguas residuales.....	52
7.2. Diseño de los sistemas de abastecimiento.....	52
7.3. Diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales	52
7.3.1. Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas	52
7.3.1.1. Cálculos de diseño del tanque séptico.....	54
7.3.1.2. Cálculos de diseño del filtro anaerobio	54
7.3.1.3. Cálculos de diseño del humedal artificial.....	57
7.3.2. Diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales del café.....	59
7.3.2.1. Cálculos de diseño para la etapa Hidrolítica – Acidogénica (VRHA)	59
7.3.2.2. Cálculos de diseño para la etapa Metanogénica (VRM)	60
7.4. Evaluación de los sistemas abastecimiento y de tratamiento de aguas residuales	61
7.5. Acciones de capacitación y educación.....	64
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
8.1. Resultado diagnóstico programa uso eficiente del agua.....	65
8.1.1. Agua para consumo humano y actividades domésticas.	65
8.1.2. Agua para labores agrícolas.	68
8.2. Programa manejo de aguas residuales	74
8.2.1. Identificación del manejo de aguas residuales domésticas antes de implementar el manejo integrado del agua	74
8.2.2. Diseño del sistema séptico	77
8.2.3. Diseño del sistema modular para el tratamiento anaerobio de aguas mieles del café (SMTA)	87
8.2.4. Caracterización de las aguas residuales domésticas.....	91
8.2.4.1. Análisis general de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas.....	91
8.2.4.2. Evaluación del desempeño de los FAVA empacados con los diferentes medios filtrantes para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.....	96
8.2.4.3. Evaluación del posttratamiento de aguas residuales domésticas a partir de humedales artificiales de flujo subsuperficial	110
8.2.5. Análisis fisicoquímico de las aguas residuales del beneficio húmedo del café.....	111
8.3. Evaluación de las acciones de capacitación	115

CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES.....	120
LITERATURA CITADA	121
ANEXOS.....	126

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica de las Estaciones Experimentales de Cenicafé.	15
Tabla 2. Volumen de agua por tipo de muestra de café en el beneficio húmedo.	22
Tabla 3. Puntaje de riesgo IRCA, Resolución 2115 de 2007.	24
Tabla 4. Clasificación del riesgo en la salud según IRCA.	25
Tabla 5. Consumos de agua para dispositivos ahorradores.	28
Tabla 6. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.	30
Tabla 7. Variación a la dotación neta según el clima y el nivel de complejidad del sistema.	30
Tabla 8. Calidad de la fuente de abastecimiento.	31
Tabla 9. Caracterización de aguas residuales del beneficio del café.	36
Tabla 10. Recuento microbiano en aguas de despulpado con 48 horas de generadas.	37
Tabla 11. Caracterización de las aguas residuales domésticas.	37
Tabla 12. Legislación del agua en Colombia (Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).	47
Tabla 13. Contribución de aguas residuales y lodo fresco para ocupantes permanentes y temporales (RAS, 2000).	53
Tabla 14. Tiempo de retención de acuerdo a la contribución de aguas residuales (RAS, 2000).	53
Tabla 15. Tasa de acumulación de lodos digeridos de acuerdo al intervalo de limpieza (RAS, 2000).	53
Tabla 16. Promedios de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua proveniente del acueducto veredal la Quebrada de Naranjal.	67
Tabla 17. Aforo mensual del caudal concedido por CORPOCALDAS en m ³ , año 2012.	70
Tabla 18. Aforo mensual del caudal concedido por CORPOCALDAS en m ³ , año 2013.	73
Tabla 19. Promedios de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y DQO, del agua utilizada para actividades agrícolas.	74
Tabla 20. Promedios de los parámetros físico-químicos SST, Color, ST y microbiológicos coliformes totales y fecales del agua utilizada para actividades agrícolas.	74
Tabla 21. Parámetros de diseño del tanque séptico para el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.	79
Tabla 22. Valores estadísticos para el cálculo del área específica de tusas de maíz.	80
Tabla 23. Resultados de la determinación de porosidad en reactores empacados con tusas de maíz.	81
Tabla 24. Características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.	82
Tabla 25. Parámetros de diseño para el sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales del beneficio húmedo del café Estación Central Naranjal.	87
Tabla 26. Valores promedio para el análisis general de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.	92
Tabla 27. Valores promedio para el análisis general de los parámetros físico-químicos turbidez, DQO, SST y ST del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal. ..	93
Tabla 28. Valores promedio para el análisis general de los parámetros microbiológicos coliformes totales y coliformes fecales del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.	95
Tabla 29. Valores para el caudal volumétrico (ml/min) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	97
Tabla 30. Valores de pH (unidades) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	98
Tabla 31. Valores para la temperatura (°C) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	99
Tabla 32. Valores para conductividad eléctrica (µS/cm) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	99
Tabla 33. Valores para el oxígeno disuelto (ppm) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	100
Tabla 34. Valores para la turbiedad (FTU) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros. .	101

Tabla 35. Valores de color aparente (Un. Pt-Co) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	102
Tabla 36. Valores de color real (Un. Pt-Co) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	103
Tabla 37. Valores para la DQO de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	104
Tabla 38. Porcentajes de remoción DQO de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	105
Tabla 39. Valores para los SST de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	107
Tabla 40. Porcentajes de remoción SST de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	107
Tabla 41. Valores para los ST de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.	109
Tabla 42. Porcentaje de remoción solidos totales.	109
Tabla 43. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas en el sistema de humedales de la Estación Central Naranjal año 2013.	111
Tabla 44. Valores de los parámetros físico-químicos pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto en las corrientes de entrada y salida del sistema modular de tratamiento de aguas del beneficio de café de la Estación Central Naranjal.	112
Tabla 45. Valores de los parámetros físico-químicos turbidez, DQO, SST, y ST en las aguas residuales del sistema modular de tratamiento anaerobio de aguas del beneficio de café de la Estación Central Naranjal.	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dispositivos ahorradores de agua para actividades domésticas.....	27
Figura 2. Guías para educación y la participación de las comunidades en la gestión integral del recurso hídrico. *Adaptado de Rodríguez et al., 2012, proyecto Huellas de Paz.....	29
Figura 3. Etapas para la evaluación del manejo integrado del agua en la Estación Central Naranjal.....	51
Figura 4. Procesamiento de imágenes para el cálculo del área en cm ² , programa ImageJ, desarrollado por la National Institutes of Health (1997).....	55
Figura 5. Determinación del peso seco y húmedo de las tusas de maíz.....	57
Figura 6. Toma de muestras de aguas residuales domésticas para la caracterización fisicoquímica y microbiológica a la entrada y salida del sistema séptico.....	63
Figura 7. Toma de muestras de aguas residuales del beneficio de café para la caracterización fisicoquímica en el sistema modular de tratamiento.....	64
Figura 8. Consumo bimestral de agua en m ³ facturado por el acueducto durante los años 2011 y 2012.	66
Figura 9. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en muestras sin potabilizar.	67
Figura 10. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en muestras potabilizadas.	68
Figura 11. Procedimiento para la captación de aguas en la Estación Central Naranjal. Fuente: Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación Cenicafé.....	70
Figura 12. Registro mensual del consumo de agua en m ³ para el beneficio de café en la Estación Central Naranjal 2012-2013.	71
Figura 13. Sistema de almacenamiento de agua instalado para atender la demanda en las labores agrícolas 72	72
Figura 14. Sistemas sépticos del área albergue y casa principal Estación Central Naranjal. Fuente: Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación Cenicafé.....	76
Figura 15. Sistema séptico del área de bodegas. Fuente: Archivos Estación Central Naranjal Cenicafé.....	77
Figura 16. Medios de soporte utilizados en los filtros anaerobios del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal.....	80
Figura 17. Esquema del sistema de tratamiento diseñado para las aguas residuales domésticas.....	83
Figura 18. Dispositivos del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	84
Figura 19. Instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal.....	85
Figura 20. Instalación de los humedales de flujo subsuperficial para el postratamiento de aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal.....	86
Figura 21. Diagrama del flujo de las aguas lluvias y de las aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal.....	87
Figura 22. Esquema del sistema de tratamiento instalado para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café.....	89
Figura 23. Sistema modular para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del beneficio de café....	90
Figura 24. Valores promedio para el caudal volumétrico evaluado en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.....	93
Figura 25. Remoción de la carga orgánica en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.	94
Figura 26. Remoción de la carga orgánica de aguas residuales domésticas en términos de DQO y SST en los medios filtrantes evaluados en los FAF2.....	104
Figura 27. Remoción de la carga orgánica en términos de Turbidez, DQO, SST y ST en el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio de café.....	115

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato para el control y mantenimiento del sistema de captación de agua.	126
Anexo 2. Formato para el control y mantenimiento del sistema séptico	127
Anexo 3. Formato para el control y mantenimiento del sistema de tratamiento anaerobio de aguas mieles de café.....	128
Anexo 4. Formato para el análisis fisicoquímico y microbiológico de aguas residuales.....	129
Anexo 5. Resolución # 677 de diciembre de 2010, Corpocaldas.	130
Anexo 6. Consumos en actividades agrícolas en la Estación Central Naranjal para el año 2013.....	134
Anexo 7. Actividades de reemplazo de dispositivos de alto consumo de agua por dispositivos ahorradores.	136
Anexo 8. Informe de resultados de la caracterización de aguas residuales emitido por el Laboratorio Ambiental de Corpocaldas 2012.....	137
Anexo 9. Boletín informativo del programa de gestión ambiental manejo de aguas residuales.....	140
Anexo 10. Boletín informativo del programa de gestión ambiental uso eficiente del agua.....	141
Anexo 11. Campañas de ahorro de agua desarrolladas en el programa de educación ambiental.....	142
Anexo 12. Lista de materiales para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas	143
Anexo 13. Lista de materiales para la construcción del sistema modular de tratamiento anaerobio de aguas residuales del café.....	144
Anexo 14. Lista de materiales para la construcción del sistema de almacenamiento de agua para el beneficio de café.....	145
Anexo 15. Informe 13-505 realizado por el laboratorio de análisis de agua Acuatest. Para el sistema de aguas residuales domésticas año 2013.....	146
Anexo 16. Comunicado certificación ICONTEC normas de calidad y gestión ambiental	152

1. INTRODUCCIÓN

El Manejo Integrado del Agua (MIA) es un concepto basado en la idea de que los diferentes usos del recurso son excluyentes e interdependientes, surgió como respuesta a la “crisis del agua” expresada en la presión insostenible sobre el recurso hídrico, debida a la creciente demanda de agua, la contaminación y el crecimiento demográfico (IRC, 2006).

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), publicada en el año 2010, establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país. La política surge de lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, en el cual se plantea el reto de garantizar la sostenibilidad del recurso, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos (MAVDT, 2010).

La caficultura colombiana como sector de la producción representa uno de los renglones agrícolas más importantes en el país, con 974 mil hectáreas cultivadas que generan una producción anual promedio de 10 millones de sacos de 60 kg de café verde (Federacafé, 2014). Durante todo el proceso productivo del café los requerimientos de agua son esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta, la formación y el llenado de los frutos, la cosecha y el manejo poscosecha para efectuar el beneficio húmedo del café.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia por su parte, es el gremio que representa desde el año 1927, más de 563 mil familias cafeteras en el país y siempre a través de sus acciones ha trabajado en la sostenibilidad ambiental como una de las principales dimensiones, desde la investigación científica liderada por Cenicafé, el acompañamiento técnico realizado por el Servicio de Extensión y el aseguramiento del mercado con la participación de las cadenas de regulación y comercialización.

El Centro Nacional de Investigaciones de café “Cenicafé” representa en Colombia la capacidad de desarrollo científico y tecnológico para el sector cafetero. Para el desarrollo

de las investigaciones, Cenicafé cuenta con una estructura temática organizada por disciplinas, encargadas de realizar diferentes estudios en busca de soluciones para la problemática del cultivo de café en todas sus etapas. La evaluación de las tecnologías desarrolladas en condiciones de representatividad de la caficultura colombiana a nivel regional se lleva a cabo en 8 Estaciones Experimentales a nivel nacional, donde se pone a prueba la innovación tecnológica y científica y se imparte un modelo demostrativo para los caficultores colombianos.

La Estación Central Naranjal es la más importante de las 8 Estaciones, por su potencial y representatividad en la caficultura colombiana, está ubicada en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas, en la vertiente occidental de la cordillera central a 04°58' latitud Norte y 75°39' longitud Oeste.

Como granja experimental en ella se evalúan diferentes procesos relacionados con los sistemas de producción de café y se aprovechan los recursos naturales y el potencial de oferta ambiental que tiene la zona para la caficultura colombiana. En términos del uso de recursos, el agua representa un componente fundamental en estos procesos y es afectada principalmente por el uso ineficiente y la falta de control en algunas etapas como consecuencia de la ausencia de un plan de manejo con el cual se implementen buenas prácticas que aseguren la gestión integral, racional y sostenible del agua.

Uno de los retos institucionales es integrar la investigación científica con el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones (social, económico y ambiental) en todas las etapas del cultivo de café, de sus cultivos asociados y permeando el área administrativa y técnica, con la participación de todos sus colaboradores y dando alcance al cumplimiento de la legislación ambiental vigente. El fortalecimiento de un modelo de gestión para el caficultor colombiano y la certificación en normas de gestión de la calidad NTC-ISO 9001:2008 y de gestión ambiental NTC-ISO 14001:2004 son algunos logros en este aspecto (Anexo 14).

Entre las principales estrategias relacionadas con el manejo integral del recurso hídrico en la caficultura colombiana se resaltan los trabajos de investigación realizados en Cenicafé, en aspectos como el clima (Jaramillo *et al.*, 1992; Jaramillo y Arcila, 2009a; Jaramillo y Arcila, 2009b).

En aspectos relacionados con el suelo, como son drenajes, evaluación de la erosión y uso de coberturas (Rivera, 2002; Rivera, 2011; Hincapié y Ramírez, 2010; Farfán y Jaramillo, 2008).

El desarrollo de variedades de café resistentes a enfermedades como la roya del café (Alvarado *et al.*, 2005). Los estudios desarrollados sobre el manejo de plagas el cultivo de café (Benavides y Arévalo, 2002) y el manejo integrado de arvenses (López *et al.*, 2010).

En la etapa de beneficio del café se destacan los trabajos en beneficio ecológico (Roa *et al.*, 1997) y en tratamiento de aguas residuales del café (Zambrano *et al.*, 2006).

Para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación las acciones se orientaron a la integración de prácticas frente al uso eficiente y sostenible del recurso hídrico, considerando la sensibilización y capacitación del personal que labora en la Estación y los sistemas de acueducto y alcantarillado, en sus etapas de diseño, instalación y evaluación.

2. JUSTIFICACIÓN

En el marco de la gestión sobre los recursos naturales, se promulga la Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico en Colombia en el año 2010, con el propósito de resolver la actual problemática del recurso y promover un uso eficiente y sostenible para el bienestar de las futuras generaciones. La participación de actores sociales e institucionales es uno de los fundamentos de la política de gestión integral e impone compromisos para todas las personas en las diferentes regiones del país (MAVDT, 2010).

La ausencia de acciones para el manejo integrado del agua, genera problemas asociados con el exceso o el déficit del recurso, y en cualquiera de estos casos las consecuencias son graves sobre la calidad de vida de las personas y para el desarrollo económico y ambiental. Se estima que el volumen total anual de precipitación en Colombia es de (3.700 km³), del cual el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71.800 m³/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km³ al año. La población en Colombia para el año 2010 era de 45.508.205 habitantes, siendo el segundo país más poblado de Suramérica y el cuarto de América (IAvH *et al.*, 2011), actualmente la disponibilidad per cápita de agua en Colombia ha disminuido de cerca de 60.000 m³/hab-año en 1985 a 26.770 m³/hab-año en 2010 (MAVDT, 2010).

Acciones antropogénicas como la deforestación, el cambio en el uso del suelo y las aguas residuales contaminantes de las fuentes de agua, aunados al fenómeno del calentamiento global y al crecimiento en la demanda de agua en zonas con déficit hídrico, generan una influencia directa sobre la disponibilidad del recurso hídrico en Colombia (Rodríguez, 2009).

Los problemas de contaminación de las fuentes hídricas son responsables del 60% de la disminución de la disponibilidad del agua, el aumento en la descarga de aguas residuales de tipo doméstico y de procesos productivos, deteriora progresivamente la calidad del recurso. Como principales contaminantes presentes en las aguas domésticas se reportan las heces y la orina humana, los residuos orgánicos de alimentos, así como los desechos de detergentes entre otros. La carga contaminante que se genera del proceso de beneficio

húmedo del café, tiene sus mayores impactos sobre la contaminación de aguas y suelos cuando estas no se tratan adecuadamente, afectando los ecosistemas naturales y la salud de las personas.

A partir de la expedición del decreto 3930 de 2010 se establecen las disposiciones relacionadas con los usos y el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al mismo, al suelo y a los sistemas alcantarillados (MAVDT, 2010). El cumplimiento de los límites permisibles de carga contaminante ajustados para la disposición de aguas residuales generadas de diferentes actividades productivas y de aguas residuales domésticas, crea una necesidad prioritaria en la investigación de alternativas integrales en la gestión de los recursos hídricos.

La Estación Central Naranjal desde su estructura institucional y como Centro de Investigación, representa un modelo para el caficultor colombiano a través de todas las actividades y experimentos que se desarrollan, es en este espacio donde se reciben permanentemente cientos de caficultores que a través de giras programadas pueden ver la tecnología y las prácticas desarrolladas por el Centro de Investigación en todas las etapas del cultivo y con una imagen de proyección hacia la promoción de buenas prácticas agrícolas. No obstante, la implementación del manejo integrado del recurso hídrico sopesa con alternativas que permitan demostrar los resultados de la evaluación de tecnologías y buenas prácticas en las labores que se desarrollan en la caficultura, permitiendo preparar a los productores para adoptar estrategias de adaptación encaminadas a la sostenibilidad de los recursos naturales y una mejor calidad de vida.

A pesar de los numerosos estudios desarrollados en Cenicafé sobre alternativas para la protección de los recursos naturales de la zona cafetera, el monitoreo del clima, el manejo integrado del suelo, plagas y enfermedades, el uso eficiente del agua en las diferentes etapas del proceso de beneficio húmedo del café, el control de la contaminación de las aguas residuales del café y el monitoreo de la calidad del agua mediante análisis físico-químicos, existe una gran brecha entre los resultados obtenidos en las investigaciones y la implementación o adopción de tecnologías por los caficultores colombianos.

La importancia de realizar investigaciones que permitan evaluar estrategias de implementación, repercuten sobre el grado de aceptación y conocimiento que se puede ofrecer a los caficultores y de acuerdo a las necesidades de adaptación, logrando escalar y personalizar las recomendaciones haciendo énfasis en investigación participativa.

Mediante el desarrollo de la presente investigación se pretenden disminuir el riesgo de suministro de agua en la Estación Central Naranjal ante eventos climáticos que influyan sobre la escasez del recurso, con la implementación de buenas prácticas agrícolas que contribuyan a mantener la cantidad y la calidad del agua en la microcuenca abastecedora de la Estación y generar un modelo de manejo del agua que se pueda presentar a la gran cantidad de caficultores que visitan anualmente la Estación, para que lo implementen en sus fincas, con el fin de que estas acciones locales nos permitan realizar cambios globales entorno al buen manejo del agua.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Descripción

El uso ineficiente del agua en el proceso de cultivo y beneficio húmedo del café y en las actividades domésticas de la Estación, son una amenaza permanente para la disponibilidad de los recursos naturales en la Estación Central Naranjal.

La falta de capacitación del personal en los procesos, la falta de un plan de mantenimiento y un control establecido para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas abastecimiento y alcantarillado, así como la escasa implementación de buenas prácticas agrícolas, generan impactos negativos sobre los recursos naturales.

3.2. Planteamiento de la pregunta de investigación

¿Es posible reducir el riesgo de la disponibilidad de agua en la Estación Central Naranjal mediante la implementación de estrategias encaminadas al manejo integral del recurso hídrico?

3.3. Formulación

Reducir el riesgo en la disponibilidad del recurso hídrico, a través una disminución en la vulnerabilidad de la cantidad y de la calidad del agua en la cuenca y mediante un aumento en la capacidad de adaptación tanto de las personas como de los procesos que utilizan agua a una oferta hídrica menor, para las diferentes actividades que se llevan a cabo en la Estación.

Para ello se diseñarán, instalarán y evaluarán sistemas de abastecimiento y de tratamiento de aguas residuales en la Estación; se capacitará a los empleados y habitantes de la Estación en el uso eficiente del agua y se implementarán y evaluarán dispositivos ahorradores de agua en las actividades domésticas, con el fin de generar un modelo para la gestión integral del recurso hídrico que le sirva de ejemplo a los caficultores que visitan la Estación y que permita cumplir con la normativa ambiental vigente en materia del recurso hídrico.

3.4. Delimitación del problema

Los principales procesos hacia los cuales se orienta la investigación son: beneficio húmedo de café constituido por la fuente de agua, el sistema de abastecimiento, áreas de recibo del café cereza, despulpado, transporte de pulpa, zona de fermentación, zona de

lavado y sistema de tratamiento de aguas residuales del café. Las actividades domésticas incluyen la fuente de agua, un sistema de abastecimiento, áreas de preparación de alimentos, unidades sanitarias, duchas, lavamanos, lavaderos, el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticos (en sus etapas de tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario).

3.5. Antecedentes Investigativos

A continuación se relacionan algunas investigaciones realizadas en Cenicafé, en el tema de riesgo climático y conservación de recursos naturales.

3.5.1. Riesgo climático

Las condiciones de variabilidad climática generan impactos sobre el desarrollo de los cultivos y la disponibilidad de agua, los fenómenos de la niña y el niño son eventos naturales que se producen por la interacción entre la atmósfera y el océano, y a ellos están asociados cambios en los niveles de precipitación, la temperatura y el brillo solar (Jaramillo y Arcila, 2009a; Jaramillo y Arcila, 2009b).

Procesos fisiológicos como la floración del café dependen de la relación con las variables meteorológicas entre las que se destaca la disponibilidad hídrica (déficit o exceso hídrico), un escenario de eventos recurrentes que promueven la variabilidad climática compromete directamente la producción del cultivo (Ramírez *et al.*, 2011).

Como tipos de riesgos asociados al recurso hídrico, se reportan el desabastecimiento de agua para el consumo humano, actividades productivas y conservación de ecosistemas, el riesgo por sequía y desertificación para las actividades agropecuarias y el riesgo por contaminación hídrica para la población y los ecosistemas (MAVDT, 2010)

3.5.2. Manejo integrado del suelo

El manejo del agua superficial, su conservación y protección son objetivos importantes en el manejo integrado del agua, pero también el manejo del agua en el suelo, y el manejo de los suelos con prácticas de conservación asociadas a la disminución del riesgo de la erosión, contribuyen a la gestión sobre estos recursos naturales. En este entorno, Ramírez e Hincapié, 2009, desarrollaron un instrumento de medición del riesgo de erosión en la zona cafetera, asociado a la intensidad y duración de las lluvias, a la

diversidad de los suelos y al grado de pendiente, con el fin de identificar la magnitud del riesgo para poder implementar planes de uso y manejo eficientes del suelo, en este estudio se determinó como factor determinante de los problemas de erosión, el efecto de las lluvias.

Como soluciones para el manejo de la erosión hídrica se han desarrollado estudios a partir de los cuales se recomienda el uso de coberturas vegetales como alternativa para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el suelo desnudo, y además favorecer el avance de las aguas de escorrentía sobre la cobertura vegetal sin que se produzca arrastre de sedimentos (Rivera, 2001; Hincapié y Salazar, 2007).

3.5.3. Beneficio ecológico del café

En el beneficio del café, las principales recomendaciones relacionadas con el uso eficiente del agua se resumen a continuación:

- 1- Despulpado sin agua: Tanto el despulpado como el transporte de la pulpa hacia las fosas debe realizarse sin usar agua (Álvarez, 1991), para este fin se han diseñado máquinas despulpadoras que tienen la capacidad de recibir la masa de café cereza a través de la tolva y transportar el café en baba hasta el tanque aprovechando la gravedad, adicionalmente el transporte de la pulpa hacia la fosa techada se hace a través de un tornillo sin fin o por gravedad
- 2- Tiempo de fermentación: el tiempo de fermentación puede ser modificado a través de la adición de enzimas encargadas de la aceleración del proceso. De forma convencional el café despulpado alcanza su grado de fermentación óptimo después de 12- 16 horas, con el uso de las enzimas la masa de café puede estar lista para su lavado después de tres horas permitiendo asegurar así una mejor calidad del grano, una mayor eficiencia de las labores poscosecha y la optimización en el uso de la infraestructura disponible, sobretodo en épocas de mayor volumen de cosecha. Implementar el uso de enzimas para el lavado del café no afecta la carga orgánica de las aguas residuales generadas en esta etapa, por lo tanto es necesario hacer tratamiento posterior de los efluentes con un sistema de tratamiento (Peñuela *et al.*, 2011).
- 3- Volumen de agua para el lavado: la masa de café en condiciones de fermentación adecuada necesita 4 enjuagues, los tres primeros enjuagues requieren un volumen

de agua suficiente para cubrir la masa y un cuarto enjuague se debe hacer con un volumen que cubra 5 a 10 cm por encima del nivel de la masa de café, para asegurar una buena selección del café lavado. La cantidad de agua que se utilizaría por kilogramo de café pergamino seco siguiendo estas recomendaciones puede llegar a ser entre 4 y 5 litros y la carga orgánica en las aguas mieles resultantes de este proceso de lavado oscila entre 25.000 a 30.000 ppm de (DQO), las cuales pueden ser tratadas biológicamente con Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio SMTA (Zambrano *et al.*, 2011).

Con la implementación de nuevas tecnologías como el ECOMILL® se necesitaría sólo 0,3 litros para lavar un kilogramo de café pergamino seco (Cenicafé, 2013).

3.5.4. Manejo de aguas residuales

Los trabajos realizados en Cenicafé relacionados con el tratamiento de aguas residuales generadas del proceso de beneficio húmedo de café, se han fundamentado en el tratamiento anaerobio como una de las soluciones más económicas y eficientes para disminuir la contaminación de estas aguas, los primeros diseños de los sistemas de tratamiento fueron modificados seleccionando materiales de construcción más adecuados, con estrategias de operación y dimensionamiento que llevaron a proponer el sistema modular de tratamiento anaerobio SMTA (Zambrano *et al.*, 1999).

En la tecnología SMTA, el flujo de las aguas residuales ocurre por gravedad y de acuerdo con el tipo de material con el cual están diseñados los tanques, no se requiere de un calentamiento adicional, ni el uso de energía eléctrica. Otra característica de estos sistemas es la utilización de organismos metanogénicos presentes en el estiércol vacuno o porcino, responsables de la etapa principal del tratamiento de agua mieles, y el uso de trozos de guadua o de botellas plásticas no retornables como medio de soporte para los microorganismos. Con estos sistemas se logra remover más del 80% de la contaminación orgánica presente en las aguas residuales del beneficio del café (Zambrano *et al.* 2010).

Evaluaciones realizadas sobre efluentes del beneficio húmedo del café, aguas de lavado tratadas anaerobiamente y aguas no tratadas, utilizando como bioindicadores el alga *Chlorella vulgaris*, el pez *lebistes reticulatus* y el microcrustáceo *Daphnia pulex* permitieron concluir que todos los efluentes de los procesos del beneficio del café deben ser tratados antes de ser vertidos a los cuerpos de agua (Matuk *et al.*, 1997).

Rodríguez (2009), evaluó el desempeño de sistemas acuáticos de tratamiento sobre los efluentes de sistemas anaerobios, a partir de la remoción de los parámetros físico-químicos DQO, DBO5, ST, SST, NT, PT, K, S y del grupo de bacterias Coliformes, utilizando lagunas impermeabilizadas de 2 m de largo x 0,5 m de ancho x 0,5 m de profundidad efectiva, sembradas con las especies flotantes *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* y con la especie emergente *Typha angustifolia* evaluando. En la investigación se concluye que es necesario disminuir la concentración de las aguas mieles tratadas anaerobiamente a valores de DQO por debajo de 1172 ppm para poder utilizar sistemas de tratamiento con plantas acuáticas.

4. OBJETIVOS

Objetivo General

Reducir el riesgo de disponibilidad de agua en la Estación Central Naranjal a través de una disminución en la vulnerabilidad de los recursos hídricos y mediante el incremento de la capacidad de adaptación, tanto de las personas como de los procesos a una oferta hídrica menor.

Objetivos específicos.

1. Capacitar a los trabajadores de la Estación Central Naranjal en BPA y en el uso eficiente del agua.
2. Implementar tecnologías limpias en actividades domésticas y de beneficio de café (restringidores, baterías sanitarias de bajo consumo, tanques tina para lavado de café, entre otros).
3. Implementar un sistema de abastecimiento para agua de uso agrícola que incluya mantenimiento y evaluación de la calidad del agua suministrada.
4. Implementar sistemas de tratamiento para las aguas residuales domésticas y del beneficio del café, incluyendo actividades de mantenimiento y la evaluación del desempeño de los sistemas.
5. Evaluar diferentes medios de empaque para los filtros anaeróbicos de flujo ascendente que se utilizan en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

5. HIPÓTESIS DE TRABAJO

H1: Los procesos de capacitación aunados a la implementación de tecnologías limpias, permiten reducir el consumo de agua en la ECN en al menos un 20%.

H2: La implementación de Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio de las aguas residuales del café, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80%, cuando el sistema alcanza el estado estable.

H3: La implementación de Sistemas Sépticos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80%, cuando el sistema alcanza el estado estable.

H4: La evaluación de los filtros anaeróbicos de flujo ascendente empacados con tusas de maíz, aseguran una eficiencia de remoción de carga orgánica, en términos de DQO y SST, similar a la obtenida con los medios de empaque compuestos de trozos de guadua y botellas plásticas no retornables, con un valor no menor al 5% respecto a las eficiencias mostradas por los otros dos filtros.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Marco contextual

6.1.1. El agua como recurso finito

Las actividades humanas y los procesos agrícolas involucran el uso de los recursos naturales de manera permanente, el recurso hídrico constituye uno de los principales factores que influyen sobre la productividad de los cultivos, la salud humana, el desempeño de los ecosistemas y la conservación de la vida a toda escala.

Un análisis global a cerca de la disponibilidad del recurso hídrico en nuestro planeta, permite inferir que este es cada vez menor frente a la tasa de crecimiento de la población humana que actualmente se registra. A nivel mundial se estima que la disponibilidad de agua promedio anual es de 1.386 millones de km³. De ésta, 35 millones de km³ son agua dulce (2,5%). Del agua dulce, el 70% no es disponible por encontrarse en glaciares, nieve, hielo; 10,5 millones de km³ se encuentran en el agua subterránea, y solamente 135 mil km³ se encuentran en lagos, ríos, humedad en suelo y aire, humedales, plantas y animales (CONAGUA, 2013).

En Colombia el total de recursos hídricos internos renovables asciende a 2.112 km³/año, y solamente 20 km³/año corresponden a recursos hídricos externos. De la cantidad de agua proveniente de las precipitaciones se calcula que aproximadamente dos terceras partes se pierde por evaporación y evapotranspiración, el restante se convierte en escorrentía (ríos y lagos) y en aguas subterráneas (acuíferos), estos recursos renovables son utilizados por el hombre y luego son devueltos al medio ambiente afectando notablemente su calidad (FAO, 2014)

Diferentes estudios sobre el manejo integrado del agua han tratado de explicar las razones por las cuales el agua se hace más escasa en nuestro planeta, y entre ellas se consideran el crecimiento acelerado en las actividades económicas y la búsqueda de una mejor calidad de vida para el hombre, causas de la creciente competencia por los recursos limitados de agua dulce en diferentes escenarios, generando impactos negativos. Con este enfoque y a partir de estos análisis se han formulado interesantes teorías que fundamentan estrategias para el manejo integrado del agua. La Asociación Mundial para el Agua (GWP, 2000) expone como ejemplo los cuatro principios de Dublín como base

para el manejo integrado del recurso hídrico en los cuales se evidencia la vulnerabilidad del recurso, el enfoque participativo y el valor económico.

I El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medioambiente.

II El desarrollo y manejo del agua debe estar basado en un enfoque participativo, involucrando a usuarios, planificadores y realizadores de política a todo nivel.

III La mujer juega un papel central en la provisión, el manejo y la protección del agua.

IV El agua posee un valor económico en todos sus usos competitivos y debiera ser reconocido como un bien económico.

Se considera que en estos principios existen oportunidades que ofrecen elementos para la estructuración de políticas que propendan hacia un marco de gestión integral del recurso hídrico en todas sus escalas (Solanes, 1998).

6.1.2. Estaciones experimentales de Cenicafé

El Centro Nacional de Investigaciones de café “Cenicafé” representa en Colombia la capacidad de desarrollo científico y tecnológico para el sector cafetero, brindando soluciones en diferentes aspectos relacionados con el cultivo de café. Para evaluar a nivel regional las investigaciones desarrolladas por el Centro, se cuenta con Estaciones Experimentales distribuidas desde los 2° hasta los 10° de latitud Norte, con rangos altitudinales que van de los 1100 m.s.n.m a los 1700 m.s.n.m en 8 departamentos (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación geográfica de las Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Estación Experimental	Departamento	Municipio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud metros
El Tambo	Cauca	El Tambo	02° 24'	76° 44'	1.735
Paraguaicito	Quindío	Buenavista	04° 24'	75° 44'	1.203
La Catalina	Risaralda	Pereira	04° 45'	75° 44'	1.321
Líbano	Tolima	Líbano	04° 54'	75° 02'	1.456
Naranjal	Caldas	Chinchiná	04° 58'	75° 39'	1.381
El Rosario	Antioquia	Venecia	05° 58'	75° 42'	1.635
Santander	Santander	Floridablanca	07° 06'	73° 04'	1.539
Pueblo Bello	Cesar	Pueblo Bello	10° 25'	73° 34'	1.134

La Estación Central Naranjal se encuentra ubicada en el municipio de Chinchiná y representa el Ecotopo Cafetero 206A en la vertiente occidental de la cordillera central, zonificación agroecológica que caracteriza propiedades de suelos, clima y relieve agrupados por su homogeneidad (Gómez *et al.*, 1991). Los suelos de esta zona se caracterizan por la presencia de cenizas volcánicas, las precipitaciones están entre rangos de 2.400 – 2.800 mm y la modalidad del cultivo de café que predomina es a libre exposición.

La Estación cuenta con una extensión de 198 hectáreas, el uso del suelo está compuesto por áreas de cultivo de café 32%, pastos 9%, sistemas agroforestales 2,3%, forestales 4,6%, bosques 19,4%, guadua 7,9%, barbecho 19%, vías 3,8% y construcciones 2%. Por su representatividad en la caficultura colombiana, esta granja experimental reúne condiciones óptimas para el cultivo de café por la calidad de los suelos, el clima y su topografía, lo que la clasifica como la principal a nivel nacional.

Las principales actividades de investigación que se llevan a cabo en la Estación, se enmarcan en el estudio de obtención de variedades de café, manejo de plagas y enfermedades, fisiología, nutrición del cultivo, sistemas de producción, sostenibilidad ambiental, clima y calidad.

6.1.3. Relación del clima con el uso eficiente del agua

En términos generales el ciclo biológico del agua representa una alta probabilidad de recuperar el potencial de abastecimiento y la calidad del recurso hídrico.

En la Estación Central Naranjal a través de los registros históricos de los principales elementos del clima y por medio de una estación meteorológica instalada en dicha localidad, se tienen datos históricos que han ayudado a describir el régimen de lluvias, el cual se caracteriza por presentar dos épocas de mayor pluviosidad en el año, (abril-mayo; octubre-noviembre), dos épocas de menor pluviosidad (enero-febrero; julio-agosto), y un número de días con lluvia en el año que superan los 249 días para un promedio de 2700 mm/año (Baldión y Guzmán, 1998).

Como fuentes para el abastecimiento del recurso hídrico, La Estación Naranjal se surte de un nacimiento ubicado en predios de la Fundación Manuel Mejía y del acueducto Veredal La Quebra Naranjal, del cual se benefician cerca de 2300 habitantes de cuatro veredas. El agua del acueducto es captada de la Quebrada La Honda del municipio de Chinchiná.

Para el cultivo de café en esta localidad, las condiciones de déficit hídrico alcanzados en los períodos secos no comprometen el crecimiento y desarrollo del cultivo, pero si puede comprometerse la disponibilidad del recurso para efectuar labores de beneficio del café y para el consumo humano.

A través de la información meteorológica básica obtenida desde 1950 en la red de estaciones climáticas de Cenicafe, se ha caracterizado las condiciones de clima para las diferentes regiones donde se cultiva el café en Colombia (Jaramillo, 2005). El monitoreo del comportamiento y la variabilidad de los principales elementos del clima hace parte de la información que soporta los modelos para la toma de decisiones y entre sus aplicaciones se pueden evaluar los efectos frente a condiciones como el cambio climático.

La identificación de los cambios significativos que el clima puede presentar en las diferentes regiones ayudaría a definir la implementación de nuevas estrategias de mitigación y adaptación de los sistemas de producción. La adaptación según la definición dada por el IPCC, 2007 se refiere a las iniciativas y medidas que reducen la vulnerabilidad de los sistemas naturales y antropogénicos frente a los efectos reales o esperados del cambio climático.

La vulnerabilidad del recurso está relacionada con la vulnerabilidad de los sistemas hídricos para conservar y mantener la capacidad hidrológica actual ante posibles alteraciones climáticas y a la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento y distribución frente a la reducción de la oferta y disponibilidad del agua (MAVDT, 2010).

Uno de los elementos del clima responsable de la renovación de la capacidad de los acuíferos para incrementar su caudal es la precipitación, el ciclo hidrológico en una región está compuesto por entradas y salidas de agua de los sistemas, como la lluvia, la evaporación y la transpiración, el agua interceptada por las plantas, la escorrentía y el agua almacenada en el suelo. Las cantidades de agua redistribuidas en el sistema se

pueden cuantificar mediante un proceso de cálculo llamado balance hídrico, el cual permite determinar para una localidad la duración y magnitud de los períodos con excesos o déficit de agua (Jaramillo, 2005)

Los ecosistemas dependen de los flujos de agua, la estacionalidad, las fluctuaciones en los niveles de agua y tienen la calidad de agua como factor determinante. El manejo de recursos de agua y tierra deben garantizar que se mantenga la vida del ecosistema y que los efectos adversos sobre otros recursos naturales sean considerados y en lo posible mejorarlos cuando se tomen decisiones de manejo y desarrollo (GWP, 2000).

La capacidad de abastecimiento de agua en un sistema y el aseguramiento de un uso eficiente del recurso, debe regirse bajo normas de control y vigilancia en los que intervienen las autoridades competentes. Las Corporaciones Autónomas Regionales cumplen su función en la autorización sobre la cantidad de agua que se puede utilizar en los diferentes procesos industriales y domésticos, así como el tratamiento de los efluentes, para asegurar la sostenibilidad del recurso a diferentes escalas de desarrollo.

6.1.4. Relación del suelo con el uso eficiente del agua

Los suelos predominantes de la Estación Central Naranjal poseen unas excelentes características físicas como alta porosidad, que favorece la percolación del agua, pero a su vez están conformados por estructuras arcillosas que mantienen por largos períodos la humedad del suelo a capacidad de campo, la topografía es ondulada, la pendiente del 25% y la susceptibilidad a la erosión es baja (Gómez *et al.*, 1991).

Para conservar la sostenibilidad de la oferta del recurso hídrico se debe garantizar la implementación de buenas prácticas que promuevan la protección de los ecosistemas que se han establecido de forma natural, el cuidado de los acuíferos con especies forestales, bosque y vegetación nativa, la protección de los suelos y la vigilancia para evitar la contaminación con residuos sólidos o líquidos.

Las fuentes hídricas también son afectadas por la contaminación de los suelos causada por la aplicación de agroquímicos y la disposición de aguas residuales que no son tratados, la disminución en el uso de plaguicidas y el correcto manejo de estos hacen parte de la estrategia del manejo integrado en las actividades de manejo del cultivo (Benavides y Arévalo, 2002; Hincapié y Salazar, 2007).

Los suelos desprotegidos generan erosión, un concepto que ha evolucionado para hacer un mejor manejo del suelo en los sistemas de producción es el manejo de coberturas de baja interferencia dentro del cultivo, logrando disminuir la escorrentía, mejora las condiciones físicas del suelo y ofrece mayor estabilidad de las partículas (Rivera, 2001).

En el suelo el agua debe ser canalizada, se debe mantener una franja de protección con vegetación densa en las riberas de las fuentes hídricas, se deben mantener coberturas nobles y se debe implementar el manejo integrado de las arvenses, de esta manera se puede prevenir los deslizamientos (Salazar e Hincapié, 2010)

6.1.5. Amenaza, riesgo, vulnerabilidad y adaptación

Los crecientes cambios ambientales requieren de estrategias colectivas para afrontar las amenazas y el riesgo, que conllevan a las poblaciones humanas y a los ecosistemas a estados críticos de vulnerabilidad. En Colombia los impactos y transformaciones ambientales debido al cambio climático son cada vez más marcados, por lo cual es necesario generar estrategias globales, nacionales y locales para reducir la vulnerabilidad y el riesgo como vía hacia la adaptación (Chavarro *et al.*, 2008).

El riesgo se puede definir como la probabilidad, la estimación y la cuantificación de la magnitud y las consecuencias de los daños ambientales, sociales, económicos o culturales, pérdidas humanas, de bienes, especies, prácticas culturales, en un lugar y tiempo determinado, resultados del desencadenamiento de una amenaza (Chavarro *et al.*, 2008).

$$\mathbf{RIESGO} = \frac{\mathbf{Amenaza * Vulnerabilidad}}{\mathbf{Capacidad de adaptación}} \text{ (Ecuación 1)}$$

La amenaza climática se define como la posibilidad, probabilidad o potencial que cambios o fenómenos climáticos afecten por un tiempo lugares específicos, cultivos, espacios de trabajo, o el bienestar y la salud de las personas (Chavarro *et al.*, 2008).

La vulnerabilidad de una población o sistema frente a los cambios climáticos, se refiere al grado de exposición a alguna amenaza climática y la capacidad que se tiene para manejar los daños (riesgos), sin que afecte, es decir, los mecanismos de adaptación frente a los cambios climáticos (Chavarro *et al.*, 2008).

La capacidad de adaptación es la respuesta frente a los cambios, consiste en los procesos que los individuos, las comunidades o los países generan ante los cambios ambientales, la adaptación es entendida como la capacidad y potencialidad humana o de un sistema de anticipar y prepararse frente a los posibles daños del cambio climático (Chavarro *et al.*, 2008).

6.1.6. Generalidades de la caficultura colombiana

La zona cafetera colombiana se encuentra localizada entre 1° y los 11° de latitud Norte, longitud Oeste 72° a 78° con una extensión de 3'050.141 hectáreas y rangos específicos de altitud que pueden superar los 2.000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). La producción media registrada desde el año 2004 hasta el 2013 es de 10,2 millones de sacos de 60 kg de café verde (Federacafé, 2014).

A comienzos del Siglo XX Colombia tenía un área sembrada de 50.000 hectáreas, que llegó a su punto máximo en 1970, con 1'070.000 hectáreas. Actualmente son 974.000, pero con mayor cantidad de árboles por hectárea. Del total de área sembrada, el 46% se halla en los departamentos de Caldas, Antioquia, Tolima, Cundinamarca, Quindío y Risaralda (zona central cafetera) y a nivel nacional se destaca el departamento del Huila con 154.000 hectáreas en café (Federacafé, 2014).

De las 563 mil familias cafeteras colombianas, el 96% está conformado por familias campesinas que poseen fincas menores a 5 hectáreas cultivadas en café. Esta fragmentación en la posesión de tierras, se suma a las características de economía de subsistencia, niveles de satisfacción de necesidades básicas y bajo nivel educativo, lo cual las hace vulnerables a los cambios del entorno (Federacafé, 2014).

6.1.7. Requerimientos hídricos del café

El consumo de agua de la planta de café está próximo a 125 mm/mes. Cuando se mantiene de manera constante un aporte hídrico inferior a este valor, disminuye la producción. Si se considera que en las regiones cafeteras de Colombia la evaporación diaria alcanza entre 3 y 4 mm, un período seco de 30 a 40 días consecutivos afectará la producción del grano dependiendo de la altitud (Jaramillo, 2005).

Cuando la deficiencia hídrica anual en las regiones cafeteras es inferior a 150 mm se consideran zonas aptas para el cultivo, si está entre 150 y 200 mm se consideran

marginales y si la deficiencia anual supera los 200 mm, se categorizan como zonas no aptas para el cultivo (Jaramillo, 2005).

6.1.8. Beneficio del café y su relación con el uso eficiente del agua

La caficultura como sector de la producción agrícola participa en procesos que demandan altos volúmenes de agua para producir las cosechas, la demanda de agua se da para llevar a cabo el desarrollo de investigaciones en el cultivo y para producir café a nivel comercial. El beneficio húmedo del grano requiere agua de excelente calidad y el uso ineficiente genera impactos negativos en el medio ambiente.

Durante el beneficio húmedo del café, el agua se usa para retirar el mucílago de la semilla, este proceso comienza con el despulpado del café cereza el cual se basa en el desprendimiento de la cubierta superior o pericarpio que recubre las semillas, luego este café es depositado en tanques sin agua para asegurar el inicio de la fermentación, proceso en el cual los azúcares se convierten en sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico y ácido butírico (Puerta, 2010), para retirar el mucílago de las semillas de forma natural, se requiere entre 12 a 16 horas después del despulpado. La separación del mucílago del grano es necesaria en el beneficio húmedo, para facilitar el secado del grano y producir bebidas suaves.

Durante la fermentación natural del café actúan bacterias, levaduras y enzimas que transforman los compuestos pécticos y azúcares constituyentes del mucílago, en alcoholes y ácidos carboxílico, acético, láctico, propiónico y butírico, que luego se retiran con el lavado (Roa *et al.*, 1999)

En estos procesos es indispensable contar con una buena calidad del agua y se debe asegurar un uso eficiente para reducir la contaminación y el tratamiento de los efluentes generados.

Una forma de reducir la contaminación de las aguas y del suelo es a través de un manejo adecuado de los subproductos generados en los procesos productivos. En el cultivo de café, durante la etapa de despulpado, la pulpa que se produce es aprovechada para la producción de compostaje o materia orgánica, utilizada en la nutrición del cultivo de café y como sustrato para la elaboración de los almácigos o viveros que sustentan una de las etapas tempranas de desarrollo de la plantación con excelentes resultados. Dávila y Ramírez, 1996, recomiendan la lombricultura como una alternativa potencial para el

manejo de la pulpa de café con el fin de evitar y controlar la contaminación con subproductos, este sistema facilita el manejo en pequeñas áreas bajo techo.

Una finca que produce alrededor de 1000 @ de café pergamino seco al año genera aproximadamente 25 ton de pulpa fresca que pueden ser manejadas en 25m² de lombricultivo con una densidad de lombriz pura de 5kg/m² (Roa *et al.*, 1999). Teniendo en cuenta que el 47% de los elementos extraídos por los frutos del café se encuentran en la pulpa, se afirma que la pulpa generada de la producción de 100@ de café pergamino seco contienen 10,2 kg de N, 1,4 kg de P₂O₅, y 23,8 kg de K₂O (Sadeghian, 2007), estos elementos esenciales para la nutrición del cultivo permitirían a través de su aprovechamiento la disminución de la contaminación en el suelo y las fuentes de agua y permitiría reducir los costos en la fertilización.

En la Estación Central Naranjal son tres los objetivos principales que tiene el manejo de las muestras experimentales de café en el proceso de beneficio húmedo, el primero corresponde al manejo de muestras para caracterización física del grano, el segundo al manejo de muestras destinadas para análisis de calidad en taza o análisis sensorial y el tercero a la obtención de semillas de café para nuevas siembras de experimentos.

Para el manejo de las muestras destinadas a la caracterización física y a la obtención de semilla, el protocolo de lavado sigue las recomendaciones convencionales de uso eficiente del agua realizando 4 enjuagues y con el cual se alcanza un volumen de agua para el lavado de 4 a 5 litros por kg de café pergamino seco. El manejo de las muestras para análisis sensorial requiere un tratamiento adicional en el cual las muestras deben mantenerse en agua a razón de 2 a 3 días después de su primer lavado utilizando un volumen de agua igual al de la masa de café, y haciendo el cambio cada 24 horas, lo cual representa el uso de mayores volúmenes de agua alcanzando valores de 8 a 10 litros por kg de café pergamino seco (Tabla 2).

Tabla 2. Volumen de agua por tipo de muestra de café en el beneficio húmedo.

Tipo de muestras de café	Volumen de agua utilizado por kg de c.p.s
Café para análisis físico del grano y para producción de semilla	4 a 5 litros
Café para análisis sensorial	8 a 10 litros

6.2. Marco conceptual

A nivel nacional, nuestro país contribuye desde la investigación en la búsqueda de alternativas para el manejo integrado del agua, el Centro Nacional de Investigaciones de café Cenicafé a través de investigaciones ha entregado durante más de 75 años, soluciones para los caficultores colombianos en diferentes temas relacionados con la tecnología del cultivo.

Entre las alternativas orientadas a la reducción de la amenaza para la disponibilidad del recurso hídrico, se pueden citar los trabajos realizados por (Roa *et al.*, 1997) “Desarrollo de la tecnología Becolsub para el beneficio ecológico del café”, (Sanz *et al.*, 2011) “Uso correcto de la tecnología Becolsub”, permitiendo una reducción en el consumo de agua mayor al 95%, un control en la contaminación de las aguas de más del 90% y al despulpar sin agua una disminución del 72% de la contaminación.

A partir del lanzamiento de la tecnología Becolsub, se hace énfasis en la regulación del caudal de agua y se recomienda mantener el flujo controlado de la cantidad de agua necesaria para operar el equipo desmucilagador.

En el proceso de beneficio la generación de aguas residuales provenientes del lavado del café deben ser tratadas antes de ser dispuestas sobre las fuentes de agua o sobre el suelo. Para asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental y reducir la contaminación se han desarrollado sistemas de tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café con los cuales se ha logrado reducir hasta el 80% la carga orgánica contaminante (Zambrano *et al.*, 2006).

Las familias cafeteras que se benefician de este tipo de tecnologías pueden escalar en la implementación de acuerdo a las necesidades, esta integración de soluciones para el manejo integrado del agua hace factible el trabajo con las comunidades para dar cumplimiento a la legislación ambiental en el uso de los recursos hídricos, sin embargo, se requiere del apoyo de las entidades para asegurar una buena gestión y el seguimiento a las actividades que se implementan.

6.2.1 El uso del agua en las actividades domésticas

El ser humano en la mayoría de sus actividades domésticas utiliza el agua de diferentes formas, ya sea en la preparación de alimentos, aseo personal, limpieza de la vivienda, lavado de ropa, descarga en unidades sanitarias y para el lavado de utensilios de cocina

entre otras. Todas estas actividades demandan altos volúmenes de agua si no se implementan medidas de ahorro. Las fallas en los sistemas de abastecimiento, tuberías, válvulas, tanques de almacenamiento y equipos de conducción de agua son las fuentes más comunes de desperdicio del recurso hídrico, existe una alta probabilidad de poseer una infraestructura deteriorada, redes de conducción hídrica en mal estado, accesorios que ocasionan fugas permanentes, equipos y dispositivos de alto consumo.

En materia de uso del agua para consumo humano se requiere el cumplimiento de los parámetros de calidad, los cuales pueden ser evaluados a través de índices de calidad que ponderan el grado de contaminación y determinan la viabilidad del uso, el índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA) (Tablas 3 y 4) indica el nivel de riesgo sanitario de las aguas que son utilizadas para este fin (MAVDT, 2007).

Tabla 3. Puntaje de riesgo IRCA, Resolución 2115 de 2007.

Característica	Puntaje de riesgo
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente. (MAVDT, 2007)

Tabla 4. Clasificación del riesgo en la salud según IRCA.

Clasificación IRCA %	Nivel de riesgo
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE
35.1 – 80	ALTO
14.1 – 35	MEDIO
5.1 – 14	BAJO
0 – 5	SIN RIESGO

Fuente. (MAVDT, 2007).

En términos de la cantidad de agua que se utiliza en las actividades domésticas, existen diferentes niveles de consumo (Rodríguez *et al.*, 2012).

Consumo básico: es la cantidad de agua que satisface las necesidades básicas de una familia en un mes (el baño, la preparación de alimentos, entre otros), el cual no debe ser mayor a 20 m³.

Consumo complementario: cuando se consumen más de 20 m³ pero menos de 40 m³.

Consumo suntuario: cuando se consumen más de 40 m³, es decir, más de 40 mil litros de agua.

Algunas de las acciones más comúnmente recomendadas para reducir el consumo de agua en las actividades domésticas son: Cerrar la llave durante el cepillado de los dientes, tomar duchas cortas y cerrar la llave cuando se enjabone, asegurarse que ninguna de las llaves, tuberías e inodoro estén goteando; realizar un mantenimiento periódico a estas estructuras, no utilizar el sanitario para eliminar papeles u otros elementos sólidos, utilizar aparatos que permitan el ahorro del agua, como sanitarios de baja descarga o restrictores de la cantidad de agua en las tuberías o reductores del flujo de agua en las duchas y llaves, revisar periódicamente los tanques de almacenamiento, conservándolos limpios y sin filtraciones (Rodríguez *et al.*, 2012).

6.2.2. Uso de dispositivos ahorradores de agua

Para garantizar el suministro seguro de agua en las actividades domésticas, no es suficiente con el manejo y conservación de los reservorios de agua. Es imprescindible también la participación de todos los sectores de la sociedad para promover su ahorro.

Los dispositivos ahorradores son alternativas que aportan solución ante el uso desmedido del recurso hídrico, entre las opciones se encuentran los inodoros, grifería, duchas, lavamanos y dispositivos economizadores (Figura 1), (Tabla 5).

Inodoros ahorradores (Solé, 2014). Para poder considerar a un inodoro como ahorrador, es preciso que cuente con un sistema de retención de vaciado, que puede ser de varios tipos:

A) Cisternas con Interrupción de la Descarga. Disponen de un pulsador único que interrumpe la salida de agua, en unos casos accionándolo dos veces y, en otros, dejando de pulsarlo.

B) Cisternas con Doble Pulsador. Permiten dos niveles de descarga de agua, de modo que con un pulsador se produce el vaciado total de la cisterna, y con el otro tenemos un vaciado parcial. Además, el que acciona la salida del caudal mayor puede regularse actuando sobre el mecanismo de descarga, reduciendo la capacidad total de la cisterna (de los 9 litros habituales a los 6 litros recomendables).

C) Mecanismo de Descarga para Cisternas. Son mecanismos que pueden adaptarse a cualquier cisterna baja y permiten reconvertir en ahorrador un inodoro, evitando el problema que se presenta cuando se ha extinguido el color o el modelo en el mercado y no se desea sustituir el resto de las piezas. Suelen ser de fácil instalación. Sustituyen al mecanismo antiguo.

Grifos ahorradores (Solé, 2014). Han evolucionado en su fabricación, tanto por los materiales utilizados como por el diseño y por la incorporación de las nuevas tecnologías.

A) Grifos con Aireador: Los aireadores pulverizan el agua a presión continua a partir de 1 bar de presión y sin aumentar su caudal a presiones mayores. Consiguen aumentar el volumen del agua, de forma que con menor caudal consiguen el mismo efecto. Se consigue un ahorro de hasta un 90%.

B) Grifos con Regulador de Caudal: Disponen de un dispositivo que permite limitar el paso máximo de agua. Permiten modificar el caudal máximo hasta un 50%.

C) Grifos con Temporizador o Push-button: Se accionan mediante un pulsador y se cierran después de un tiempo establecido. Recomendables en aseos de lugares públicos.

D) Grifos con Sensores Infrarrojos: Son la última novedad del mercado. Funcionan mediante infrarrojos que se activan por proximidad, de forma que el agua cae colocando las manos bajo el grifo y cesa la salida al apartarlas. Necesitan instalación eléctrica o pilas, según los modelos. Existen también válvulas para urinarios de las mismas características. Se consiguen ahorros en el consumo de agua de entre el 70 y el 80%. Su precio es el más elevado de todas las clases de grifos a las que nos hemos referido.

Dispositivos economizadores (Solé, 2014). Son pequeños elementos que se pueden incorporar al mecanismo de grifos o inodoros.

A) **Perlizadores:** Son dispositivos que mezclan aire con el agua, incluso cuando hay baja presión, saliendo las gotas de agua en forma de “perlas”. Economizan más de un 40% de agua y energía.

B) **Economizadores o Reductores de Caudal:** Dispositivos que reducen el caudal de agua en función de la presión. Consiguen un ahorro comprobado de entre un 40% y un 60%, dependiendo de la presión de la red.

C) **Limitadores de Llenado:** Hay mecanismos de descarga que tienen el tubo de rebosadero regulable, con lo que se impide que la cisterna se llene hasta el total de su capacidad.

D) **Interruptores de Caudal Para Duchas:** Son dispositivos que permiten interrumpir el caudal de la ducha. Con la correcta utilización de estos dispositivos, se consiguen ahorros de agua de entre el 10 y el 40%.



Figura 1. Dispositivos ahorradores de agua para actividades domésticas.

Tabla 5. Consumos de agua para dispositivos ahorradores.

Dispositivo	Caudal	Ahorro (%)	Ahorro - Consumo
Economizador Reductor de caudal para Ducha	Caudal de Entrega a 3 bar de presión: 7 a 8 l/m	Ahorro del 50-55% de agua a 3 bar de presión	Ahorra 8 a 18 litros por minuto
Economizador Perlizador con rótula orientable, para Grifo de Cocina	Caudal de Entrega a 3 bar de presión: 5-6 l/m.	Ahorro del 60-65% de agua a 3 bar de presión	Ahorra 9 a 15 litros por minuto
Descarga ecológica doble botón para inodoros	Caudal de Entrega a 3 bar de presión	Ahorro del 50% de agua	Ahorra 4 a 7 litros por descarga
Grifo temporizado de lavamanos.	Caudal: 2 l/min independiente de la presión	Ahorro 77% de agua	Consumo 0,33l por cada uso
Grifo temporizado para urinarios de pie	Caudal: 5 l/min a 3 bar	Ahorro 76% de agua	Consumo: 0,42l por cada uso

*Adaptado de Ecologic Barna <http://www.ecologicbarna.com/productos1a.htm#econmenprod>

6.2.3. Papel de la educación ambiental en el uso eficiente del agua

Desde la perspectiva de la educación ambiental se pretende orientar a las presentes y futuras generaciones hacia un manejo sostenible que permitan preservar, proteger y cuidar la riqueza del medio ambiente. Estos procesos son extensos y requieren el acompañamiento, la orientación y el conocimiento de las personas, para generar cultura y un verdadero compromiso.

Para lograr el acercamiento de las comunidades hacia la gestión integral del recurso hídrico se necesitan proyectos que lideren iniciativas de educación y participación. La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en cooperación con otras instituciones interesadas en promover este tipo de iniciativas, ha logrado elaborar manuales para la educación de las comunidades cafeteras en el manejo integrado del recurso hídrico, la temática se basa en conocer la importancia del agua, la protección, el uso adecuado, el consumo, el manejo eficiente en actividades domésticas y agrícolas, los diferentes sistemas de tratamiento de agua residuales y las alternativas de postratamiento (Rodríguez *et al.*, 2012).

En cuanto a la participación, se considera que un proceso ha sido participativo cuando los distintos actores de la sociedad civil son convocados para entregar información, cuando su opinión es consultada antes de tomar una decisión, o cuando son llamados para ejecutar, o no, esas decisiones; así como cuando su opinión se consulta nuevamente para evaluar el impacto o los resultados. Todas estas instancias son, por supuesto,

expresiones de participación, pero por sí mismas, aisladamente de su papel en la toma de decisiones, no determinan que un proceso sea participativo (MADS, 2012).

En el manejo integrado del agua, la participación de las comunidades como se propone en la guía desarrollada por Rodríguez *et al.*, (2012), debe estar orientada hacia la construcción del diagnóstico, la identificación de los problemas asociados a la ineficiencia en el uso del recurso hídrico y la implementación de alternativas que den solución de forma integral. El lenguaje utilizado para comunicarse en estos procesos es sencillo y claro y se utilizan ayudas que facilitan el aprendizaje y la sensibilización de las personas (Figura 2).



Figura 2. Guías para educación y la participación de las comunidades en la gestión integral del recurso hídrico. *Adaptado de Rodríguez *et al.*, 2012, proyecto Huellas de Paz

6.2.4. Sistemas de abastecimiento de agua

A continuación se presentan algunos conceptos documentados por el Ministerio de Desarrollo Económico en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) para los diseños de los sistemas de abastecimiento de agua (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Dotación neta

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. En la Tabla 6 se muestra la dotación mínima y máxima de acuerdo al nivel de complejidad del sistema y en la Tabla 7 se muestra la variación en la dotación de acuerdo a las condiciones de temperatura que se presenta en diferentes localidades

Tabla 6. Dotación neta según el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab.día)	Dotación neta máxima (L/hab.día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: RAS 2000.

Tabla 7. Variación a la dotación neta según el clima y el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (más de 28°C) (L/hab.día)	Clima templado (entre 20°C y 28°C)	Clima frío (menos de 20°C)
Bajo	+ 15%	+10%	No se admite corrección por clima
Medio	+15%	+10%	
Medio alto	+20%	+15%	
Alto	+20%	+15%	

Fuente: RAS 2000.

Los sistemas de abastecimiento de agua consideran además de la dotación neta, la calidad de la fuente para determinar su uso y la necesidad de realizar diferentes tipos de tratamiento, los principales parámetros para determinar la calidad de la fuente de abastecimiento se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Calidad de la fuente de abastecimiento.

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO₅	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 – 4	>4
Máximo diario mg/L			1 – 3	3 – 4	4 – 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 – 50	50 - 500	500 – 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
pH promedio	3651	D 1293	6.0 – 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 – 40	40 – 150	>= 150
Color verdadero (UPt-Co)			<10	10 – 20	20 – 40	>= 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L)		D 512	< 50	50 - 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pre tratamiento + Coagulación + Sedimentación + Filtración Rápida o (Filtración Lenta Diversas etapas) + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: RAS 2000.

6.2.5. Parámetros de calidad de las aguas

El agua es un excelente medio para el desarrollo de la vida, este recurso se puede encontrar en nuestro planeta en diferentes estados. Las propiedades del agua pueden variar de acuerdo a condiciones naturales o por la influencia de las actividades del hombre. Para conocer la calidad del agua en sus diferentes formas de uso, existen parámetros que ayudan a la caracterización física, química y biológica.

6.2.5.1. Parámetros físico-químicos

Sólidos

Los sólidos en el agua representan los materiales suspendidos o disueltos que afectan su calidad y para su caracterización estos se pueden clasificar en sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y sólidos totales.

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

Los sólidos suspendidos representan la porción de sólidos totales que son retenidos en un filtro estándar de fibra de vidrio y secado 103-105 °C. Los sólidos suspendidos fijos son los residuos resultantes luego de calcinar a 550±50 °C la muestra retenida en el filtro; los sólidos suspendidos volátiles corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550±50°C de la muestra retenida en el filtro. Se determinan por diferencia de peso entre sólidos suspendidos totales y fijos, (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Sólidos sedimentables (Ssd) método volumétrico:**

Los sólidos sedimentables son los materiales que sedimentan de una suspensión en un período de tiempo definido en un cono Imhoff, estos pueden incluir material flotante (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Sólidos Totales (ST)método gravimétrico:**

Los sólidos totales son los residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 103-105°C. Los sólidos totales incluyen volátiles y fijos. Los sólidos fijos son los residuos resultantes luego de calcinar la muestra a 550±50 °C; los sólidos volátiles corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550±50 °C. Se determinan por diferencia de peso entre sólidos totales y fijos (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Turbidez:**

La turbidez es una medida de la propiedad óptica que causa dispersión y absorción de la luz con disminución de la transmisión en línea recta. La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, materia orgánica e inorgánica, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. Se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU).

Este método está basado en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Temperatura:**

La temperatura es un parámetro asociado con el grado de calor del agua, el aumento en la temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases. Cuando la temperatura disminuye se modifica la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transferencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento (Cubillos, s.f.).

- **Color:**

El color es una propiedad física que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua. La coloración del agua indica la posible presencia de iones metálicos, como puede ser el óxido de hierro y manganeso, como también la presencia de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. El color puro del agua es aquel en el cual se ha eliminado la turbidez y el color aparente es aquel que contiene las sustancias disueltas y el material en suspensión, para su determinación se toma la muestra original sin filtrar ni centrifugar. La determinación del color puede hacerse por espectrometría (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

El color, olor y sabor así como la turbidez, son parámetros que en forma conjunta le dan calidad al agua en lo que se refiere a sus características estéticas que son muy importantes para el usuario o consumidor.

- **Oxígeno disuelto (OD):**

El oxígeno es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida. Es deseable porque evita la formación de olores desagradables. Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de oxígeno disuelto permite determinar la contaminación del agua y el control en procesos de tratamiento de aguas

residuales, una baja concentración de OD en el agua indica alta contaminación (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) corresponde a la cantidad de oxígeno consumido para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada.

La muestra o una dilución adecuada de la misma, es incubada por 5 días a 20°C en la oscuridad. Se mide la concentración de oxígeno disuelto antes y después de la incubación, y el consumo de oxígeno corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

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

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica que es susceptible a ser oxidada por un oxidante químico fuerte, en condiciones específicas de temperatura y tiempo. La muestra se oxida con una cantidad conocida de dicromato de potasio en exceso, en medio ácido y con catalizadores, el dicromato de potasio remanente es determinado espectrofotométricamente a 600 nm (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **pH:**

El pH o la actividad del ion hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua.

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno,

$$pH = - \log [H^+] \text{ (Ecuación 2)}$$

$[H^+]$ = actividad de los iones hidrógeno en mol/L.

El método consiste en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno por medidas potenciométricas usando un electrodo combinado o un electrodo estándar de hidrógeno de vidrio con un electrodo de referencia (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)**

La conductividad es la capacidad que posee una solución acuosa de conducir la corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas así como de la temperatura de la medición. El método para determinar la conductividad consiste en la medida directa utilizando una celda de conductividad previamente estandarizada con una solución de KCl, ajustando la temperatura a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

6.2.5.2. Parámetros Microbiológicos

Coliformes

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma alargada. Para determinar la presencia de coliformes se utiliza la técnica de filtración por membrana

- **Coliformes fecales**

El grupo de bacterias coliformes fecales para la técnica de filtración por membrana se define como todos los bacilos gram negativos, aeróbicos y algunos anaeróbicos facultativos, no formadores de endosporas, que cuando se incuban en medio M-FC con lactosa por 24 horas a $44.5 \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ desarrollan colonias color azul (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- **Coliformes totales**

El grupo de bacterias coliformes para la técnica de filtración por membrana se define como todos los bacilos gram negativos, aeróbicos y algunos anaeróbicos facultativos, no formadores de endosporas, que cuando se incuban en medio Endo con lactosa por 24 horas. a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, desarrollan colonias color rojo con brillo verde metálico (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

6.2.5.3. Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan según el uso potencial que se le ha dado en los diferentes procesos, en términos generales las aguas residuales se pueden generar de procesos industriales, agrícolas y de actividades domésticas.

6.2.5.3.1. Características físico- químicas y microbiológicas de las aguas residuales del beneficio del café

Los contenidos de contaminantes orgánicos y minerales presentes en las aguas residuales del beneficio del café están directamente relacionados con la variedad de café beneficiada, el tipo de beneficiadero empleado en la transformación del fruto en semilla y la cantidad y calidad del agua usada en el proceso (Rodríguez, 2009). Los principales parámetros que caracterizan este tipo de aguas residuales se muestra en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Caracterización de aguas residuales del beneficio del café.

Determinación	Tipo de agua residual de beneficio	
	Aguas de despulpado	Aguas de lavado
pH (unidades)	4,72	3,92
Conductividad (μs/cm)	593	232
Sólidos Totales (ppm)	12334	9393
Sólidos Disueltos (ppm)	10961	4938
Sólidos Suspendidos (ppm)	1373	4455
Cenizas (ppm)	389	400
Materia orgánica (ppm)	11946	8993
DQO (ppm)	12390	9484
NTK (ppm)	59,5	65,6
Oxígeno Disuelto (ppm)	4,25	3,85
Pectinas (ppm)	1225	3855
Fructuosa (ppm)	2052	207
Galactosa (ppm)	306	64
Glucosa (ppm)	531	125
Sacarosa (ppm)	200	511
Azúcares (Suma) (ppm)	3088	904
Ácido láctico (ppm)	316	687
Ácido acético (ppm)	59	54
Ácido cítrico (ppm)	1137	1512
Ácido propiónico (ppm)		
Ácido tartárico (ppm)	21	
Ácido fórmico (ppm)	126	
Ácido málico (ppm).	144	
Ácido galacturónico (ppm)	528	90
Ácidos carboxílicos (suma) (ppm)	2003	2297
Cafeína (ppm)	39,9	26,7
Ácido clorogénico (ppm)	3,13	4,47
Ca (ppm)	8	11,6
Na (ppm)	3,9	3,5
K (ppm)	81,7	92,5
Mg (ppm)	2,1	4,5
Fe (ppm)	0,7	1,2
Metales (suma) (ppm)	96,4	113,3

Fuente: Hernández y Londoño (1988)

Tabla 10. Recuento microbiano en aguas de despulpado con 48 horas de generadas.

Microorganismo	Recuento (UFC/ml)
Aerobios mesófilos	$5,2 \times 10^7$
Coliformes totales	$1,9 \times 10^5$
Coliformes fecales	$1,2 \times 10^3$
Enterococos	$8,5 \times 10^2$
Mohos y Levaduras	$3,1 \times 10^6$
Salmonella - Shiguella	< 10

Fuente: Palma y González (1989).

6.2.5.3.2. Características físico- químicas y microbiológicas de las aguas residuales domésticas

Según el reporte de la caracterización de aguas residuales municipales en Colombia las concentraciones de los principales parámetros pueden ser variables de acuerdo con el grado de dilución y la carga contaminante generada en las actividades domésticas (Ministerio del Medio Ambiente, 2002) (Tabla 11).

Tabla 11. Caracterización de las aguas residuales domésticas.

Componente	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Sólidos Totales (ppm)	1000	500	200
Sólidos Suspendidos (ppm)	500	300	100
Sólidos Sedimentables (ppm)	12	8	4
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (ppm)	300	200	100
Demanda Química de Oxígeno, DQO (ppm)	1000	500	250
Nitrógeno total (ppm)	80	50	25
Fósforo Total (ppm)	20	15	5
Grasas y Aceites (ppm)	40	20	0
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1×10^9	1×10^7	1×10^5

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2002)

6.2.6. Tratamiento de las aguas residuales, organismos y especies que participan en el sistema

La depuración de las aguas residuales a partir de la implementación de sistemas de tratamiento, se caracteriza por integrar procesos físicos, químicos y biológicos como

mecanismos que mejoran la eficiencia de acuerdo a la necesidad y el tipo de agua residual que se pretende manejar. Se identifican sistemas de tratamiento que son diseñados para depurar aguas generadas en procesos industriales y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

6.2.6.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales del café

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio SMTA, han sido desarrollados en Cenicafé para reducir más del 80% de la contaminación presente en las aguas residuales de lavado del grano o “mieles del café”, las cuales se originan en beneficiaderos que retiran el mucílago o baba del café por el método convencional de fermentación natural, alcanzando remociones de Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ acordes con lo exigido por la legislación colombiana en el Decreto 1594 de 1984 (Zambrano *et al.*, 2010).

Los SMTA involucran una tecnología de tratamiento biológico con separación de fases hidrolítica-acidogénica de la metanogénica, apta para alcanzar altas eficiencias en la remoción de carga orgánica; no utiliza energía eléctrica para bombeo del agua residual, el flujo se hace por gravedad, aprovechando la topografía de la zona cafetera colombiana; utiliza unidades prefabricadas de polietileno con tapa y negras, que permiten elevar hasta 30°C la temperatura interna de los tanques y controlar la presencia de malos olores en los alrededores; utiliza microorganismos metanogénicos presentes en el estiércol vacuno o porcino, responsables de la etapa principal del tratamiento de las aguas mieles, y trozos de guadua o de botellas plásticas no retornables que favorecen la permanencia de los microorganismos en el sistema (Zambrano *et al.*, 2010).

6.2.6.1.1. Componentes de un SMTA

Los componentes de un sistema modular de tratamiento anaerobio de agua residuales de café constan de trampa de pulpas, reactor hidrolítico acidogénico, recámara dosificadora, reactor metanogénico y una excavación conteniendo de tallos.

Trampa de pulpas: Es la primera unidad encargada de evitar la entrada de material suspendido con tamaños de partícula superiores a 5 mm, y cuya acumulación puede ocasionar taponamiento de tuberías (Zambrano *et al.*, 2010).

Reactor hidrolítico acidogénico: Uno o varios tanques de polietileno en los cuales ocurre la solubilización del material orgánico suspendido (Zambrano *et al.*, 2010). En

esta unidad se reconocen dos etapas de importancia en la digestión anaerobia, la hidrólisis en la que los compuestos insolubles y solubles poliméricos de alto peso molecular son transformados en compuestos de menor peso molecular como son azúcares y aminoácidos por la acción de exoenzimas, de tal forma que los compuestos pueden ser asimilados por la célula. La acidogénesis se da una vez los compuestos son asimilados por las bacterias para ser transformados en ácidos orgánicos saturados (Orozco y Giraldo, 1986).

Recámara dosificadora: Permite la retención del material orgánico particulado no solubilizado y el control del caudal en el sistema (Zambrano *et al.*, 2010).

Reactores metanogénicos: Uno o más tanques de polietileno, empacados con trozos de guadua o de botellas plásticas no retornables, en los cuales se establecen los microorganismos metanogénicos, que transforman la contaminación orgánica soluble en biogás, permitiendo eliminar de esta forma más del 80% de la contaminación orgánica presente en las aguas mieles que llegan al sistema (Zambrano *et al.*, 2010).

Adicionalmente, el SMTA consta de una excavación en tierra, la cual se llena con tallos de café, para disponer algún eventual excedente de aguas mieles generado (Zambrano *et al.*, 2010).

Microorganismos metanogénicos: En los sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales, los microorganismos metanogénicos cumplen una función primordial dado que transforman la contaminación soluble en biogás. Para el caso de los SMTA se utiliza como fuente de los microorganismos metanogénicos las excretas de cerdo o de vacuno disueltas en agua en proporción 1:1.

6.2.6.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Con base en el reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico (RAS), se hace una descripción de los principales componentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. En este contexto cada unidad componente del sistema, cumple una función particular en los procesos de depuración de las aguas residuales y dependiendo de la ubicación de las unidades en el sistema, el tratamiento se clasifica como primario, secundario o terciario.

6.2.6.2.1. Componentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

Trampas de grasa: Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Debe localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores.

Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. Generalmente, la limpieza debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo (MinDesarrollo, 2000).

Tanque séptico: Son tanques sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural. Se recomiendan solamente para:

- Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados.
- Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- Retención previa de los sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.

No está permitido que ingrese:

- Aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.
- Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento (MinDesarrollo, 2000).

Filtros anaerobios: Estos se utilizan como tratamiento secundario en sistemas individuales y colectivos después del tanque séptico. El principio básico de tratamiento lo realizan bacterias anaerobias que crecen y se adhieren a un soporte inerte, formando

una capa biológica, que al ponerse en contacto con el agua residual estabiliza la materia orgánica y se produce metano como uno de los productos finales (MinDesarrollo, 2000).

Postratamiento de aguas residuales

Humedales artificiales: Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal (MinDesarrollo, 2000).

Existen 2 tipos de humedales artificiales de flujo horizontal desarrollados para el tratamiento de aguas residuales: sistemas de flujo libre y sistemas de flujo subsuperficial.

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial (FWS, free water surface wetlands) aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. La mayoría de los humedales naturales son sistemas FWS entre los que se incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y macrófitas emergentes). La observación de la mejora en la calidad del agua en humedales naturales llevó al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat. En los humedales FWS el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal, este tipo de humedales requiere un área relativamente extensa (U.S.EPA, 2000a).

Un humedal artificial de flujo subsuperficial (SFS, subsurface flow wetlands) está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado. Como medio se utiliza grava, arena u otro tipo de materiales del suelo. El medio se planta con la vegetación emergente y por diseño, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio lo que contribuye a la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada (U.S.EPA, 2000b).

Plantas acuáticas

Las plantas acuáticas viven sumergidas, libres en la superficie o fijas al fondo con hojas emergentes o flotantes, según sus hábitos de crecimiento se clasifican en:

Plantas de flotación libre. Flotan en la superficie del agua sin estar fijas al fondo, aunque a veces algunas plantas enraízan en el lodo al bajar el nivel del agua. Esta categoría incluye al jacinto acuático *Eichhornia crassipes*, la lechuga de agua *Pistia estratoites*, la salvinia *Salvinia minima*, la lemna *Lemna minor* y la azolla *Azolla filiculoides*. Las plantas flotantes tienen su parte fotosintética justo sobre la superficie del agua con sus raíces extendidas bajo ella. La penetración de la luz solar en el agua es reducida y la transferencia de gas entre agua y atmósfera es limitada (Stanley, 1982)

Plantas sumergidas. Las partes vegetativas de estas plantas no aparecen sobre la superficie del agua. Pueden estar o no fijas al fondo. Cualquier parte de la planta (excepto la inflorescencia) que sobresalga de la superficie es rápidamente secada al sol. Algunas plantas de esta categoría son la cinta acuática *Vallisneria spiralis*, la hidrilla *Hydrilla verticillata* y las angiospermas marinas *Posidonia sp*, conocidas como pastos del mar (Stanley, 1982).

Plantas enraizadas que emergen. Las plantas de este grupo están enraizadas en el sustrato y tienen su parte fotosintética sobre la superficie de agua. Estas plantas también reducen la penetración de la luz y la transferencia del aire pero en menor grado que las flotantes. La mayoría de las plantas que crecen en las orillas de los cuerpos de agua pertenecen a esta categoría (Stanley, 1982).

Plantas enraizadas de hojas flotantes. Estas plantas tienen tallos y pecíolos débiles que no pueden sostener las hojas sobre la superficie del agua. Generalmente están enraizadas en el fondo. Luego de un aumento rápido del nivel del agua parecen ser del tipo sumergidas; sin embargo, sus hojas son gruesas y parafinosas en la cara superior. Esto las distingue de las plantas sumergidas que tienen hojas delgadas, con frecuencia translúcidas. Los lirios acuáticos *Iris sibirica* pertenecen a este grupo (Stanley, 1982).

Los procesos que tienen lugar para la depuración de contaminantes con macrófitas flotantes se dan a través de tres mecanismos primarios (Fernández, 2001):

- Filtración y sedimentación de sólidos

- Incorporación de nutrientes en plantas y su posterior cosechado
- Degradación de la materia orgánica por un conjunto de microorganismos facultativos asociados a las raíces de las plantas; y en los detritos del fondo de la laguna, dependiendo del diseño.

6.2.7.1. Tipos de sistemas para tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales

Existen distintos tipos de tratamiento de las aguas residuales para lograr remover los contaminantes. Se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos. Ellos se pueden clasificar según el medio de eliminación de los contaminantes, según la fase de depuración y según el costo de la explotación (Rodríguez, 2007).

Según la fase de depuración

Según Rodríguez (2007), las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario, etc, aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. Así se pueden distinguir:

A.) Tratamiento preliminar.

El tratamiento preliminar está destinado a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento posterior evitando que se presenten obstrucción de tuberías, presencia de sólidos flotantes, fluctuación de caudal, etc.

Las unidades de tratamiento preliminar más utilizadas son las rejjas, los desmenzadores, los desengrasadores, los tanques de compensación y los desarenadores. De éstas, las más utilizadas son las rejjas y en algunos casos de acuerdo a las características del agua, los desarenadores. Las demás unidades son más frecuentes para líquidos industriales.

Las rejjas son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, la más utilizada es la reja sencilla de limpieza manual con espaciamiento libre entre barras de 2 hasta 4 cm.

Los desarenadores son unidades destinadas a retener arena y otros minerales inertes y pesados como carbón, tierra, arena con diámetros mínimos de 0.2 mm, los tanques pueden tener un ancho de 20 a 100 cm y una longitud variable de 6 a 18 metros.

Para los sistemas de tratamiento que se evalúan en la presente investigación se tiene como tratamientos preliminares la trampa de grasa para los sistemas sépticos y la trampa de pulpa para los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café.

B.) Tratamiento Primario.

El tratamiento primario es el proceso de tratamiento del agua residual consistente en la eliminación de los sólidos suspendidos contenidos en ellas por cualquier método.

Para los sistemas de tratamiento que se evalúan en la presente investigación se tiene como tratamientos primarios el tanque séptico para los sistemas sépticos y los reactores hidrolíticos acidogénicos para los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café.

C.) Tratamiento Secundario.

Consiste en tratar el agua con el fin de transformar los compuestos que están en forma de sólidos disueltos y coloidales en compuestos estables, por medio de tratamientos físico-químicos como la coagulación (consiste en la desestabilización de los coloides, utilizando como coagulantes sales de hierro o aluminio, floculación (consiste en la aglomeración de los coloides y para ello se utilizan sílice activada y polímeros orgánicos), decantación, flotación, filtración, separación por membranas, adsorción e intercambio de iones, tratamientos químicos (precipitación, neutralización y óxido-reducción) y tratamientos biológicos (lodos activados, filtros percoladores, tanques Imhoff, lagunas de oxidación, biodiscos, zanjas de oxidación, filtros de arena, zanjas filtrantes).

Para los sistemas de tratamiento que se evalúan en la presente investigación se tiene como tratamientos secundarios los filtros anaeróbicos de flujo ascendente tanto para los sistemas sépticos como para los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café.

D.) Tratamiento terciario.

Es el último paso del tratamiento del agua residual con el fin de pulir el efluente del tratamiento secundario, eliminando elementos como el N, P, K, Ca y otros.

Para los sistemas de tratamiento que se evalúan en la presente investigación se tiene como tratamientos terciarios la utilización de humedales artificiales.

6.3. Marco normativo

Aspectos legales para el uso de recursos hídricos

La normativa colombiana para el uso de recursos hídricos es amplia y vislumbra importantes aspectos en términos de uso eficiente del agua, manejo de aguas residuales, control, vigilancia, protección y conservación del recurso.

En términos de control, a partir de la ley 23 de 1973 se establece como objetivo prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional (Congreso de Colombia, 1973).

El decreto N° 2811 de 1974 establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En este decreto se definen normas generales de política ambiental. Se asigna responsabilidades para ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones, concesiones y uso del agua, tasas, incentivos y pagos, medición de usos, uso eficiente del agua (Ministerio de agricultura, 1974).

Con el decreto N° 1594 de 1984 se reglamenta los límites permisibles para el vertimiento o descarga de residuos líquidos a un cuerpo de agua o alcantarillado sanitario y establece los conceptos de cargas combinadas, sustancias de interés sanitario, planes de cumplimiento de los usuarios contaminadores, tasas retributivas y marcos sancionatorios. (Ministerio de salud, 1984).

En cuanto a la formulación de políticas ambientales, por medio de la ley 99 de 1993 se establecen entre otras las funciones del Ministerio del Medio Ambiente entre las que se

tiene la formulación de la Política Nacional con relación al medio ambiente y los recursos naturales renovables (Congreso de Colombia, 1993).

El cuidado del recurso hídrico presenta también su normativa en la ley 373 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, esta ley define el programa en el artículo 1, como el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar las entidades de prestación de servicios, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico. Las actividades de educación a los usuarios y el uso de tecnología de bajo consumo de agua, así como la aplicación de sanciones por el desperdicio del recurso son algunos de los criterios de esta norma (Congreso de Colombia, 1997).

A partir de la publicación del Decreto 3930 de 2010, se presentan nuevas disposiciones relacionadas con el uso del recurso hídrico, su ordenamiento y el manejo de los vertimientos sobre las fuentes hídricas, suelo y alcantarillado (Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, 2010).

El Decreto número 2667 de 2012 reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones, este decreto hace referencia a la aplicación de las tasas retributivas y compensatorias incluso cuando la contaminación exceda los límites permisibles y aclara que el cobro de esta tasa no implica la legalización del respectivo vertimiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Actualmente en el decreto N° 953 de 2013, se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, en el cual se establece la obligación para Municipios y Departamentos de destinar al menos el 1% de sus ingresos corrientes para la compra y mantenimiento de predios o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales en aquellas zonas que son estratégicas en el abastecimiento de agua a sus acueductos municipales o distritales. Esta reglamentación facilita el desarrollo de estrategias y estimula la protección de los recursos hídricos a nivel local (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

La normativa vigente a nivel nacional en materia de recursos hídricos se presenta en la Tabla 12, en ella se muestra la dinámica y evolución de la legislación para la protección y el manejo del agua.

Tabla 12. Legislación del agua en Colombia (Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Decreto 0953 de 2013	Por el cual se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011.
Decreto 2667 de 2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones
Decreto 1640 de 2012	"Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones".
Decreto 303 de 2012	"Por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 64 del Decreto -Ley 2811 de 1974 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones".
Resolución 075 de 2011	Por el cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimientos puntual al alcantarillado público
Decreto 4728 de 2010	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.
Decreto 3930 octubre de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III- Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a Usos del agua y residuos liquidas y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2115 22 junio 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1575 9 mayo 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la calidad del agua para consumo humano.
Ley 1151 24 julio 2007	Plan Nacional de Desarrollo. Modifica los artículos 42, 44, 46, 111 de la Ley 99 de 1993.
Decreto 1323 19 abril 2007	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH.
Decreto 1324 19 abril 2007	Por el cual se crea el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y se dictan otras disposiciones
Decreto 1480 4 mayo de 2007	Por el cual se priorizan a nivel nacional el ordenamiento y la intervención de algunas cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones
Resolución 872 18 mayo 2006	Por la cual se establece la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas subterráneas a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 1900 12 junio 2006	Por el cual se reglamenta el parágrafo del artículo 43 de la ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.

Decreto 2570 01 agosto 2006	Por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2145 23 diciembre 2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.
Decreto 4742 30 diciembre 2005	Por el cual se modifica el artículo 12 del Decreto 155 de 2004 y se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas.
Resolución 865 23 julio 2004	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 240 08 marzo 2004	Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas.
Decreto 1443 07 mayo 2004	Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos y se toman otras determinaciones.
Decreto 155 22 enero 2004	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 3440 21 octubre 2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 en aspectos de la implementación de la tasa retributiva.
Resolución 104 07 julio 2003	Por la que se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.
Decreto 3100 30 octubre 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Decreto 1604 31 julio 2002	Por el cual se reglamenta el parágrafo 3o. del artículo 33 de la Ley 99 de 1993 de las comisiones conjuntas.
Decreto 1729 06 agosto 2002	Por el cual se reglamenta la Parte XIII <sic>, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.
Ley 373 06 junio 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 1933 05 agosto 1994	Por el cual se reglamenta el artículo 45 de la Ley 99 de 1993 relacionado con energía hidroeléctrica o termoeléctrica

Decreto 1600 29 julio 1994	Por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental -SINA- en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental
Ley 99 22 diciembre 1993	Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA- y se dictan otras disposiciones
Decreto 1594 26 junio 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. PARCIALMENTE VIGENTE.
Decreto 1875 02 agosto 1979	Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones
Decreto 1541 26 julio 1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Ley 10 04 agosto 1978	Por medio de la cual se dictan normas sobre mar territorial, zona económica exclusiva, plataforma continental, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1449 27 junio 1977	Por el cual se reglamentan parcialmente el [Inciso 1 del Numeral 5 del Artículo 56 de la Ley 135 de 1961] y el [Decreto Ley No. 2811 de 1974], parcialmente derogado Ley 79 de 1986, ley 373 de 1997 y el decreto 1791 de 1996
Decreto Ley 2811 18 diciembre 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 23 19 diciembre 1973	Plantea la necesidad de proteger los recursos naturales renovables, fija límites mínimos de contaminación y establece sanciones por violación de las normas. Se faculta al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.

7. METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó en la Estación Central Naranjal “Cenicafé”, ubicada en el municipio de Chinchiná, departamento de Caldas (Colombia), a 04°58' latitud Norte y 75°39' longitud Oeste.

El método de estudio se basó en la evaluación de estrategias para el Manejo Integrado del Agua, a partir de la caracterización de dos procesos fundamentales: El beneficio húmedo de café y las actividades domésticas que demandan uso de agua. Dentro de estos procesos las etapas establecidas para la evaluación de las estrategias contemplaron el diagnóstico, diseño, instalación y evaluación de los sistemas de abastecimiento y tratamiento de aguas, la capacitación del personal y el control operacional.

Para el desarrollo de las actividades se conformaron los programas de uso eficiente del agua y manejo de aguas residuales como componentes del sistema de gestión integral institucional (Figura 3).

Las actividades de investigación se realizaron entre noviembre de 2011 y mayo de 2013. Para el análisis de la información se utilizó la estadística descriptiva (promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos).

7.1. Diagnóstico oferta y demanda del recurso hídrico

Durante esta etapa de estudio se elaboró el diagnóstico general de las necesidades de agua para llevar a cabo los procesos de beneficio húmedo del café y las labores domésticas al interior de las instalaciones de la Estación Central Naranjal.

La Estación Central Naranjal se surte de agua proveniente del acueducto veredal de la Quebra de Naranjal para el abastecimiento de las necesidades en las actividades domésticas (consumo humano). Además del agua de acueducto, la granja aprovecha el recurso suministrado desde una fuente de agua ubicada en predios de la Fundación Manuel Mejía.

La destinación del agua proveniente de la fuente, tiene como fin atender la necesidad para oficios agrícolas, como el beneficio húmedo de café, riego para los almacigos, riego para el lombricultivo y aplicación de pesticidas en campo.

7.1.1. Medición del consumo de agua

Se tomaron los registros de consumo a partir de dispositivos medidores localizados en la granja experimental y se verificó el reporte bimestral de consumo registrado en las facturas del acueducto para el cobro del servicio, tomando como base los registros obtenidos desde el año 2011.

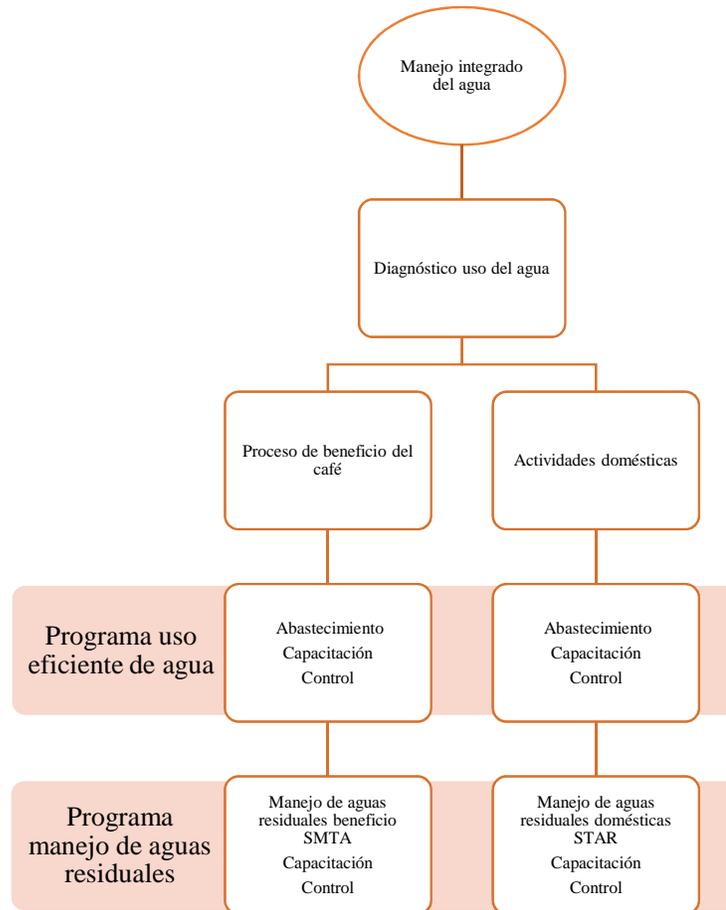


Figura 3. Etapas para la evaluación del manejo integrado del agua en la Estación Central Naranjal.

7.1.2. Identificación de la provisión de agua

Con el fin de determinar la oferta del recurso y su disponibilidad para los procesos de beneficio húmedo del café y las labores domésticas, se identificaron las fuentes de abastecimiento de agua, el uso que se le daba y la caracterización de los principales parámetros de calidad. En esta etapa se hizo la descripción y el esquema de toda la infraestructura, redes de conducción y de almacenamiento de agua.

7.1.3. Identificación de aguas residuales

Se identificaron y caracterizaron las aguas residuales generadas del proceso de beneficio húmedo del café y de las actividades domésticas. En esta etapa se hizo la descripción y el esquema de los sistemas que se encontraban instalados y su forma de operación.

7.2. Diseño de los sistemas de abastecimiento

Luego de haber realizado el diagnóstico general del uso del agua en la Estación, y una vez determinadas las necesidades, se procedió con el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua para el consumo humano y para las actividades agrícolas. Las actividades comprendieron, la instalación de un sistema de almacenamiento con mayor capacidad, la adecuación del sistema de captación y conducción del líquido, la instalación de medidores y válvulas de control de caudal, la instalación de unidades sanitarias de bajo consumo y la instalación de reductores de flujo en los grifos.

El diseño también incluyó la elaboración de formatos para el mantenimiento y control operacional de los sistemas de abastecimiento (Anexo 1).

7.3. Diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

Para el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se calcularon las necesidades y se hizo la revisión de las principales exigencias establecidas para dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

7.3.1. Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

Como información general para el diseño, se tuvo en cuenta el número de personas que laboran en la Estación, según la época del año:

El número de personas permanentes, el número de trabajadores permanentes, el horario laboral, número de trabajadores frecuentes en cosecha, dotación por persona y temperatura media de la zona.

El sistema séptico se diseñó siguiendo los parámetros dados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 Título E, basados en las Tablas 13, 14 y 15.

Tabla 13. Contribución de aguas residuales y lodo fresco para ocupantes permanentes y temporales (RAS, 2000).

Tipo ocupantes	Predio	Unidad	C: (L/hab-día)	L _f : (L/día)
Ocupantes permanentes	Clase alta	persona	160	1,0
	Clase media	persona	130	1,0
	Clase baja	persona	100	1,0
	Hotel (excepto lavandería y cocina)	persona	100	1,0
	Alojamiento provisional	persona	80	1,0
Ocupantes temporales	Fábrica en general	persona	70	0,3
	Oficinas temporales	persona	50	0,2
	Edificios públicos o comerciales	persona	50	0,2
	Escuelas	persona	50	0,2
	Bares	persona	6	0,1
	Restaurantes	comida	25	0,01
	Cines, teatros o locales de corta permanencia	local	2	0,02
	Baños públicos	tasa sanitaria	480	4,0

Tabla 14. Tiempo de retención de acuerdo a la contribución de aguas residuales (RAS, 2000).

Contribución diaria (L)	Tiempo de retención (T _R)	
	días	horas
Hasta 1,500	1.00	24
De 1,501 a 3,000	0.92	22
De 3,000 a 4,500	0.83	20
De 4,501 a 6,000	0.75	18
De 6,001 a 7,500	0.67	16
De 7,501 a 9,000	0.58	14
> 9,000	0.50	12

Tabla 15. Tasa de acumulación de lodos digeridos de acuerdo al intervalo de limpieza (RAS, 2000).

Intervalo de limpieza (años)	Valores de K por intervalo de temperatura ambiente (T) en °C		
	T ≤ 10	10 ≤ T ≤ 20	T ≥ 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Este diseño se realizó para determinar la capacidad que debe tener el sistema séptico para el máximo número de personas que pueden permanecer en la Estación y determinar, una vez evaluados los pozos sépticos existentes, si era necesario ampliar el sistema de

tratamiento, para lo cual se tuvo en cuenta los volúmenes calculados en el presente diseño para las diferentes unidades que conforman el sistema séptico.

7.3.1.1. Cálculos de diseño del tanque séptico

Para el cálculo del volumen útil del tanque séptico se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_u = 1000 + N_c * (CT + KLf) \text{ (Ecuación 3)}$$

Dónde:

N_c: Número de contribuyentes.

C: Contribución de aguas residuales por habitante, L/día.

K: Tasa de acumulación de lodo digerido, en días.

L_f Contribución de lodo fresco, L/hab-d⁻¹.

T: Tiempo de retención en días.

7.3.1.2. Cálculos de diseño del filtro anaerobio

El volumen útil del filtro anaerobio se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación, recomendada en el RAS – 2000 Titulo E.

$$V_f = (1,60 * N * C * T) \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

V_f = Volumen útil, m³.

N = Número de contribuyentes.

C = Contribución de aguas residuales.

T = Tiempo de retención en días.

El filtro anaerobio seleccionado para el diseño es tipo FAFA (de flujo ascendente) y puede ser llenado con cualquiera de los siguientes medios filtrantes: trozos de guadua, botellas no retornables, arena gravosa, tusas de maíz.

Como información para el diseño se requiere conocer los datos de porosidad y la superficie específica de los medios filtrantes a utilizar en los filtros anaerobios.

Cálculo de la superficie específica de las tusas de maíz.

El cálculo de la superficie específica de las tusas de maíz se realizó tomando el área en cm^2 por cada tusa, seleccionando al azar una muestra de 20 unidades. La metodología consistió en envolver cada una de las tusas en papel, de tal forma que se pudiera generar un molde por cada muestra, para luego calcular el área. Después de obtener el molde, a partir del programa de análisis de imágenes (ImageJ versión 1.24), se calculó el área de cada figura en cm^2 (Figura 4).

Adicionalmente a cada muestra (tusa) se le determinó el volumen, el procedimiento se realizó sumergiendo cada tusa en un volumen conocido de agua contenida en una probeta y se midió el volumen de agua desplazado como volumen final restado del inicial.

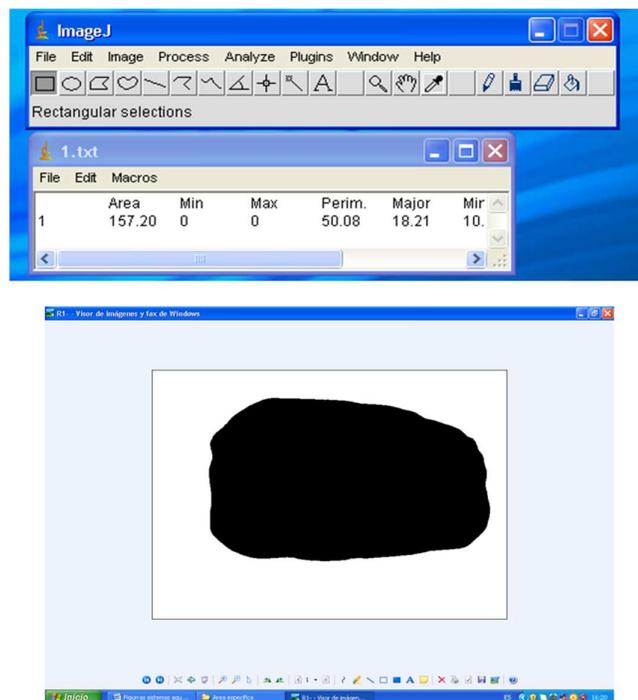


Figura 4. Procesamiento de imágenes para el cálculo del área en cm^2 , programa ImageJ, desarrollado por la National Institutes of Health (1997)

Para calcular la superficie específica, se dividió el área obtenida en cm^2 entre el volumen en cm^3 de cada tusa y se determinó el valor promedio.

Cálculo de la densidad y porosidad del medio filtrante

La densidad es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la porosidad existente entre ellos. La densidad (ρ) se define como la masa (m) por unidad de volumen (V).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ecuación 5})$$

La densidad de las tudas se determinó pesando la cantidad de material seco que ocupa un volumen determinado, para lo cual se utilizó un recipiente de 9 L (peso conocido) al cual se le adiciono el material.

Porosidad másica y volumétrica

La porosidad másica (P_m) se define como la capacidad de absorción del agua y se cuantifica como:

$$P_m = \frac{m_s - m_o}{m_o} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

m_o : Masa del medio filtrante seco.

m_s : Masa del medio filtrante después de haber sido sumergido en agua.

La porosidad volumétrica (P_v) se define como la proporción de espacios vacíos entre el medio filtrante y el recipiente que lo contiene, y se define como:

$$P_v = \frac{V_0}{V_T} = \frac{\rho_m}{\rho_m + \frac{\rho_f}{P_m}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

ρ_m , es la densidad del material (seco).

ρ_f , es la densidad del agua.

P_v , es la proporción de huecos (expresada en tanto por uno).

Para calcular la porosidad de las tusas se usó un recipiente con un volumen de 9 L, al cual se le adicionó las tusas secas hasta el nivel superior y se pesó el conjunto (densidad aparente). Luego las tusas se sumergieron en agua durante 15 días para que se hidrataran y luego se escurrieron de un día para otro. Las tusas hidratadas se adicionaron al recipiente y se pesó el conjunto (densidad real) (Figura 5). Por último se calculó el volumen de agua adicionada al recipiente conteniendo las tusas hidratadas.



Figura 5. Determinación del peso seco y húmedo de las tusas de maíz

7.3.1.3. Cálculos de diseño del humedal artificial

Para la determinación del tiempo de detención en humedales de flujo subsuperficial, SFS, diseñados para la eliminación de DQO, DBO, se propuso un modelo que asume flujo

ideal de pistón. En la Estación Central Naranjal los humedales se diseñaron para la eliminación del 50% de la carga orgánica proveniente del FAFA del sistema séptico.

La determinación del tiempo de retención se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp[-K_T * t'] \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde:

C_e = Concentración de DQO, DBO del efluente, mg/L.

C_o = Concentración de DQO, DBO del afluente, mg/L.

K_T = Constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1} .

t' = Tiempo de detención real, en días.

Para los coeficientes que intervienen en la ecuación se estimaron los valores que se indican a continuación:

Para SFS y eliminación de carga orgánica:

$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)}$, T en °C (Reed *et al.*, 1995).

$K_{20} = 0,678 d^{-1}$, según Reed *et al.*, (1995), para aguas residuales domésticas.

La profundidad del humedal se fijó en 0,5 m y la porosidad de la piedra utilizada como medio de soporte fue calculada en 0,45 (roca triturada) (Rodríguez, 2009)

Con los valores de porosidad y la profundidad se calculó el área superficial del humedal, mediante la siguiente ecuación:

$$A_s = L * W = \left[\frac{Q \ln(C_o/C_e)}{K_T * d * n} \right] \text{ (Ecuación 9)}$$

Donde:

A_s = Área superficial necesaria, m^2 .

L = Longitud del estanque, en metros.

W = Ancho del estanque, en metros.

n = Porosidad 0,45.

d = Profundidad del estanque, en metros.

C_e = Concentración de DQO, DBO del efluente, mg/L.

C_o = Concentración de DQO, DBO del afluente, mg/L.

K_T = Constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1} .

Q = Caudal medio en m^3/d .

El Largo y ancho de la laguna fue calculado de la misma ecuación, conservando una relación Largo/Ancho de 4 a 1 con el fin de evitar que se presente desbordamientos de agua en las lagunas.

Actividades de operación, control y mantenimiento del sistema.

Se elaboró el formato para registrar el mantenimiento y limpieza a las 4 unidades que forman parte del sistema séptico (la trampa de grasas, el pozo séptico, el filtro anaeróbico y el humedal artificial) y el formato de actividades de control (Anexo 2).

7.3.2. Diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales del café

El diseño del sistema para el tratamiento de agua mieles del café se realizó con base en la propuesta de (Zambrano *et al.*, 2010), cuando el mucílago se elimina por fermentación natural.

Para este caso se diseñó un sistema modular de tratamiento anaerobio (SMTA) que cuenta con las siguientes unidades: Una trampa de pulpas, una etapa hidrolítica-acidogénica, una recámara dosificadora y una etapa metanogénica.

La información que se requiere para el diseño incluye la producción anual en @ de café pergamino seco (c.p.s), el porcentaje de producción en la semana pico, el porcentaje de producción para el día pico y la cantidad de agua necesaria para el beneficio húmedo de café en l/kg c.p.s.

7.3.2.1. Cálculos de diseño para la etapa Hidrolítica – Acidogénica (VRHA)

El volumen para el diseño de los tanques que componen esta etapa se calculó mediante la siguiente expresión:

$$VRHA = \left[60 * \left(\frac{0,9}{1000} \right) * 1,25 * 3 * \left(\frac{1}{100} \right) * \left(\frac{1}{5} \right) * Sp * Pa \right] \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde:

60= Factor de conversión de @ c.p.s. a kg de café cereza (4,8*12,5).

0,9= Litros de agua consumidos en el lavado/kg café cereza.

1000= Para pasar de litros a m³.

1,25= Factor de seguridad.

3= 2 volúmenes para bioquímica y 1 volumen para almacenamiento.

1/100= Para corregir %.

1/5= Días hábiles de la semana.

Sp= Semana pico en %.

Pa= Producción anual en @ c.p.s.

7.3.2.2. Cálculos de diseño para la etapa Metanogénica (VRM)

El volumen para los tanques que componen esta etapa se calculó mediante la siguiente expresión:

$$VRM = \left[60 * \left(\frac{0,9}{1000} \right) * \left(\frac{1}{1000} \right) * 27,4 * \left(\frac{1}{8,75} \right) * \left(\frac{1}{5} \right) * Sp * Pa \right] \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

60= factor de conversión de @cps a kg de cc (4,8*12,5).

0,9= litros de agua consumidos en el lavado/kg café cereza.

1000= para pasar de litros a m³.

1/100= Para corregir %.

27,4= kg DQO/m³.

8,75= Kg de DQO aplicado/m³.

1/5= Días hábiles de la semana.

Sp= Semana pico en %.

Pa= Producción anual en @ c.p.s.

Actividades de operación, control y mantenimiento del sistema.

Se elaboró el formato para registrar el mantenimiento y limpieza a las diferentes unidades que forman parte del sistema y el formato de actividades de control (Anexo 3).

7.4. Evaluación de los sistemas abastecimiento y de tratamiento de aguas residuales

La evaluación del funcionamiento y desempeño de los sistemas de abastecimiento y tratamiento de aguas residuales se efectuó a partir de la caracterización del agua utilizada en los procesos de beneficio húmedo del café y en las labores domésticas. Las aguas residuales fueron analizadas por separado como aguas residuales domésticas y aguas generadas del beneficio húmedo de café (Anexo 4).

Caracterización fisicoquímica y microbiológica

- a- Los análisis de calidad del agua para consumo humano proveniente del acueducto veredal, fueron solicitados a la Asociación de Usuarios de Servicios Colectivos de la Quebra Naranjal. Los análisis de calidad de agua para labores agrícolas se realizaron a partir de muestras tomadas en la fuente donde se posee la concesión de aguas.
- b- El agua residual proveniente de las labores domésticas se caracterizó a la entrada y la salida del sistema de tratamiento de aguas residuales (Figura 6), a partir de parámetros como: caudal, pH, temperatura, Oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DQO, sólidos totales y suspendidos, color, turbiedad, y coliformes totales y fecales.
- c- Las aguas residuales generadas en el proceso del lavado de café se caracterizaron a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas (Figura 7), con los mismos parámetros descritos para aguas domésticas, a excepción de los aspectos microbiológicos.

Los métodos que se utilizaron para medir los parámetros de campo para cada una de las muestras recolectadas fueron los siguientes.

Caudal: La medición del caudal se realizó utilizando el método del cronómetro y la probeta, se realizaron 3 mediciones por punto y tiempo de muestreo y se calculó el caudal promedio.

pH: Método potenciométrico.

Temperatura: Método termométrico.

Oxígeno disuelto: Método polarográfico.

Conductividad eléctrica: Método potenciométrico.

DQO: Método Digestión-semimicro-espectrofotométrico.

Sólidos totales y suspendidos: Método gravimétrico.

Color real y aparente y turbiedad: Método espectrofotométrico.

Coliformes totales y fecales: Método filtración por membrana.

Todos ellos de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods.

Índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA): El índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano se evaluó a través de la metodología descrita en la resolución 2115 de 2007. Para calcular el índice se aplicó la siguiente fórmula:

$$IRCA (\%) = \left[\frac{\sum \text{puntaje de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} \times 100 \right] \text{ (Ecuación 12)}$$



Figura 6. Toma de muestras de aguas residuales domésticas para la caracterización fisicoquímica y microbiológica a la entrada y salida del sistema séptico.



Figura 7. Toma de muestras de aguas residuales del beneficio de café para la caracterización fisicoquímica en el sistema modular de tratamiento.

7.5. Acciones de capacitación y educación

Durante el período de estudio se programaron jornadas de capacitación y sensibilización a los empleados de la Estación, en aspectos como el uso eficiente del agua, el manejo de aguas residuales y buenas prácticas agrícolas, se realizaron talleres y evaluaciones de las acciones de capacitación, y como medios de difusión se utilizaron carteleros con conceptos de buenas prácticas agrícolas.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Resultado diagnóstico programa uso eficiente del agua

8.1.1. Agua para consumo humano y actividades domésticas.

El sistema de abastecimiento de agua para consumo humano, está compuesta por redes de tubería principal proveniente del acueducto y redes de tubería de distribución dentro de las instalaciones. El agua potable al interior de las instalaciones se conduce a través de tubería de ½” y para el control del consumo se tienen instalados dos medidores principales en los cuales se registra la cantidad de agua en m³ utilizada en el sector de albergue de los empleados y en las oficinas principales.

Las instalaciones de la Estación Central Naranjal cuentan con 25 unidades sanitarias, 22 duchas, 13 lavamanos, 11 lavaplatos, 4 lavaderos, 5 orinales, y 13 llaves terminales en el exterior de las instalaciones.

Durante el diagnóstico se identificaron fugas de agua en las válvulas de algunas unidades sanitarias, lavamanos y orinales. La identificación, la reparación y el mantenimiento de estos accesorios se realizaron de forma permanente para lograr la disminución de las pérdidas de agua en el sistema de conducción. Complementario a estas actividades, durante el período de estudio se logró el reemplazo de 6 unidades sanitarias que consumían 12 litros/descarga, por unidades de 6 litros/descarga, se instalaron 5 grifos con regulador de flujo y se inhabilitaron 8 llaves terminales (Anexo 7).

Con la instalación de las unidades sanitarias de baja descarga se logró una reducción del volumen de agua de aproximadamente 450 litros/día, cuando permanecieron 15 personas en jornada diurna dentro de las instalaciones y se calculó un promedio de 5 descargas por día. Los grifos con regulador de flujo instalados en los lavamanos permitieron cada uno reducir en promedio el volumen de agua en 2,2 litros por minuto comparado con el volumen de los grifos sin regulador.

Los registros de consumo de agua facturados por el acueducto muestran una significativa reducción del volumen utilizado para las actividades domésticas durante el año 2012 comparado con los registros de 2011 (Figura 8). Para el año 2011 el consumo promedio

bimensual fue de 455 m³ y para el año 2012 fue de 169 m³, es decir, un ahorro de 286 m³ bimensuales, lo que representó un ahorro del 62,86% en el consumo de agua entre los años 2011 y 2012. Esta reducción obedece en gran parte a las adecuaciones realizadas en el sistema de abastecimiento, a los controles operacionales para el uso eficiente del agua y al grado de compromiso de los empleados con las campañas de sensibilización y capacitación en ahorro y manejo eficiente del agua. Lo anterior acepta la hipótesis de trabajo número uno que establecía: “*Los procesos de capacitación aunados a la implementación de tecnologías limpias, permiten reducir el consumo de agua en la ECN en al menos un 20%*”.

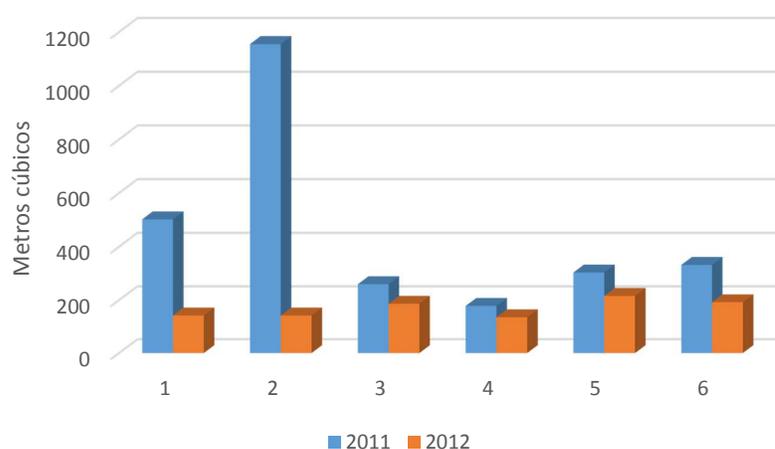


Figura 8. Consumo bimestral de agua en m³ facturado por el acueducto durante los años 2011 y 2012

Los registros del análisis de aguas suministrado por la asociación de usuarios de servicios del acueducto local, se utilizaron para analizar la evolución de la calidad del agua que se utilizó para el consumo humano en la Estación.

Los principales parámetros caracterizados se presentan en la Tabla 16, con los promedios para muestras tomadas en los años 2011, 2012 y 2013. Los valores de los parámetros caracterizados en el agua cruda reflejan la necesidad de realizar tratamientos de desinfección para asegurar la calidad de agua potable según los valores permisibles establecidos por la Resolución 2115 del 2007 en especial para los parámetros microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*.

Tabla 16. Promedios de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua proveniente del acueducto veredal la Quebra de Naranjal.

Parámetros	Expresados como	Agua cruda			Agua potabilizada		
		2011	2012	2013	2011	2012	2013
Alcalinidad total	CaCO ₃ (mg/L)	72,00	53,00	26,00	33,50	31,14	24,60
Cloro residual libre	(mg/L)	0,00	0,06	ND	0,49	0,83	1,12
Cloruros	Cl- (mg/L)	11,00		2,33	8,86	6,26	4,40
Color	Unidades de platino Cobalto (UPC)	2,00	40,00	6,67	12,63	7,14	ND
Conductividad	(µS/cm)	92,00	67,00	66,67	97,25	93,29	82,60
Dureza total	CaCO ₃ (mg/L)	90,00	68,00	44,67	37,50	42,71	41,60
Hierro total	Fe (mg/L)	0,04	0,03	0,08	0,08	0,02	0,12
Nitritos	NO ₂ - (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable	Aceptable	ND	Aceptable	Aceptable	Aceptable
pH	Unidades de pH	8,66	7,98	7,58	7,81	7,69	7,73
Sulfatos	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	N.D	18,00	3,67	ND	12,40	4,80
Temperatura	°C	20,00		ND	19,88	21,45	ND
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	1,04	9,88	ND	3,97	1,03	7,13
Coliformes totales	(UFC/ ml)	6,5 x 10 ³	Presencia	6,8 x 10 ³	15,0	0,0	0,0
<i>Escherichia coli</i>	(UFC/ ml)	3,0 x 10 ²	Presencia	3,1 x 10 ³	6,6	0,4	0,0
Color Aparente	Unidades de platino Cobalto (UPC)	ND	ND	ND	ND	ND	10,60
Acidez total		ND	ND	6,00	ND	ND	4,80
Dureza magnésica	CaCO ₃ (mg/L)	ND	ND	21,67	ND	ND	12,60
Dureza cálcica	CaCO ₃ (mg/L)	ND	ND	23,00	ND	ND	29,00
Mesófilos	UFC/ml (mg/L)	ND	ND	7666,67	ND	ND	1,20
Oxígeno disuelto	(ppm)	ND	ND	7,23	ND	ND	ND

ND: No se determinó.

La determinación de la calidad de agua para consumo humano, se calculó por medio del índice de riesgo de la calidad (IRCA), tanto en las muestras de agua sin potabilizar como para las muestras de agua potabilizadas.

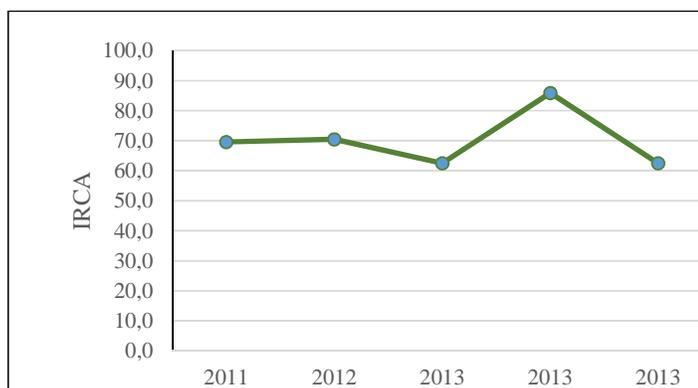


Figura 9. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en muestras sin potabilizar.

Con relación a las muestras de agua sin potabilizar tomadas directamente en la fuente, el índice (IRCA) muestra un nivel de riesgo entre alto e inviable sanitariamente para el

consumo humano, con valores entre 62 y 85 % (Figura 9), confirmando que estas aguas deben recibir un tratamiento especial con el fin de evitar problemas en la salud humana.

Para las muestras de agua potabilizada analizadas con el índice (IRCA), se observan los más altos valores durante el año 2011, con un 75% de las muestras analizadas que no cumplían con la calidad para ser utilizadas en el consumo humano, lo que se puede asociar a problemas en el proceso de potabilización y la deficiente infraestructura que poseían para realizar estos procesos. Durante los años 2012 y 2013 y gracias a programas de capacitación a la asociación y a la comunidad y a la consecución de recursos para mejorar la infraestructura, se encontró que un 75% de las muestras analizadas presentaron valores de IRCA del 0% (agua sin riesgo para consumo), reflejando la corrección de los problemas inicialmente encontrados en el proceso de potabilización y el compromiso de la asociación para asegurar la calidad del servicio de agua a los usuarios del acueducto (Figura 10).

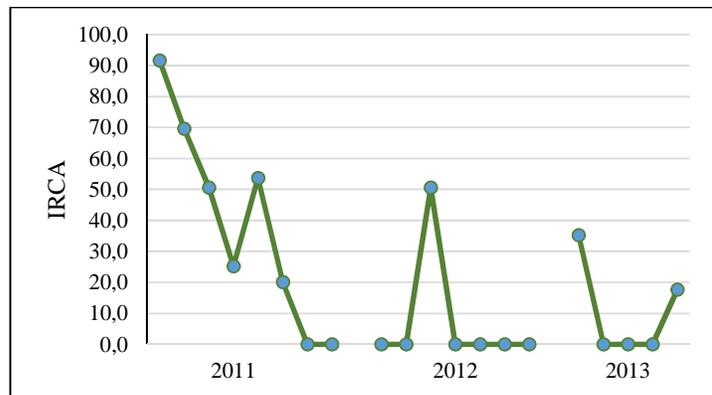


Figura 10. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) en muestras potabilizadas.

8.1.2. Agua para labores agrícolas.

Antes de iniciar el proceso para la solicitud de la concesión de aguas, en la granja experimental, el consumo de agua proveniente de la fuente natural no era controlado y por lo tanto no existía un registro de caudal, el sistema de abastecimiento era deficiente y no permitía suplir el requerimiento para los procesos agrícolas, incrementándose el consumo de agua potable en actividades como el riego de almácigos de café y beneficio húmedo de café. La Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas) a partir de la resolución # 677 de diciembre 2010 (Anexo 5), estableció las exigencias para otorgar la concesión de aguas, entre ellas realizar adecuaciones para mejorar la calidad

del agua captada y para controlar el caudal concedido (0,144 L/s, equivalente a 373 m³/mes) para las actividades establecidas.

Como se muestra en la Figura 11 el sistema de abastecimiento de agua para labores agrícolas está compuesto por la fuente, un tanque de represamiento, una recámara de rebose, un tanque desarenador, válvulas de control, un medidor volumétrico de caudal, un tanque dispensador, una electrobomba y 8 tanques de polietileno de un m³ cada uno para el almacenamiento. Estos componentes del sistema de abastecimiento para uso agrícola corresponden a las exigencias de la autoridad ambiental.

El agua captada del nacimiento es conducida por gravedad a través de una tubería de 3" desde la fuente hasta un tanque de represamiento ubicado en la casa principal de la Estación, de este punto se toma el líquido necesario para llevar a cabo el proceso de beneficio de café, y el volumen restante concedido vuelve hacia el cauce natural sin alteraciones.

Debido a la diferencia en altura para distribuir el agua a todas las instalaciones es necesario impulsar el agua almacenada en el tanque de represamiento por medio de una electrobomba de 1 hp de potencia hasta los tanques plásticos que almacenan el líquido y a partir de estos se distribuye por gravedad hacia el área de beneficio de café y las demás instalaciones.

El área de beneficio húmedo de café tiene 20 lavaderos para manejo de muestras de café cada uno con su respectiva llave terminal y 6 llaves adicionales para el lavado de las máquinas despulpadoras. Los almácigos tienen en total 9 llaves terminales para el suministro de agua para riego.

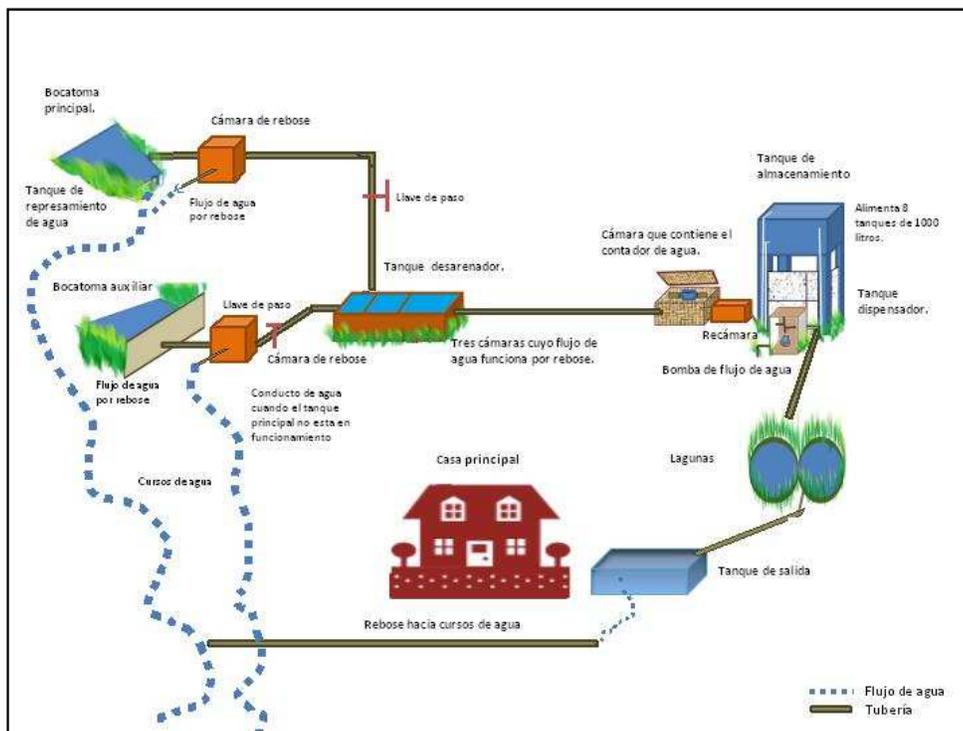


Figura 11. Procedimiento para la captación de aguas en la Estación Central Naranjal.
Fuente: Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación Cenicafé.

De acuerdo con la Resolución, el caudal máximo mensual que se puede utilizar en la estación es de 373 m³ sin recurrir en sanciones económicas por parte de la corporación. En la tabla 16 se presentan los aforos realizados en la captación de agua para el año 2012.

Tabla 17. Aforo mensual del caudal concedido por CORPOCALDAS en m³, año 2012

Mes	Caudal	Mes	Caudal
Enero	375	Julio	189
Febrero	386	Agosto	256
Marzo	165	Septiembre	372
Abril	222	Octubre	334
Mayo	356	Noviembre	305
Junio	398	Diciembre	382

Según la Tabla 17, el caudal de agua tomado de la concesión durante el año 2012, estuvo en promedio en 312 metros cúbicos de agua, destinados para uso agrícola. En varios

meses (enero, febrero, junio y diciembre) se superó el valor límite de caudal concedido con las consecuentes sanciones económicas por parte de la corporación.

Dado que no todo el caudal tomado de la concesión se utilizó en las actividades agrícolas, con los registros del volumen conducido a los tanques de almacenamiento se determinó el consumo real para el año 2012, esta información se presenta en la figura 12, encontrándose un consumo medio mensual de 37,5 m³ equivalente al 10% del caudal mensual concedido, siendo el excedente regresado nuevamente a la cuenca.

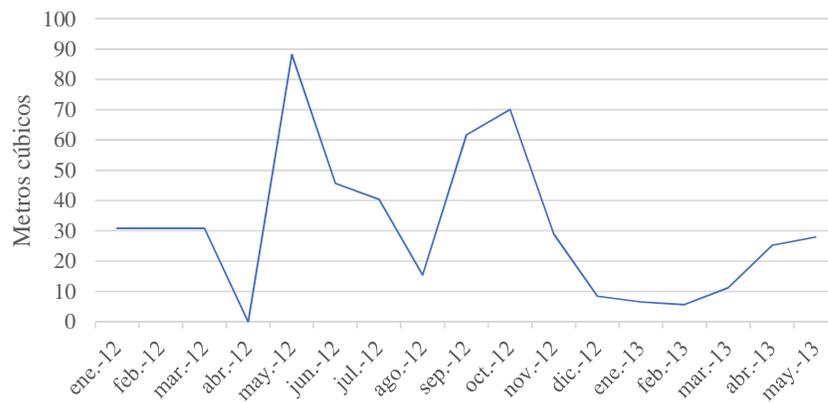


Figura 12. Registro mensual del consumo de agua en m³ para el beneficio de café en la Estación Central Naranjal 2012-2013.

Lo anterior motivo a la implementación de un sistema de almacenamiento mayor en el cual se lograra almacenar el agua sobrante de aquellos meses en los cuales la demanda de agua para uso agrícola estuviese por debajo del valor concedido. Los materiales utilizados para la instalación del sistema de almacenamiento se describen en el Anexo 14.

El sistema de almacenamiento de agua para atender la demanda en las labores agrícolas se diseñó con base en las necesidades y el caudal concedido, en el nuevo diseño se logró ampliar la capacidad de almacenamiento escalando de 8m³ hasta 50m³ el volumen de agua a depositar como reserva para el beneficio húmedo de café (Figura 13).

El agua impulsada llega a 10 tanques de polietileno de 5000 litros cada uno, el líquido ingresa al primer tanque y a partir de este se distribuye por rebose hacia los demás tanques. El primer tanque permite la limpieza de los lodos que se depositan en el fondo y asegura el volumen de agua para casos de emergencia cuando los demás tanques agoten

su contenido. Adicionalmente y como una medida de control se registra el tiempo de operación de la electrobomba y el volumen de agua transportado hasta los tanques de almacenamiento (Anexo 1).

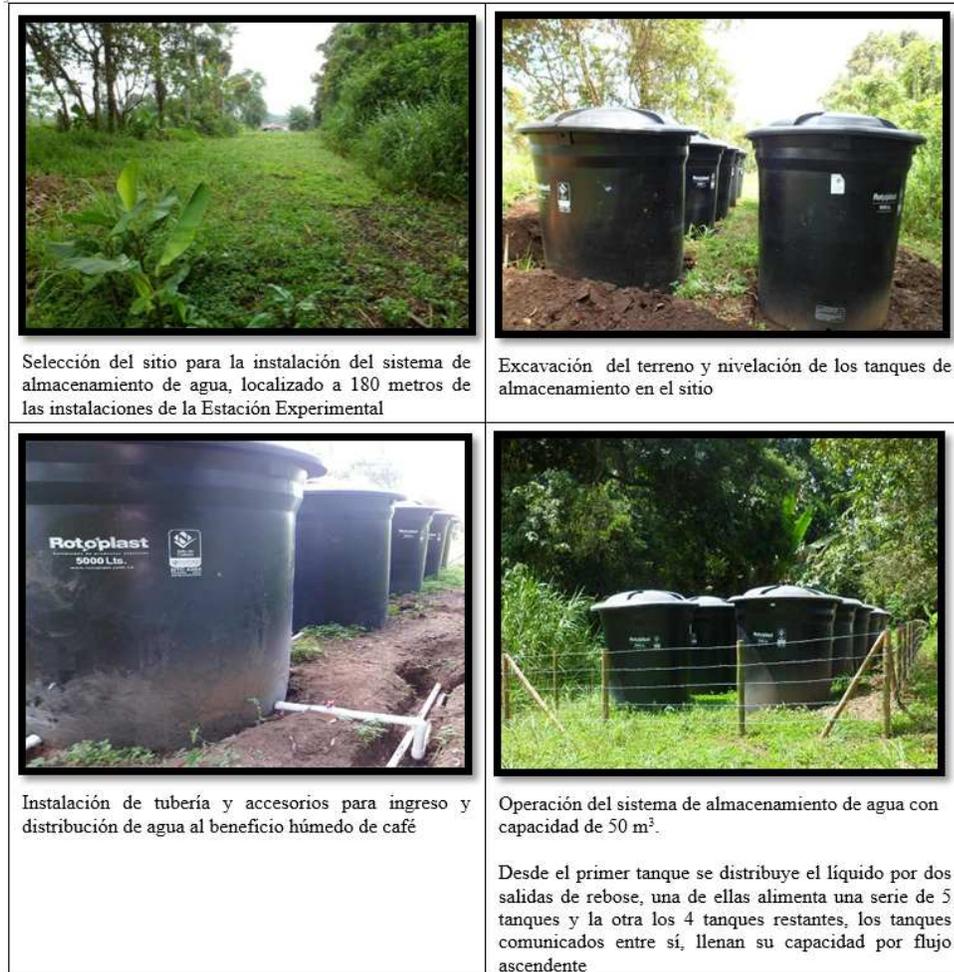


Figura 13. Sistema de almacenamiento de agua instalado para atender la demanda en las labores agrícolas

En la tabla 18 se presentan los aforos realizados en la captación de agua para uso agrícola en el año 2013.

Según la Tabla 18, el caudal de agua tomado de la concesión durante el año 2013, estuvo en promedio en 311 metros cúbicos de agua, destinados para uso agrícola. En ninguno de los meses se superó el valor límite de caudal concedido.

Tabla 18. Aforo mensual del caudal concedido por CORPOCALDAS en m³, año 2013

Mes	Caudal	Mes	Caudal
Enero	151	Julio	234
Febrero	354	Agosto	253
Marzo	342	Septiembre	334
Abril	354	Octubre	368
Mayo	359	Noviembre	367
Junio	363	Diciembre	254

El consumo de agua de la concesión durante el año 2013 estuvo alrededor de los 13,6 m³ mensuales en actividades agrícolas (ver Anexo 6). Esto indica una utilización del 3,6% frente a la medición total del caudal concedido, devolviéndose a la fuente el 96,4% del agua sin alterar su calidad. Lo anterior permite calcular un ahorro promedio de agua de cerca de 24 m³ al mes respecto al año anterior y refleja el resultado de las campañas educativas en uso eficiente de agua y la conveniencia del aumento en el volumen de almacenamiento de las aguas destinadas para uso agrícola.

La reducción en consumo de agua para uso agrícola entre el año 2012 y 2013 fue del 63,7%, aceptando la hipótesis número uno que establecía: *“Los procesos de capacitación aunados a la implementación de tecnologías limpias, permiten reducir el consumo de agua en la ECN en al menos un 20%”*.

En las tablas 19 y 20 se presentan las caracterizaciones realizadas en la bocatoma del sistema de captación de agua para uso agrícola para los años 2011-2012.

La calidad promedio del agua captada y utilizada para estas actividades agrícolas en la Estación Central Naranjal, según la caracterización físicoquímica y microbiológica presentaron valores de pH y coliformes totales dentro de los criterios admisibles para uso agrícola establecidos en el decreto 1594 de 1984. El decreto establece en su artículo 40 valores de pH entre 4,5 y 9,0 y valores de coliformes totales menores a 5000 (UFC/ml). Los altos valores de desviación estándar que se presentaron para Turbidez, DQO y SST en estas muestras, están asociadas a coeficientes de variación con alta variabilidad de los datos.

Tabla 19. Promedios de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y DQO, del agua utilizada para actividades agrícolas.

Muestra	pH (Unidades de pH)	Temperatura (°C)	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (ppm)	Turbidez (FTU)	DQO (ppm)
1(2011)	6,9	21,0	55,9	2,0	1,3	2,0
2(2011)	6,7	25,7	53,1	5,1	2,7	19,7
3(2012)	7,2	24,5	56,5	6,3	9,0	ND
Promedio	6,9	23,7	55,2	4,5	4,3	10,8
Desviación estándar	0,2	2,5	1,8	2,2	4,1	12,5

ND: No se determinó

Tabla 20. Promedios de los parámetros físico-químicos SST, Color, ST y microbiológicos coliformes totales y fecales del agua utilizada para actividades agrícolas.

Muestra	SST (ppm)	Color (unidades Pt-Co)		ST (ppm)	Coliformes Totales (UFC/ ml)	Coliformes Fecales (UFC/ ml)
		Color Ap	Color Real			
1(2011)	6,0	15,3	11,0	81,3	3267	2483
2(2011)	3,3	15,3	4,7	76,0	2067	2000
3(2012)	ND	9,0	5,0	81,0	ND	ND
Promedio	4,65	13,2	6,9	79,4	2667	2242
Desviación estándar	1,91	3,7	3,6	3,0	849	342

ND: No se determinó

8.2. Programa manejo de aguas residuales

8.2.1. Identificación del manejo de aguas residuales domésticas antes de implementar el manejo integrado del agua

El diagnóstico realizado sobre el manejo de aguas residuales domésticas en el año 2011 en la Estación Central Naranjal permitió identificar la presencia de tres sistemas sépticos para su tratamiento. El volumen total acumulado de los tres sistemas sépticos fue de 16,2 m³; para atender, en época corriente, cerca de 45 personas y en época de cosecha cerca de 115 personas.

El primer sistema séptico (Figura 14), se identificó en las instalaciones dedicadas al análisis de muestras experimentales, oficinas, vivienda familiar y albergue de personal recolector de café. Este sistema constaba de 2 tanques de pretratamiento comunicados en

serie y construidos en concreto (de 4 m³ y 1 m³) respectivamente, en los cuales se descargaban las aguas residuales de los vestidores y bodega de semilla, luego se unían en una recámara posterior (Recámara A; V = 0,125 m³) con las aguas lluvias, estos efluentes eran conducidos a una segunda recámara (Recámara B; V = 0,125 m³), la cual recibía las aguas domésticas de la zona de cafetería y baños de las oficinas, la mezcla de estas aguas finalmente se unía en una tercera recámara (Recámara C; V= 0,448 m³) con las aguas lluvias y se descargaban por medio de una tubería en el suelo.

Las aguas residuales de la zona de albergue, en las cuales permanecían 10 operarios de oficina (sólo en el día) y 18 recolectores de café y en época de cosecha entre 60 y 70 recolectores se depositaban en dos recámaras con una capacidad de 45 litros cada una (en la primera se unían las aguas de la cocina y lavaderos, que luego pasaban a una trampa de grasas de 250 litros de capacidad) y en la segunda se unían las aguas residuales de los baños, que finalmente se mezclaban con los efluentes de la trampa de grasas (Recámara F; V= 1,1 m³), a esta recámara llegaban las aguas residuales de una vivienda familiar (5 personas) previa captación (Recámara D; V = 84,5 L) y las aguas residuales domésticas del área del beneficio de muestras, previa captación (Recámara E; V = 0,21m³).

El segundo sistema séptico (Figura 14) ubicado cerca de la casa principal de la Estación estaba compuesto de 2 tanques sépticos prefabricados en polietileno, conectados en paralelo (uno de 2 m³ y otro de 1 m³), al cual llegaban las aguas residuales captadas en la recámara F y las provenientes de la de la casa principal (7 personas), unidas a través (Recámara G; V = 1,41 m³). Los efluentes de los tanques sépticos eran tratados en 2 tanques de polietileno de 1 m³, conectados en paralelo entre sí y en serie con los tanques sépticos. Estos filtros estaban empacados con gravilla y arena.

El tercer sistema séptico (Figura 15) se encontró en la zona de bodegas con (4 personas permanentes) y constaba de una trampa de grasas fabricada en polietileno de 250 litros de capacidad, una recámara de inspección fabricada en mampostería (V = 0,216 m³), un tanque séptico de 1 m³ fabricado en polietileno y un filtro anaeróbico fabricado en polietileno de 1 m³ de capacidad y empacado con arena y gravilla.

La capacidad de los sistemas sépticos descritos inicialmente no daban cumplimiento con lo estipulado por la normativa Colombiana en el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico), estando los sistemas subdimensionados, lo que obligó a disponer en el suelo aguas residuales domésticas con un tratamiento incompleto

y además ocasionó el incrementado de la frecuencia en la limpieza y mantenimiento de los pozos y filtros anaerobios los cuales se colmatan, realizando la labor cada 2 meses. El agua residual del lavado de los filtros anaerobios era dispuesta en el suelo sin ningún tipo de tratamiento.

Otro de los aspectos que ocasionaba el mal desempeño de los sistemas sépticos fue la presencia de aguas lluvias que llegaban al sistema creando una dilución de las aguas residuales domésticas, lo que implica menores tiempos de detención hidráulica y por lo tanto menores eficiencias en la remoción de la carga orgánica.

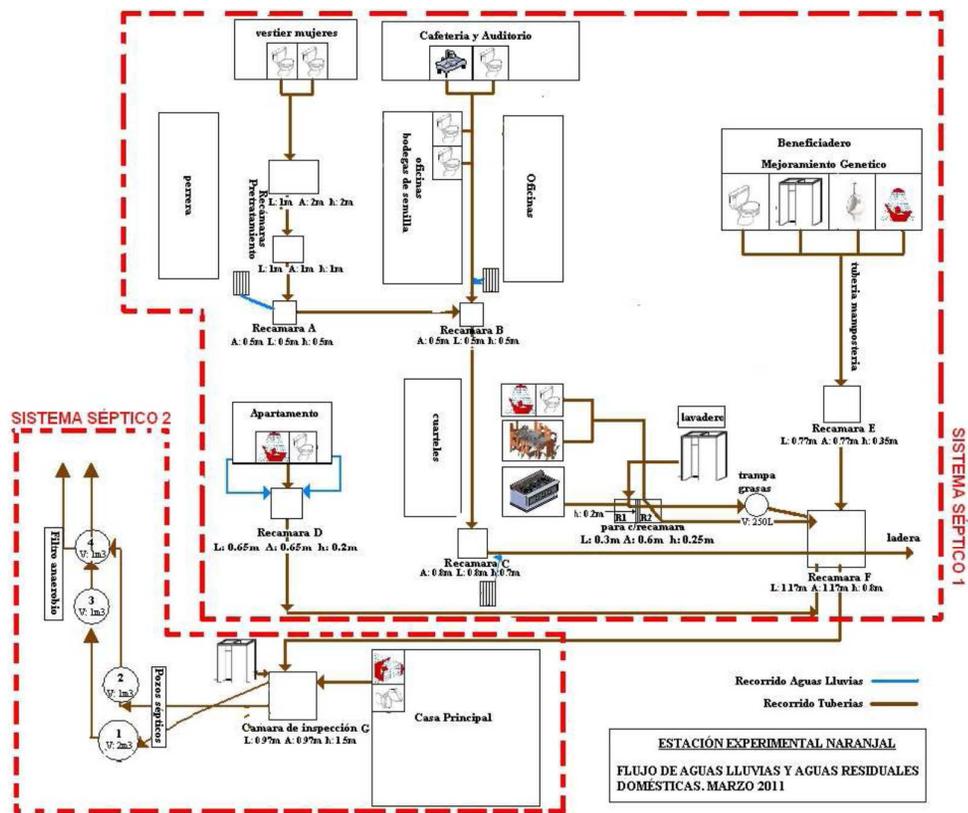


Figura 14. Sistemas sépticos del área albergue y casa principal Estación Central Naranjal.

Fuente: Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación Cenicafé.



Figura 15. Sistema séptico del área de bodegas.
 Fuente: Archivos Estación Central Naranjal Cenicafé.

De acuerdo con el diagnóstico, fue necesario diseñar y construir un sistema séptico que cumpliera con lo dispuesto en el RAS con el fin de alcanzar los valores de eliminación de carga orgánica exigidos por la normativa, siendo necesario separar las aguas lluvias de las aguas residuales domésticas para que éstas pudieran estar en el sistema de tratamiento el tiempo requerido para alcanzar los porcentajes exigidos de eliminación de sustancias contaminantes.

8.2.2. Diseño del sistema séptico

Valores obtenidos para el diseño del tanque séptico

El tanque séptico de la Estación se diseñó con los siguientes parámetros:

Número de contribuyentes: El número total de contribuyentes es de 115, distribuidos de la siguiente manera: 5 habitantes permanentes con una contribución diaria de aguas residuales de 130 L/hab-día, 40 personas permanentes con un horario de 8:00 am a 5:30 pm, de lunes a viernes, con una contribución de aguas residuales por habitante de 70 L/día y 70 trabajadores frecuentes para actividades de cosecha con un 30% del tiempo en el año, pernoctando en la Estación, con una contribución de aguas residuales por habitante de 130 L/día.

Contribución de aguas residuales: El valor obtenido en contribución de aguas residuales fue de 109,13 L/hab-día, calculado de la siguiente manera: 5 personas * 130 L/hab-día + 40 personas * 70 L/hab-día + 70 personas * 130 L/hab-día = 12550 L/día. Equivalente a un promedio de (12550 L/115 personas-día) = 109,13 L/persona-día.

Contribución de lodo fresco: El valor obtenido fue de 0,76 L/hab-día, calculado de la siguiente manera: 5 personas * 1,0 L/hab-día + 40 personas * 0,3 L/hab-día + 70 personas * 1,0 L/hab-día = 87,00 L/día. Equivalente a un promedio de (87,00 L/115 personas-día) = 0,76 L/persona-día.

Intervalo de limpieza: El intervalo de limpieza fijado de acuerdo a las especificaciones del diseño, fue de un año para la remoción del material sedimentado que se forma en la parte inferior del tanque séptico como una capa de lodo.

Tasa de acumulación de lodos digeridos (K): El valor de este parámetro fue de 57 días. De la Tabla 15, el valor de la tasa de acumulación de lodos digeridos (K) para un intervalo de limpieza de un año y en un rango de temperatura > 20°C, es de 57.

Tiempo de retención: El tiempo de retención para un caudal de 12550 L/día, tomado de la Tabla 14, es de 12 horas.

Volumen útil: El volumen determinado para el diseño fue de 12257 litros, equivalente a 3 tanques de polietileno con capacidad de 5 m³, c/u. Para el cálculo del volumen útil del tanque séptico se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_u = 1000 + N_c * (CT + KLf) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde:

N_c Número de contribuyentes (115).

C: Contribución de aguas residuales por habitante, L/día, (109,13).

K: Tasa de acumulación de lodo digerido, en días (57).

L_f: Contribución de lodo fresco, L/hab-d (0,76).

T: Tiempo de retención en días (0,50). Los parámetros de diseño se resumen en la Tabla 21.

Tabla 21. Parámetros de diseño del tanque séptico para el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal

Parámetros de diseño del tanque séptico STAR	
Número de contribuyentes	115
Contribución de aguas residuales	109,13 L/hab-día
Contribución de lodo fresco	0,76 L/hab-día
Intervalo de limpieza	1 año
Tasa de acumulación de lodos digeridos (K)	57 días
Tiempo de retención	12 horas
Volumen útil	12257 L

Valores obtenidos para el diseño del filtro anaerobio

Volumen útil: El volumen útil para el diseño del filtro anaerobio fue de 10040 L calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$V_f = (1,60 * 115 * 109,13 * 0,5) \text{ (Ecuación 14)}$$

Porosidad medio filtrante: El valor obtenido a partir de la evaluación de la porosidad de los medios filtrantes utilizados fue de 0,778.

Volumen útil calculado por la porosidad del medio filtrante: Se calculó un volumen total de 12905 L equivalente a 3 tanques de polietileno con capacidad de 5 m³, c/u.

Los materiales utilizados como empaque en los filtros anaerobios fueron, tusas de maíz, guadua y botellas plásticas (Figura 16), dependiendo del tipo de empaque utilizado la cantidad de material para llenar un tanque de 5000 L fue:

Empaque con trozos de guadua: 2600 trozos de guadua de 15cm perforados en su interior

Empaque con botellas plásticas: 1170 botellas plásticas no retornables de 2.5 y 3 litros de volumen, fraccionadas en tres pedazos.

Empaque con tusas de maíz: 267 kg de tusas de maíz, el equivalente a unas 5350 tusas aproximadamente.



Figura 16. Medios de soporte utilizados en los filtros anaerobios del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal

Superficie específica y Porosidad de los materiales de empaque

El cálculo de la superficie específica de las tuzas de maíz evaluada con la metodología descrita, arrojó un valor promedio de $1,72 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ($n=20$; $CV=8,72$) equivalente a $172 \text{ m}^2/\text{m}^3$ por tusa (Tabla 22).

Tabla 22. Valores estadísticos para el cálculo del área específica de tuzas de maíz

Promedio	1,72
Máxima	1,94
Mínima	1,40
Desviación estándar	0,15

Los valores de superficie específica encontrados para las tuzas de maíz fueron superiores a los reportados para los otros dos medios filtrantes con los que se empacaron los otros filtros anaeróbicos, a saber trozos de guadua de 15 cm con superficies específicas de 48,2

m^2/m^3 (Zambrano *et al.*, 1999) y pedazos de botellas no retornables con una superficie específica de $51,67 m^2/m^3$ (Orozco, 2003).

El cálculo de la porosidad de las tusas de maíz evaluada con la metodología descrita, arrojó un valor promedio de 55,57 % (n=5; CV=4,95), el coeficiente de variación en este caso mostró una baja variabilidad en los valores obtenidos a partir de las muestras (Tabla 23).

Tabla 23. Resultados de la determinación de porosidad en reactores empacados con tusas de maíz

Muestra	Peso seco (g)	Densidad aparente (g/ml)	Peso Húmedo (g)	Densidad real (g/ml)	Porosidad del material	Porosidad Volumétrica (reactor)
1	1184,5	0,132	4130	0,459	2,487	53,30
2	1313,4	0,146	4247	0,472	2,234	51,31
3	1176,9	0,131	4436	0,493	2,769	57,72
4	1214,2	0,135	4485	0,498	2,694	57,31
5	1193,4	0,1326	4510	0,501	2,779	58,21
Promedio	1216,480	0,135	4361,600	0,485	2,592	55,57
Desviación estandar	50,041	0,006	148,025	0,016	0,208	2,75
Coeficiente de Variación	4,114	4,114	3,394	3,394	8,023	4,95

La porosidad encontrada en la presente investigación para los reactores empacados con tusas de maíz fue de 55,6% valor inferior a la porosidad reportada en otras investigaciones para reactores anaerobios empacados con guadua y botellas plásticas no retornables con valores de 77,8% y 98,7% respectivamente (Orozco, 2003). El valor medio de porosidad de las tusas de maíz implica una menor disponibilidad de almacenamiento en el reactor y un menor tiempo de retención hidráulica, comparado con los medios filtrantes compuestos por trozos de guadua y botellas plásticas no retornables.

Si bien el volumen útil en los reactores empacados con tusas de maíz es inferior a los reportados para las botellas plásticas no retornables y los pedazos de guadua, la mayor área específica y mayor cantidad de material de empaque permite una mayor concentración de los microorganismos metanogénicos responsables de la etapa final de degradación de las aguas residuales.

Características del sistema séptico

El nuevo sistema séptico instalado en la Estación Central Naranjal, al cual no llegan las aguas lluvias, consta de dos trampas de grasas, en polietileno, de 250 L cada una, 3 tanques sépticos, en polietileno, de 5000 L de capacidad cada uno, 3 filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAS), en polietileno, de 5000 L de capacidad cada uno, empacados, uno con pedazos de guadua, otro con botellas no retornables y otro con tusas de maíz.

El postratamiento consta de 6 humedales de flujo subsuperficial construidos en el suelo cubierto con plástico, y empacados con gravilla y sembrados con musáceas. En total suman un volumen de 30 m³ (Tabla 24).

Los materiales que se utilizaron para la instalación del sistema séptico diseñado, se describen en el Anexo 12.

Tabla 24. Características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

Sistema	Componente	N° de unid	Dimensiones				
			Ø (m) sup - inf	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen total (L)
STAR	Trampa de grasas	2	1,0 – 0,9			0,3	500
STAR	Tanque séptico	3	2,2 – 1,7			2,4	15000
STAR	Filtro anaerobio	3	2,2 – 1,7			2,4	15000
STAR	Recámara	1	1,0 – 0,9			0,3	250
STAR	Humedal	6		7	2	0,5	7000
				6	1,5	0,5	4500
				6	1,5	0,5	4500
				6,15	1,4	0,5	4310
				5,8	1,5	0,5	4350
				6,1	1,5	0,5	4580

El flujo de las aguas residuales sigue el recorrido que se muestra en las Figuras 17, 18, 19 y 20, el agua residual proveniente de duchas, sanitarios y lavamanos llega a la primer trampa de grasas y el agua residual generada en la cocina y lavaderos llega a una segunda trampa de grasas; luego de pasar por estas unidades, el flujo sigue hacia una recámara de distribución en la cual el caudal se distribuye de manera similar hacia los 3 tanques sépticos de manera independiente, desde cada tanque séptico, luego de un tiempo de

retención de 12 horas, el flujo pasa de manera independiente a los filtros anaerobios de flujo ascendente empacados con los diferentes materiales, finalmente los efluentes del sistema, después de un tiempo de retención hidráulica de 12 horas se unen en una recámara de inspección, que se comunica con los humedales artificiales para iniciar la etapa de postratamiento.

Para lograr una mayor eficiencia del sistema de postratamiento, cada humedal está sembrado con especies de platanilla (*Heliconia spp*) a una distancia entre plantas de 50 cm.

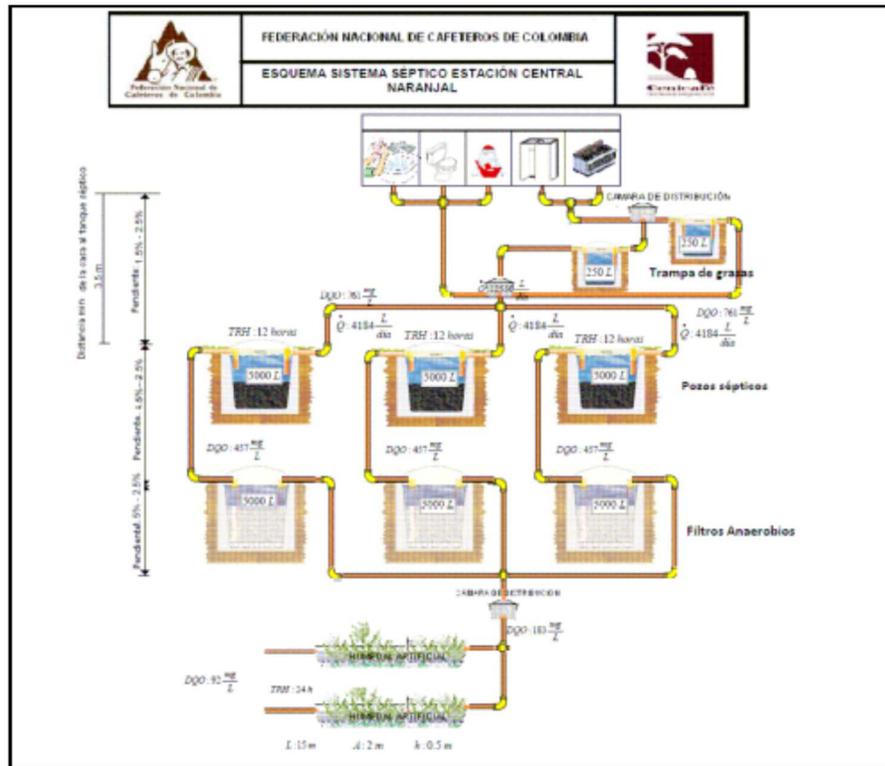


Figura 17. Esquema del sistema de tratamiento diseñado para las aguas residuales domésticas



Figura 18. Dispositivos del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.



Figura 19. Instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal



Figura 20. Instalación de los humedales de flujo subsuperficial para el postratamiento de aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal

El sistema séptico instalado recibe sólo aguas residuales domésticas, y para garantizar que las aguas lluvias no ingresaran a este, se canalizó de manera independiente el agua de los techos hacia sumideros naturales protegidos con disipadores de energía

construidos en guadua y con especies de maní forrajero (*Arachis pintoi*) en los taludes (Figura 20).

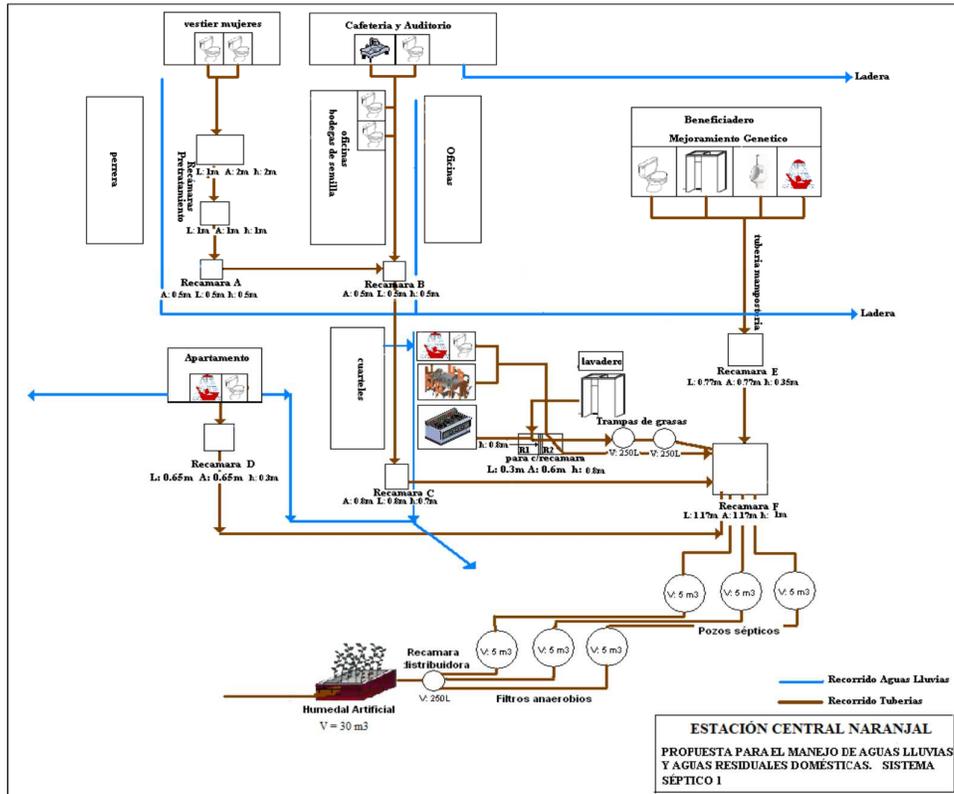


Figura 21. Diagrama del flujo de las aguas lluvias y de las aguas residuales domésticas en la Estación Central Naranjal

8.2.3. Diseño del sistema modular para el tratamiento anaerobio de aguas mieles del café (SMTA)

El diseño del SMTA se realizó con base en los parámetros que se muestran en la Tabla 25, esta información se obtuvo de los promedios de producción registrados en la Estación y la distribución histórica de la cosecha de café.

Tabla 25. Parámetros de diseño para el sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales del beneficio húmedo del café Estación Central Naranjal.

Parámetros de diseño del SMTA	
Producción anual	2400 @ c.p.s./año
Día pico	1,5% de la producción anual
Semana pico	5,7% de la producción anual
Consumo de agua	5,0 l/kg de c.p.s.

Valores obtenidos para el diseño del SMTA

Volumen para el reactor hidrolítico acidogénico: Para esta etapa se necesitó un volumen de 5,54 m³, calculado de la siguiente ecuación:

$$VRHA = \left[60 * \left(\frac{0,9}{1000} \right) * 1,25 * 3 * \left(\frac{1}{100} \right) * \left(\frac{1}{5} \right) * 5,7 * 2400 \right] \text{ (Ecuación 15)}$$

De acuerdo con este valor, el sistema modular SMTA quedó conformado para la etapa hidrolítica por 3 tanques de 2 m³ cada uno.

Volumen para el reactor metanogénico. El volumen calculado para el reactor metanogénico fue de 4,62 m³, calculado de la siguiente ecuación:

$$VRM = \left[60 * \left(\frac{0,9}{1000} \right) * \left(\frac{1}{1000} \right) * 27,4 * \left(\frac{1}{8,75} \right) * \left(\frac{1}{5} \right) * 5,7 * 2400 \right] \text{ (Ecuación 16)}$$

De acuerdo con este valor, el sistema modular SMTA quedó conformado por 3 tanques de 2 m³ cada uno para la etapa metanogénica. Al interior de cada reactor se adicionaron 490 botellas plásticas no retornables de 2,5 y 3,0 L fraccionadas en tres, como medio de soporte para los microorganismos que participan en la depuración de las aguas residuales del café.

Características del SMTA

El SMTA instalado en la Estación consta de una trampa de pulpa, en polietileno, de 250 L, 3 tanques en polietileno, de 2000 L de capacidad cada uno, en los cuales ocurre la etapa hidrolítica acidogénica, una recámara dosificadora de 250 L, que permite entregar un caudal controlado hacia los 3 reactores metanogénicos, en polietileno, de 2000 L de capacidad cada uno, empacados con pedazos de botellas plásticas no retornables (Figuras 22 y 23). Los materiales utilizados para la instalación del SMTA diseñado se describen en el Anexo 13.

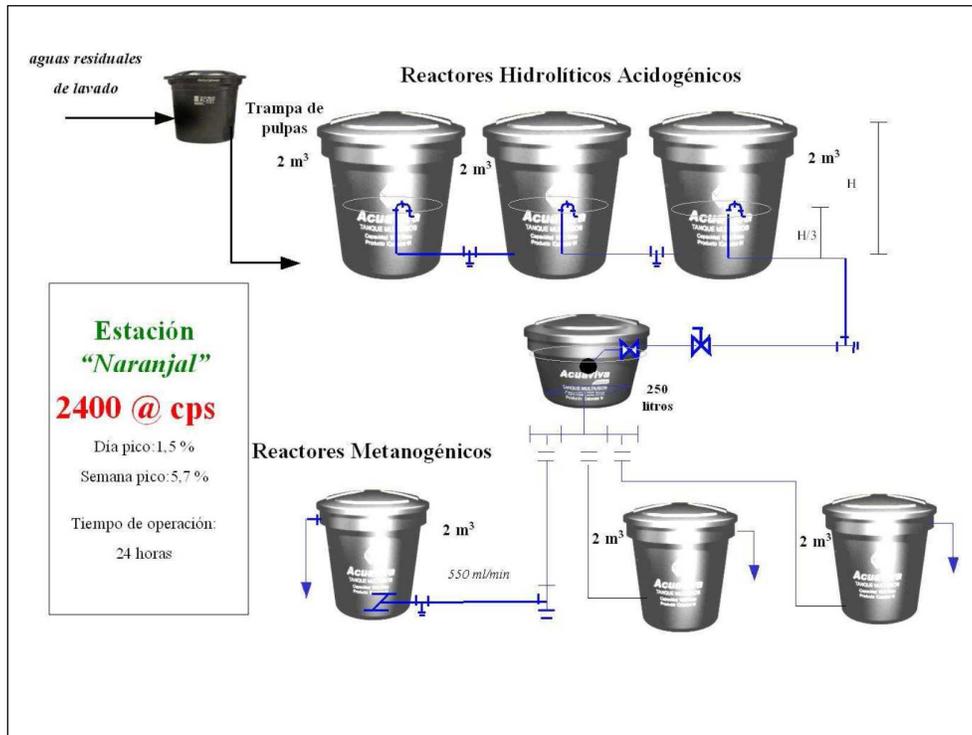


Figura 22. Esquema del sistema de tratamiento instalado para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café.

Luego de la instalación del SMTA, para la puesta en marcha del sistema fue necesario en la etapa metanogénica la inoculación con bacterias anaerobias obtenidas del estiércol de ganado vacuno disuelto en agua en una relación 1:1 240 kg de estiércol en 240 litros de agua, además se adicionó 200 g de urea en 8 L de agua y 4 kg de cal masilla en 40 L de agua por cada unidad de 2000 L.

Para el arranque del sistema se adicionó aguas mieles a los reactores hidrolíticos acidogénicos y se les aplicó 80 g de urea disuelta en 8 L de agua y 4 kg de cal masilla por cada unidad de 2000 L.

A través de la recámara dosificadora de manera independiente se dio inicio a la alimentación de los reactores metanogénicos con un caudal de 550 ml/min por un tiempo de 52 minutos la primera semana, durante esta etapa, llamada etapa de aclimatación de los microorganismos metanogénicos, el proceso de arranque tuvo una duración de 10 semanas incrementando el tiempo de operación del sistema hasta proporcionar un caudal continuo durante 12 horas.

El Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) diseñado para el tratamiento de las aguas residuales del café en la Estación Central Naranjal, opera, principalmente en época de cosecha de mitaca (marzo-abril) y en época de cosecha principal (septiembre-diciembre) siendo estos los períodos en los que se intensifican las labores de mantenimiento y control para su correcto funcionamiento.



Figura 23. Sistema modular para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del beneficio de café.

La operación del sistema inicia con la generación de aguas mieles del café provenientes del tanque tina, estas aguas llegan a la primera unidad del sistema, la trampa de pulpas, donde retiene pulpas, granos de café, hojas y ramas; el recorrido continúa hacia los reactores hidrolíticos acidogénicos, las aguas entran por el fondo del primer reactor y a partir de este salen por medio de un dispositivo instalado a 52 cm de altura en forma paralela hacia cada unidad asegurando un tiempo de retención hidráulico mínimo de dos días en las tres unidades. Desde la recámara dosificadora y con el caudal descrito inicialmente, se regula el tiempo de operación del sistema hacia los reactores metanogénicos ya inoculados con los microorganismos. Las actividades de

mantenimiento y control que se realizaron con mayor frecuencia durante la cosecha estuvieron relacionadas con la limpieza de la trampa de pulpas y la limpieza de la recámara dosificadora.

8.2.4. Caracterización de las aguas residuales domésticas

La caracterización de las aguas residuales domésticas tratadas a partir del sistema compuesto por tanques sépticos, filtros anaerobios y humedales artificiales, se realizó desde enero de 2012, luego de la puesta en marcha del sistema, hasta el mes de mayo de 2013. Durante este período se realizaron las actividades de control y mantenimiento y se llevó a cabo el seguimiento permanente de las labores relacionadas con la generación de estas aguas.

Como criterios para la evaluación de las estrategias de manejo integrado del agua en la Estación Central Naranjal, se analizó el desempeño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales a partir de los resultados generados durante el tiempo establecido en esta investigación.

8.2.4.1. Análisis general de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas

Un total de 15 muestreos se realizaron durante 17 meses de evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. La caracterización de los parámetros para la evaluación, se llevó a cabo en el laboratorio de Gestión de Recursos Naturales y Conservación del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

Los resultados de las caracterizaciones se muestran en las tablas 26 y 27 y en la Figura 24. Los altos valores de desviación estándar que se presentaron para Turbidez, DQO, SST y ST en estas muestras, están asociadas a coeficientes de variación que demuestran la alta variabilidad de los datos debido a las diferentes fases de inoculación, arranque y estado estable necesarias para el funcionamiento de los sistemas de tratamiento.

La eficiencia del sistema conformado por trampas de grasa, tanques sépticos y filtros anaerobios se determinó a partir de la caracterización de los parámetros en los afluentes y efluentes de dicho sistema.

Los mayores valores promedio de caudal afluente y efluente registrados en el funcionamiento del sistema séptico, están relacionados con las épocas en que se incrementa el número de personas que llegan a la Estación para realizar la cosecha de

café (abril-mayo; septiembre-noviembre) (Figura 24). Cuando se evaluó en caudal a partir de muestras compuestas el valor promedio de entrada fue de 4,20 L/min y el valor promedio de salida fue de 1,44 L/min (Anexo 8).

Tabla 26. Valores promedio para el análisis general de los parámetros físicoquímicos pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.

Muestra	pH (unid)		Temperatura (°C)		Conductividad (μS/cm)		Oxígeno disuelto (ppm)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	6,09	6,67	21,90	22,07	265,23	388,30	ND	ND
2	6,78	5,82	21,47	22,18	259,63	353,37	0,91	3,09
3	6,75	5,85	24,28	24,77	371,33	415,30	0,48	1,22
4	6,45	6,16	24,17	25,57	541,03	505,03	0,48	2,76
5	6,17	6,66	23,12	23,60	479,23	469,07	4,79	0,50
6	7,38	6,68	24,68	26,02	367,10	492,60	0,42	2,45
7	7,64	6,89	20,68	23,36	609,23	392,43	1,98	4,42
8	6,72	6,71	26,73	26,13	484,93	494,73	0,38	2,47
9	7,00	6,93	25,70	25,15	391,63	448,27	1,87	0,30
10	6,82	6,94	24,02	24,97	481,17	597,87	0,62	3,10
11	6,42	6,84	26,0	26,3	485,5	535,5	1,21	3,23
12	6,48	6,82	23,78	24,95	471,70	547,17	0,28	1,93
13	6,94	6,89	26,07	27,10	567,27	439,90	0,32	3,56
14	6,46	6,65	27,80	30,10	415,60	342,20	4,32	7,15
15	6,91	6,68	23,00	23,63	336,07	348,60	0,27	2,68
Promedio	6,73	6,61	24,23	25,06	435,11	451,36	1,31	2,78
Desviación Estándar	0,42	0,37	2,01	2,03	103,46	78,13	1,49	1,70

ND: No se determinó

Los valores promedio para el pH estuvieron entre 6,09 y 7,64 para el afluente y entre 5,82 y 6,94 para el efluente (Tabla 26).

La temperatura de los afluentes osciló entre 20,68 °C y 27,8 °C y entre 22,07 °C y 30,10 °C para el efluente, en promedio la temperatura fue mayor para el efluente en 0,83 °C, este aumento en la temperatura con respecto al afluente, se relaciona con la actividad bioquímica en el proceso de depuración y es una característica de los sistemas instalados con tanques plásticos de color negro que favorecen el incremento de la temperatura en su interior (Tabla 26).

La conductividad eléctrica es un indicador del contenido de sales o minerales disueltos en el agua, los resultados para este parámetro mostraron valores entre 259,6 μS/cm y 609,2 μS/cm para los afluentes y entre 342,2 μS/cm y 597,8 μS/cm para los efluentes (Tabla 26).

Tabla 27. Valores promedio para el análisis general de los parámetros físico-químicos turbidez, DQO, SST y ST del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.

Muestra	Turbidez (Un FTU)		DQO (ppm)		SST (ppm)		ST (ppm)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	66,00	43,00	1116,67	190,33	9,33	38,00	1251,33	334,33
2	132,33	32,00	448,00	447,33	963,33	197,33	915,00	355,33
3	66,00	88,67	204,33	142,00	113,33	248,67	696,33	529,67
4	175,33	30,00	916,67	642,33	266,00	228,00	663,00	312,00
5	66,00	22,67	868,00	433,33	511,33	202,67	949,67	370,67
6	190,00	28,67	616,67	562,00	734,67	172,00	727,33	355,33
7	113,67	24,00	498,33	70,00	406,00	132,67	610,33	274,00
8	132,33	20,00	627,33	382,33	298,67	40,67	677,67	295,00
9	139,00	30,00	1444,67	170,67	198,67	22,00	533,33	245,67
10	378,00	34,67	1284,33	170,67	575,33	41,33	901,33	316,00
11	43,00	13,00	680,00	168,00	236,00	38,00	601,00	321,00
12	21,00	33,67	861,33	539,33	85,33	33,33	637,00	469,33
13	60,67	18,67	546,33	90,67	47,33	6,00	497,33	267,00
14	80,50	13,50	585,00	69,50	157,00	10,00	478,50	266,00
15	55,33	10,33	446,67	88,33	47,33	8,67	252,00	196,00
Promedio	114,61	29,52	742,96	277,79	309,98	94,62	692,74	327,16
Desviación Estándar	88,05	18,74	338,76	200,80	278,80	90,54	238,35	84,6

Las aguas residuales generadas en las actividades domésticas ingresaron al sistema séptico con un valor promedio de turbiedad de 114,6 FTU y a la salida del sistema registraron un valor promedio de 29,5 FTU, esta propiedad está relacionada con la eliminación de sólidos suspendidos y compuestos orgánicos (Tabla 27).

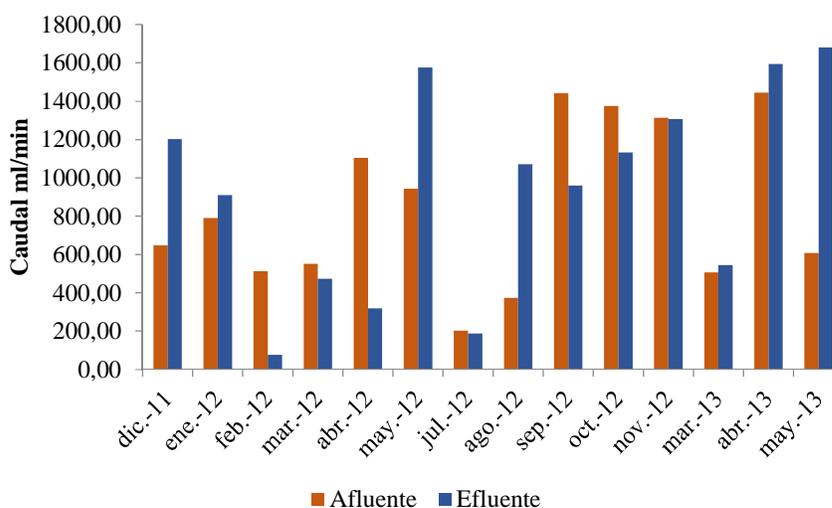


Figura 24. Valores promedio para el caudal volumétrico evaluado en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.

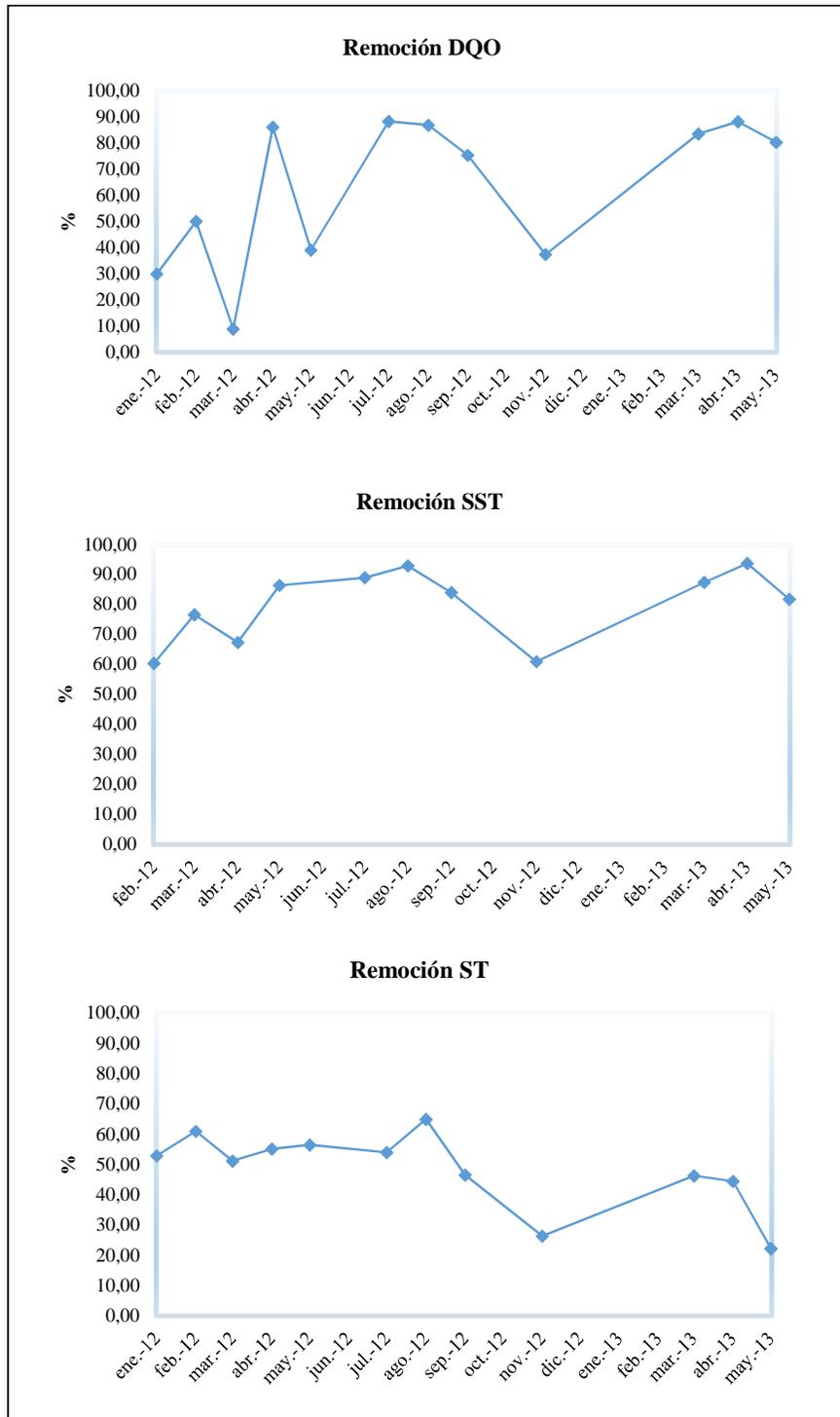


Figura 25. Remoción de la carga orgánica en el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

La capacidad de remoción de la carga orgánica generada en el tratamiento de aguas residuales domésticas a partir del desempeño del sistema de tratamiento anaerobio instalado, se evaluó en términos de DQO, SST y ST.

Para determinar la remoción de la carga orgánica en los sistemas se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \left(\frac{C_o - C_e}{C_o} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde C_o = Valor de la variable en el afluente; C_e = Valor de la variable en el efluente.

En la etapa inicial de operación del sistema de tratamiento, la remoción de la carga orgánica se caracterizó por presentar niveles bajos de remoción, como respuesta al acondicionamiento y a la poca actividad de los microorganismos que participan en este proceso (Figura 25).

En términos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), esta presentó niveles de remoción mínimos de 8,8 % durante la etapa de arranque y valores máximos del 88,2% en períodos de estabilización. Uno de los factores que más influye sobre el desempeño del sistema es la época, como se indicó inicialmente en el diagnóstico la época de mayor número de contribuyentes es la cosecha principal que sucede entre los meses de octubre y diciembre, lo que conlleva a una mayor generación de aguas residuales (Figura 25).

Tabla 28. Valores promedio para el análisis general de los parámetros microbiológicos coliformes totales y coliformes fecales del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Estación Central Naranjal.

Muestra	Coliformes Totales (UFC/ ml)		Coliformes Fecales (UFC/ ml)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	$1,0 \times 10^7$	$1,9 \times 10^6$	$1,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$
2	$7,0 \times 10^7$	$8,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^7$	$4,0 \times 10^5$
3	$2,5 \times 10^7$	$7,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$
4	$2,0 \times 10^8$	$3,0 \times 10^5$		
5	$3, \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$		
6	$2,5 \times 10^8$	$1,7 \times 10^6$	$1,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$
7	$4,0 \times 10^7$	$1,0 \times 10^5$		
Promedio	$8,9 \times 10^7$	$8,0 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	$1,7 \times 10^5$
Desviación estándar	$9,6 \times 10^7$	$7,3 \times 10^5$	$5,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$

Los sólidos suspendidos totales (SST) presentaron niveles de remoción promedio del 80,0 % con valores máximos del 93,6%. Los sólidos totales (ST) evaluados presentaron niveles de remoción promedio del 48,5 % con valores máximos del 65,0%. (Figura 25).

Los parámetros microbiológicos evaluados en las muestras tomadas durante la evaluación, en términos de unidades formadoras de colonias (UFC), presentaron remociones superiores al 99% para coliformes totales y fecales (Tabla 28).

Considerando que los sistemas de tratamiento de aguas residuales instalados dependen de la actividad biológica para su funcionamiento, los valores alcanzados para los principales parámetros, una vez se alcanzó la estabilización, dan cumplimiento a los límites estipulados en los Decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010 para la disposición de aguas residuales en el suelo o en cuerpos de agua. Lo anterior se evidencia en los últimos tres muestreos en los cuales los porcentajes de remoción de la DQO y de los SST fueron superiores al 80% (Tabla 26), aceptando la hipótesis de trabajo número 3 *“La implementación de Sistemas Sépticos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80%”, cuando el sistema alcanza el estado estable.*

Lo anterior se corrobora con los resultados de los análisis de laboratorio realizado al sistema séptico en diciembre del 2013 (anexo número 15) en el cual se determinaron porcentajes de remoción de DQO del 96,8 y de SST del 99,2.

8.2.4.2. Evaluación del desempeño de los FFA empacados con los diferentes medios filtrantes para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Los materiales utilizados como medios de soporte para los microorganismos que operan al interior de los filtros anaerobios, fueron evaluados de manera independiente por medio de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de aguas residuales afluentes y efluentes de cada unidad tratamiento del sistema.

Cada tratamiento estuvo compuesto de una trampa de grasas común para todos, un tanque séptico independiente y un filtro anaerobio independiente, empacado con un medio de soporte para los microorganismos.

Caudales.

Los caudales de entrada de las aguas residuales registrados en la fase inicial de operación del sistema, presentaron valores más altos para la unidad de tratamiento con trozos de guadua. En este caso fue necesario realizar adecuaciones en la recámara de distribución para lograr un caudal homogéneo a cada una de las unidades de tratamiento. En

promedio, los caudales del afluente registrados para los tratamientos con guadua, botellas y tusas de maíz fueron 1176 ml/min, 507 ml/min y 740 ml/min respectivamente; los caudales del efluente para los tratamientos en el mismo orden fueron 1106 ml/min, 952 ml/min y 532 ml/min respectivamente. En términos generales los valores de desviación estándar permiten identificar la variabilidad de los datos de caudal a la entrada y la salida del sistema, lo cual corresponde con la variación en el uso del agua para realizar las diferentes actividades domésticas (Tabla 29).

Tabla 29. Valores para el caudal volumétrico (ml/min) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	1113,59	1795,33	309,86	1099,40	522,39	711,21
2	1750,23	681,23	384,62	1139,58	208,83	45,19
3	1062,86	58,32	268,20	123,48	612,02	124,74
4	783,14	683,91	261,73	614,71	1612,33	258,38
5	253,72	342,55	1445,97	356,09	290,88	1577,06
6	2167,40	2684,28	371,31	464,96	141,99	140,46
7	196,09	96,59	268,06	326,35	20,69	518,38
8	535,23	1597,29	563,55	1098,66	1589,12	301,22
9	2127,97	1172,67	605,89	1406,18	1639,46	721,29
10	1581,75	1215,70	720,35	1986,21	291,58	288,85
11	654,34	743,24	576,02	599,42	1000,38	980,45
12	1887,45	2207,48	312,20	2212,58	952,38	721,79
Promedio	1176,14	1106,54	507,31	952,30	740,17	532,42
Desviación estándar	710,58	832,67	334,31	664,12	605,10	441,16

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

pH.

En la Tabla 30 se presentan los valores de pH obtenidos con los tres medios de soporte de los filtros anaerobios. Los resultados indican que la unidad de tratamiento con tusas de maíz, presentó una condición de acidificación durante la etapa inicial de operación del sistema, esta condición se dio posiblemente por la presencia de residuos de granos de maíz en el material de empaque utilizado, provocando la descomposición en el interior del filtro y afectando su desempeño. Las diferencias de pH promedio del efluente en la unidad de tratamiento con tusas, con relación a las unidades de tratamiento con guadua y botellas, fueron 0,67 y 0,92 unidades de pH respectivamente.

Tabla 30. Valores de pH (unidades) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	6,84	5,59	6,24	6,64	6,9	5,12
2	6,57	6,99	5,31	6,97	6,38	6,06
3	6,86	6,12	6,64	6,67	6,84	4,67
4	6,55	6,37	6,74	6,81	6,96	4,36
5	5,98	6,76	6,2	7,05	7,17	4,67
6	6,81	6,75	7,15	6,15	4,56	7,08
7	7,53	6,98	7,49	7,59	7,13	5,47
8	6,9	6,72	7,49	7,12	8,52	6,82
9	6,54	7,05	6,57	7,08	7,05	6,01
10	6,8	6,93	7,0	7,27	7,19	6,6
11	6,92	6,93	6,7	6,99	6,85	6,89
12	6,83	6,84	6,29	6,98	6,33	6,65
13	6,78	6,81	6,68	6,93	7,36	6,94
14	6,46	6,68	6,93	6,8	7,1	6,82
Promedio	6,74	6,68	6,67	6,93	6,88	6,01
Desviación estándar	0,34	0,40	0,57	0,33	0,84	0,97

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Los valores promedio del pH en el afluente estuvieron entre 6,67 y 6,88 y en el efluente estuvieron entre 6,01 (filtro empacado con tusas de maíz) y 6,93 (filtro empacada con trozos de botellas plásticas no retornables), para todos los casos cumpliendo con lo dispuesto en la norma ambiental vigente. Una de las características de los sistemas biológicos cuando estos alcanzan el estado estable, es el aumento de la alcalinidad y la capacidad para neutralizar ácidos, lo que permite un incremento en los valores de pH, en el caso específico del filtro empacado con tusas de maíz, la acidificación durante la etapa inicial de operación del sistema (arranque), fue una condición favorecida posiblemente por la presencia de residuos de granos de maíz que se fermentaron afectando la eficiencia del sistema, hasta alcanzar posteriormente su estabilidad.

Temperatura.

Las diferencias encontradas entre la temperatura promedio de los efluentes y afluentes fueron de 0,88 °C, 0,69 °C y 0,77 °C (Tabla 31), a favor de los efluentes, para las unidades de tratamiento con guadua, botellas y tusas de maíz respectivamente. Los incrementos en temperatura se deben al color negro de las unidades, contribuyendo a la actividad biológica en el interior de dichas unidades

Tabla 31. Valores para la temperatura (°C) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	26,45	26,95	27,45	27,00	26,75	26,65
2	21,80	22,00	22,00	22,00	21,90	22,20
3	22,05	22,05	20,95	22,20	21,40	22,30
4	24,15	23,60	23,20	23,70	25,50	27,00
5	22,80	26,20	23,60	25,50	26,10	25,00
6	23,30	23,90	22,75	23,45	23,30	23,45
7	25,55	26,55	24,70	25,70	23,80	25,80
8	20,20	23,20	21,20	23,50	20,65	23,39
9	26,25	26,70	26,90	25,65	27,05	26,05
10	25,60	25,90	25,10	25,25	26,40	24,30
11	23,87	24,87	23,87	24,97	24,33	25,07
12	23,85	24,90	23,90	24,90	23,60	25,05
13	26,07	27,17	25,90	26,80	26,23	27,33
14	29,40	29,70	23,00	23,50	26,20	30,50
Promedio	24,38	25,26	23,89	24,58	24,52	25,29
Desviación estándar	2,36	2,17	1,96	1,56	2,12	2,21

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Tabla 32. Valores para conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	279,80	269,00	460,60	251,40	209,10	296,40
2	221,70	419,00	383,80	388,80	190,20	357,10
3	293,10	348,50	336,00	356,70	149,80	354,90
4	310,10	378,10	312,10	434,50	491,80	433,30
5	422,10	486,90	518,30	573,10	682,70	455,10
6	462,40	285,30	513,60	465,00	461,70	656,90
7	482,00	516,40	211,00	511,90	408,30	449,50
8	333,10	384,00	865,60	394,50	629,00	398,80
9	508,10	516,50	555,10	491,40	391,60	476,30
10	339,60	344,50	419,10	597,20	416,20	403,10
11	467,70	516,70	417,40	611,50	558,40	665,40
12	432,10	523,60	411,40	618,50	571,60	499,40
13	481,00	330,60	549,70	474,90	671,10	514,20
14	427,50	343,90	311,70	325,20	403,70	340,50
Promedio	390,02	404,50	447,53	463,90	445,37	450,06
Desviación estándar	91,23	91,31	156,55	112,92	172,60	109,14

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Conductividad eléctrica.

La conductividad de las muestras analizadas en los diferentes medios, presentó los menores valores promedio para la unidad de tratamiento con guadua, con 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el afluente y 404 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el efluente. Estos valores registrados pueden asociarse con la presencia de sólidos, siendo menores en los efluentes obtenidos del filtro empacado con trozos de guadua (Tabla 32).

La conductividad es una medida indirecta de la presencia de sólidos disueltos, su mayor valor en los efluentes, es una consecuencia de la licuefacción del material suspendido que entra al sistema (por efecto de la actividad biológica) incrementando la fracción disuelta.

Oxígeno disuelto.

Los afluentes presentaron niveles de concentración de oxígeno disuelto bajos en las tres unidades evaluadas, con valores promedio en ppm de 1,46; 1,19 y 1,37 para las unidades de tratamiento con guadua, botellas y tusas de maíz respectivamente; los efluentes de estos sistemas en el mismo orden, alcanzaron concentraciones en ppm de 2,33; 2,04 y 3,15 respectivamente (Tabla 33).

Tabla 33. Valores para el oxígeno disuelto (ppm) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Efluente	Afluente
1	1,21	1,45	1,54	2,16	2,70	1,30
2	1,02	2,05	0,97	1,10	0,75	6,11
3	0,60	0,42	0,47	0,43	0,37	2,81
4	0,47	2,97	0,47	5,02	0,51	0,30
5	5,37	0,56	5,04	0,54	3,95	0,39
6	0,36	3,97	0,50	2,70	0,40	0,69
7	0,96	3,51	2,17	5,62	2,80	4,14
8	0,53	1,09	0,34	1,02	0,28	5,30
9	3,26	0,34	1,91	0,43	0,45	0,12
10	0,59	2,84	0,85	1,73	0,42	4,72
11	0,14	0,82	0,48	2,09	0,22	2,89
12	0,22	3,03	0,08	2,51	0,65	5,15
13	4,27	7,24	0,61	1,22	4,37	7,05
14	0,08	1,35			0,12	5,47
Promedio	1,46	2,33	1,19	2,04	1,37	3,15
Desviación estándar	1,70	1,93	1,32	1,65	1,51	2,43

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

La mayor oxigenación presentada en el filtro empacado con tusas de maíz, 35% por encima del valor mostrado en el efluente del filtro empacado con trozos de guadua y 54% por encima del valor mostrado en el efluente del filtro empacado con trozos de botellas no retornables, está influenciado por la mayor cantidad de unidades de empaque, que permite un mayor recorrido de las aguas al interior de los filtros.

Turbiedad.

Los valores promedio de turbidez del afluente en unidades (FTU) fueron de 144; 269 y 84 para las unidades de tratamiento con guadua, botellas y tusas de maíz respectivamente, los niveles alcanzados en su orden para los efluentes fueron de 26; 28 y 46 respectivamente (Tabla 34), evidenciando la capacidad de los filtros para la remoción de materia orgánica suspendida.

Los cambios marcados entre los valores de turbiedad del afluente con respecto al efluente, se relacionan con la conductividad eléctrica presente en las muestras, a medida que los sólidos suspendidos son removidos, los valores de turbiedad disminuyen, garantizando la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Tabla 34. Valores para la turbiedad (FTU) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Afluente	Efluente	Afluente
1	394,00	46,00	450,00	50,00	76,00	44,00
2	450,00	44,00	450,00	49,00	66,00	36,00
3	115,00	29,00	224,00	33,00	58,00	34,00
4	74,00	32,00	81,00	43,00	43,00	191,00
5	192,00	24,00	224,00	27,00	110,00	39,00
6	50,00	18,00	500,00	17,00	82,00	33,00
7	103,00	28,00	389,00	15,00	78,00	43,00
8	38,00	26,00	181,00	22,00	122,00	24,00
9	200,00	11,00	144,00	21,00	53,00	28,00
10	104,00	34,00	58,00	26,00	255,00	30,00
11	92,00	23,00	970,00	31,00	72,00	50,00
12	46,00	20,00	11,00	34,00	6,00	47,00
13	68,00	12,00	27,00	10,00	87,00	34,00
14	87,00	20,00	63,00	8,00	74,00	7,00
Promedio	143,79	26,21	269,43	27,57	84,43	45,71
Desviación estándar	127,70	10,40	263,05	13,36	56,46	43,19

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Tabla 35. Valores de color aparente (Un. Pt-Co) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Afluente	Efluente	Afluente
1	>500	252	>500	260	429	248
2	1150	236	550	271	600	196
3	F.R	176	F.R	193	331	189
4	413	184	411	264	249	F.R
5	500	129	500	155	500	212
6	275	98	500	83	430	185
7	532	160	500	97	445	244
8	179	103	1380	81	215	92
9	124	70	379	134	276	162
10	505	95	320	145	1330	169
11	557	128	509	183	389	278
12	260	111	63	186	34	255
13	377	57	466	49	156	200
14	295	49	323	51	37	80
Promedio	430,58	132,00	491,75	153,71	387,21	193,08
Desviación estándar	291,44	62,53	336,17	76,53	318,52	76,62

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Color.

Como se aprecia en las Tabla 35 y 36, los valores promedio de color aparente y color real en los afluentes con los tres medios evaluados indican la presencia de sustancias disueltas y materiales en suspensión en las muestras, que posteriormente son parcialmente removidas a través del sistema, evidenciado en los menores valores registrados en los efluentes de los filtros.

Tabla 36. Valores de color real (Un. Pt-Co) de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Afluente	Efluente	Afluente
1	92	60	56	68	38	63
2	200	67	500	94	1000	74
3	119	74	268	70	190	101
4	281	135	164	103	320	174
5	51	74	266	62	67	65
6	61	56	192	50	67	119
7	44	46	65	37	114	169
8	73	55	96	117	85	172
9	57	56	66	79	69	83
10	83	21	186	27	73	177
12	23	25	125	33	26	76
Promedio	98,55	60,82	180,36	67,27	186,27	115,73
Desviación estándar	76,82	30,10	130,25	29,41	282,53	48,09

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Demanda química de oxígeno (DQO).

En promedio, el filtro que presentó la mayor remoción de DQO fue el constituido con trozos de botellas no retornables. Para este caso la demanda química de oxígeno (DQO) presentó un valor promedio del afluente de 1225 ppm y de 196 ppm en el efluente (Tabla 37), estas cifras analizadas en términos de remoción de carga orgánica se ilustran en la Figura 26 con remociones del orden del 61% hasta el 98% en dicha unidad. Estos mayores valores se explican a raíz de que el medio filtrante no es orgánico y por lo tanto no contribuye con materia orgánica durante los procesos de estabilización del sistema, lo que si ocurre con los medios filtrantes constituidos por trozos de guadua y tusas de maíz, en los cuales los porcentajes de remoción de carga orgánica, considerando las etapas de inoculación, arranque y estabilización, son mucho menores.

Tal como se expresó cuando se evaluó la remoción de carga orgánica en el sistema séptico, que se realizó cuando el sistema llegó al estado estable, evidenciado en los tres últimos muestreos, cuyas eficiencias de remoción fueron consistentes y con valores que permitieron cumplir lo establecido en la normativa ambiental vigente, para el caso de la evaluación del desempeño de los tres filtros anaeróbicos se consideraron estos últimos tres muestreos.

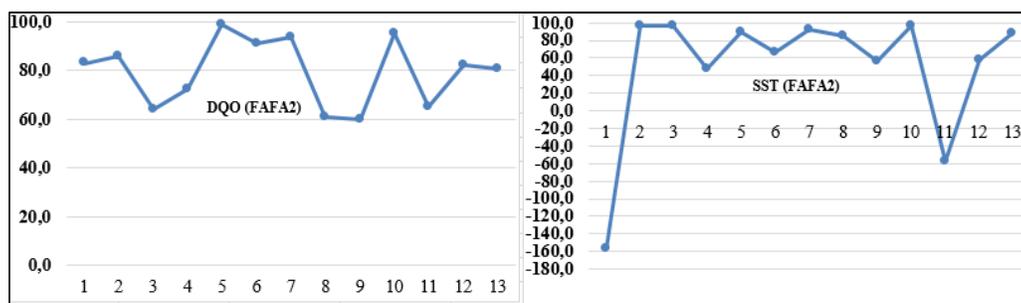


Figura 26. Remoción de la carga orgánica de aguas residuales domésticas en términos de DQO y SST en los medios filtrantes evaluados en los FAFA2.

Tabla 37. Valores para la DQO de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Afluente	Efluente	Afluente
1	1280,00	402,00	2082,00	355,00	1261,00	864,00
2	1000,00	186,00	1350,00	194,00	1000,00	191,00
3	602,00	314,00	312,00	112,00	294,00	874,00
4	166,00	172,00	1244,00	343,00	376,00	1510,00
5	1130,00	74,00	2058,00	26,00	342,00	1217,00
6	204,00	57,00	918,00	85,00	460,00	1370,00
7	472,00	231,00	970,00	64,00	358,00	80,00
8	167,00	66,00	852,00	335,00	240,00	738,00
9	790,00	74,00	350,00	141,00	3570,00	277,00
10	414,00	94,00	3140,00	152,00	346,00	229,00
11	367,00	131,00	1560,00	544,00	760,00	186,00
12	264,00	888,00	558,00	99,00	517,00	97,00
13	564,00	76,00	530,00	102,00	561,00	86,00
Promedio	570,77	212,69	1224,92	196,31	775,77	593,77
Desviación estándar	374,21	228,86	819,01	151,72	891,29	527,04

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Los valores promedio para la remoción de la DQO en las tres últimas evaluaciones mostraron valores de -28,5% (n=3; CV=-632%) para el filtro empacado con guadua, 76,0% (n=3; CV=12,5 %) para el filtro empacado con trozos de botella no retornables, 80,5% (n=3; CV=5,7%) para el filtro empacado con tusas de maíz (Tabla 38). El coeficiente de variación para la DQO del filtro empacado con guadua indica que sobre las muestras analizadas se presentó probablemente la eliminación de lodos por la actividad biológica, los cuales fueron conducidos por el efluente aumentando la carga orgánica de dicho filtro, esta situación no se encuentra asociada a problemas de

acidificación o ineficiencia biológica ya que de acuerdo con los valores de pH registrados en la Tabla 30, estos se encontraban en un rango neutro.

Las remociones para la DQO en el último muestreo (Tabla 38) mostraron valores de 86,5% para el filtro empacado con guadua, 80,8% para el filtro empacado con trozos de botella no retornables, 84,7% para el filtro empacado con tusas de maíz.

Tabla 38. Porcentajes de remoción DQO de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	Porcentaje de remoción DQO		
	FAFA1	FAFA2	FAFA3
1	68,59	82,95	31,48
2	81,40	85,63	80,90
3	47,84	64,10	-197,28
4	-3,61	72,43	-301,60
5	93,45	98,74	-255,85
6	72,06	90,74	-197,83
7	51,06	93,40	77,65
8	60,48	60,68	-207,50
9	90,63	59,71	92,24
10	77,29	95,16	33,82
11	64,31	65,13	75,53
12	-236,36	82,26	81,24
13	86,52	80,75	84,67
Promedio Estado estable	-28,51	76,05	80,48

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Para los rendimientos promedio de los últimos tres muestreos el filtro anaeróbico empacado con guadua presento problemas de desempeño. Para la comparación entre el filtro empacado con botellas no retornables y el empacado con tusas de maíz (eficiencias de remoción en términos de DQO 76,1 y 80,5%) se observa incremento en el rendimiento a favor del filtro empacado con tusas de maíz con un valor del 5,9%. Para el caso del último muestreo los rendimientos del filtro empacado con tusas de maíz estuvieron por debajo en 2,1 % respecto con los rendimientos obtenidos con el filtro empacado con trozos de guadua y 4,8% por encima de los rendimientos presentados por el filtro empacado con trozos de botellas no retornables, aceptando la hipótesis de trabajo número 4 “*La evaluación de los filtros anaeróbicos de flujo ascendente empacados con tusas de maíz, aseguran una eficiencia de remoción de carga orgánica, en términos de DQO y*

SST, similar a la obtenida con los medios de empaque compuestos de trozos de guadua y botellas plásticas no retornables, con un valor no menor al 5% respecto a las eficiencias mostradas por los otros dos filtros”.

El filtro empacado con tusas de maíz a diferencia de los filtros empacados con trozos de guadua y botellas plásticas, presentó eliminación de material particulado, incrementando los valores de carga orgánica en su interior; por la naturaleza biológica del material y debido a la acción de los microorganismos que participan en el proceso de depuración los valores de remoción de DQO se vieron afectados durante la fase de arranque del sistema.

Sólidos Suspendidos Totales (SST).

En promedio, el filtro que presentó la mayor remoción de SST fue el constituido con trozos de botellas no retornables. Para este caso los SST presentaron un valor promedio del afluente de 511 y de 63 ppm en el efluente (Tabla 39), estas cifras analizadas en términos de remoción de carga orgánica se ilustran en la Figura 26 con remociones promedio del orden del 87,7 %. Estos mayores valores se explican a raíz de que el medio filtrante no es orgánico y por lo tanto no contribuye con materia orgánica durante los procesos de estabilización del sistema, lo que si ocurre con los medios filtrantes constituidos por trozos de guadua y tusas de maíz, en los cuales los porcentajes de remoción de carga orgánica, considerando las etapas de inoculación, arranque y estabilización, son mucho menores.

Tal como se expresó cuando se evaluó la remoción de carga orgánica en el sistema séptico, que se realizó cuando el sistema llegó al estado estable, evidenciado en los tres últimos muestreos, cuyas eficiencias de remoción fueron consistentes y con valores que permitieron cumplir lo establecido en la normativa ambiental vigente, para el caso de la evaluación del desempeño de los tres filtros anaeróbicos se consideraron estos últimos tres muestreos.

Los valores promedio para la remoción de los SST en las tres últimas evaluaciones mostraron valores de 88,8% para el filtro empacado con guadua, 29,4 % para el filtro empacado con trozos de botella no retornables y 79,5 % para el filtro empacado con tusas de maíz (Tabla 40).

Tabla 39. Valores para los SST de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra SST	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Afluente	Efluente	Afluente
1	12,00	50,00	14,00	36,00	2,00	28,00
2	692,00	330,00	1694,00	66,00	504,00	196,00
3	64,00	34,00	240,00	8,00	36,00	704,00
4	318,00	14,00	208,00	110,00	272,00	560,00
5	218,00	156,00	1168,00	124,00	148,00	328,00
6	1210,00	44,00	880,00	298,00	114,00	174,00
7	96,00	40,00	588,00	42,00	534,00	316,00
8	680,00	84,00	186,00	28,00	30,00	10,00
9	146,00	18,00	60,00	26,00	390,00	22,00
10	166,00	36,00	1508,00	44,00	52,00	44,00
11	102,00	22,00	14,00	22,00	140,00	56,00
12	78,00	4,00	14,00	6,00	50,00	8,00
13	170,00	12,00	68,00	8,00	144,00	8,00
Promedio	304,00	64,92	510,92	62,92	185,85	188,77
Desviación estándar	348,85	89,05	604,07	79,72	182,32	228,89

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Tabla 40. Porcentajes de remoción SST de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra	Porcentaje de remoción SST		
	FAFA 1	FAFA 2	FAFA 3
1	-316,67	-157,14	-1300,00
2	52,31	96,10	61,11
3	46,88	96,67	-1855,56
4	95,60	47,12	-105,88
5	28,44	89,38	-121,62
6	96,36	66,14	-52,63
7	58,33	92,86	40,82
8	87,65	84,95	66,67
9	87,67	56,67	94,36
10	78,31	97,08	15,38
11	78,43	-57,14	60,00
12	94,87	57,14	84,00
13	92,94	88,24	94,44
Promedio Estado estable	88,75	29,41	79,48

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Las remociones para los SST en el último muestreo (Tabla 40) mostraron valores de 92,9% para el filtro empacado con guadua, 88,2% para el filtro empacado con trozos de botella no retornables, 94,4% para el filtro empacado con tusas de maíz.

Para los últimos tres muestreos (estado estable), la comparación entre los filtros muestra un decremento del 10,4% en los rendimientos de remoción de SST del filtro empacado con tusas de maíz respecto al filtro empacado con trozos de guadua y un incremento del 170% en los rendimientos de remoción de SST del filtro empacado con tusas de maíz respecto al filtro empacado con trozos de botellas no retornables.

Los niveles de remoción de SST negativos encontrados en las fases de inoculación y arranque del sistema en el filtro empacado con tusas de maíz se relaciona con lo indicado en el análisis de remoción de DQO.

Respecto al último muestreo realizado se presenta un incremento en las eficiencias de remoción de SST por parte del filtro empacado con tusas de maíz del 1,6% y del 7,0% respecto a las eficiencias de remoción presentadas por los filtros constituidos por trozos de guadua y botellas plásticas no retornables, respectivamente, aceptando la hipótesis de trabajo número 4: *“La evaluación de los filtros anaeróbicos de flujo ascendente empacados con tusas de maíz, aseguran una eficiencia de remoción de carga orgánica, en términos de DQO y SST, similar a la obtenida con los medios de empaque compuestos de trozos de guadua y botellas plásticas no retornables, con un valor no menor al 5% respecto a las eficiencias mostradas por los otros dos filtros”*.

Sólidos Totales (ST).

En la tabla 41 se presentan los valores promedio del contenido de sólidos totales a la entrada y salida de los diferentes filtros. Las mayores concentraciones de sólidos totales en los afluentes se encontraron para el filtro empacado con guadua (2158 ppm) y en este mismo filtro se encontraron las menores concentraciones de sólidos totales en las corrientes de salida (287 ppm), lo que muestra la eficiencia del filtro en guadua en la retención y sedimentación de sólidos.

Tabla 41. Valores para los ST de las aguas residuales domésticas tratadas en los filtros.

Muestra ST	FAFA1		FAFA2		FAFA3	
	Afluente	Efluente	Afluente	Afluente	Efluente	Afluente
1	1731,00	367,00	1586,00	326,00	437,00	310,00
2	686,00	312,00	1730,00	361,00	329,00	393,00
3	20276,00	122,00	295,00	207,00	148,00	1260,00
4	736,00	301,00	778,00	301,00	475,00	334,00
5	352,00	340,00	1967,00	370,00	530,00	402,00
6	473,00	397,00	1365,00	261,00	344,00	408,00
7	285,00	287,00	1112,00	226,00	434,00	309,00
8	1105,00	250,00	617,00	282,00	311,00	353,00
9	465,00	213,00	307,00	244,00	828,00	280,00
10	428,00	301,00	1907,00	294,00	369,00	353,00
11	372,00	293,00	1073,00	804,00	466,00	311,00
12	559,00	300,00	634,00	257,00	299,00	244,00
13	586,00	242,00	265,00	243,00	371,00	290,00
	2158,00	286,54	1048,92	321,23	410,85	403,62
Promedio						
Desviación estándar	5457,62	69,89	619,24	153,21	158,81	261,96

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

Tabla 42. Porcentaje de remoción sólidos totales.

Muestra	Porcentaje de remoción ST		
	FAFA 1	FAFA 2	FAFA 3
1	78,80	79,45	29,06
2	54,52	79,13	-19,45
3	99,40	29,83	-751,35
4	59,10	61,31	29,68
5	3,41	81,19	24,15
6	16,07	80,88	-18,60
7	-0,70	79,68	28,80
8	77,38	54,29	-13,50
9	54,19	20,52	66,18
10	29,67	84,58	4,34
11	21,24	25,07	33,26
12	46,33	59,46	18,39
13	58,70	8,30	21,83
Promedio Estado estable	42,09	30,95	24,50

FAFA1: Filtro anaerobio con trozos de guadua; **FAFA2:** Filtro anaerobio con trozos de botellas plásticas no retornable; **FAFA3:** Filtro anaerobio con tusas de maíz

En promedio las mejores remociones de sólidos totales durante todo el proceso de inoculación arranque y estabilización del sistema se presentaron para el filtro empacado

con trozos de guadua seguidas de filtro empacado con pedazos de botellas plásticas no retornables y por ultimo del filtro empacado con tusas de maíz (Tabla 42).

Para el estado estable la remoción de sólidos totales en el filtro empacado con guadua fue del 42,1 %, seguido del filtro empacado con trozos de botellas plásticas no retornables con el 31,0% y de filtro empacado con tusas de maíz con el 24,5 %. Lo anterior puede estar relacionado con la porosidad volumétrica de los filtros permitiendo mejores condiciones para la sedimentación de las partículas.

8.2.4.3. Evaluación del postratamiento de aguas residuales domésticas a partir de humedales artificiales de flujo subsuperficial

El propósito primordial del postratamiento de las aguas residuales domésticas es la eliminación de sólidos (tanto totales como suspendidos), dado que en los filtros anaerobios se presenta salida de sólidos en ocasiones no permiten el cumplimiento de la norma ambiental, además de la remoción de carga orgánica en términos de DQO, DBO y eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo. También el propósito es cumplir con la normativa con el fin de poder disponer en el suelo los efluentes provenientes de este tipo de tratamientos.

En el presente trabajo de investigación se alcanzó a realizar el diseño y la instalación de humedales artificiales de flujo subsuperficial y una evaluación para determinar la eficiencia del sistema en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Entre los parámetros evaluados a las corrientes de entrada y salida del humedal se tuvieron pH, temperatura y conductividad eléctrica, los cuales presentaron variaciones pequeñas entre los valores del afluente y el efluente de los humedales. El oxígeno disuelto incrementó su concentración desde un valor de 0,46 ppm en el afluente hasta 5,74 en el efluente, indicando la disminución de la contaminación dada por un menor consumo de oxígeno, además de la oxigenación que le proporcionan las macrofitas (especies de *Heliconia*) a la columna de agua.

La remoción de la carga orgánica con la implementación del postratamiento por medio de los humedales artificiales alcanzó en términos de DQO un valor del 74%, valor que supera la capacidad para la cual se realizó el diseño estimada para el 50%, en cuanto a

la remoción de la turbidez esta se relacionó con los niveles de remoción de los sólidos suspendidos totales con valores que superan el 80% (Tabla 43).

El análisis de los parámetros microbiológicos presenta reducciones de 2 escalas logarítmicas en los efluentes de coliformes totales y de 1 escala logarítmica en los efluentes de coliformes fecales (Tabla 43).

Tabla 43. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas en el sistema de humedales de la Estación Central Naranjal año 2013.

Parámetro	Tipo de muestra	
	Afluente	Efluente
Caudal (ml/min)	5468	1530
pH (Unidades)	7,1	6,83
Temperatura (°C)	26	26,1
Conductividad eléctrica (µS/cm)	634	527
Oxígeno disuelto (ppm)	0,46	5,74
Turbidez (Un. FTU)	52	6
DQO (ppm)	234	61
Sólidos totales (ppm)	399	345
Sólidos suspendidos totales (ppm)	58	12
Coliformes totales UFC/100ml)	4,1 x 10 ⁶	8,0 x 10 ⁴
Coliformes fecales (UFC/100ml)	5,0 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁴

Para corroborar la eficiencia del sistema de postratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes del sistema séptico, se presentan los resultados de los análisis realizados en Diciembre del 2013, por el laboratorio acreditado, a los efluentes del humedal (Anexo 15). En este análisis los valores para el efluente del humedal mostraron valores de 7,0 para el pH, 23,3 °C para la temperatura, 88 ppm para la DQO, 71 ppm para la DBO, 16 ppm para los SST y 516 µS/cm para la conductividad.

8.2.5. Análisis fisicoquímico de las aguas residuales del beneficio húmedo del café

Los análisis físico-químicos de las aguas residuales de café se realizaron durante las cosechas de 2011 hasta el año 2013, el sistema modular para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales generadas del proceso de beneficio del café opera principalmente en época de cosecha principal (entre los meses de octubre y diciembre), las actividades de mantenimiento y control que se tuvieron que realizar con mayor frecuencia fueron la limpieza de la trampa de pulpas, el retiro de sobrenadantes de los reactores hidrolíticos y el retiro de los sólidos retenidos en la recámara dosificadora.

En la tabla 44 se presenta los valores para los parámetros de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto para los afluentes y efluentes del sistema en época de cosecha.

Tabla 44. Valores de los parámetros físico-químicos pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto en las corrientes de entrada y salida del sistema modular de tratamiento de aguas del beneficio de café de la Estación Central Naranjal.

Muestra	pH (unid)		Temperatura (°C)		Conductividad (µS/cm)		Oxígeno disuelto (ppm)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	3,83	7,54	26,90	27,05	357,00	606,30	1,73	2,75
2	3,98	4,81	23,23	24,55	353,10	508,57	0,68	0,46
3	5,33	7,40	21,60	22,20	357,80	588,20	1,13	4,75
4	4,11	6,75	25,40	25,20	413,00	768,00	0,14	1,59
Promedio	4,31	6,63	24,28	24,75	370,23	617,77	0,92	2,39
Desviación estándar	0,69	1,26	2,34	2,00	28,59	108,78	0,67	1,83

pH.

El pH presentó un valor promedio de 4,31 para los afluentes y de 6,63 para los efluentes (Tabla 44), la alta acidez de estas aguas a la entrada del sistema es una característica del alto grado de contaminación generado en el proceso de beneficio húmedo del café, estas aguas luego de ser tratadas con el sistema muestran como resultado un incremento en los valores de pH debido a los cambios generados por los procesos biológicos en los que participan las bacterias acidogénicas y metanogénicas. El valor de este parámetro en las corrientes de salida permite cumplir con lo dispuesto en la normativa ambiental vigente.

Temperatura.

Aunque este parámetro presentó variaciones pequeñas en los promedios del afluente y el efluente, se evidencia un incremento en las temperaturas de las corrientes de salida cercano a 0,5 °C. Este aumento se debe al color negro de los tanques adaptados como reactores metanogénicos cuyo objetivo es permitir un incremento de temperatura en la columna de agua con el fin de contribuir a un incremento en la actividad microbiana que se traduce en mejores eficiencias de remoción de carga orgánica.

Para los afluentes la temperatura varió entre 21,6 °C y 26,9 °C y para los efluentes la variación estuvo entre 22,2 °C y 27,1 °C (Tabla 44).

Conductividad eléctrica.

Esta propiedad física determinada en las aguas residuales del beneficio del café presentó un incremento en el valor promedio, pasando de 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los afluentes a 617 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los efluentes. La conductividad representa la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y es un indicador del contenido de minerales en el agua, su mayor valor en el efluente, es una consecuencia de la licuefacción del material suspendido que entra al sistema (Tabla 44).

Oxígeno disuelto.

La mayor concentración de oxígeno disuelto en las muestras de los efluentes se relaciona con el buen desempeño del sistema en el tratamiento de las aguas mieles del café y la alta remoción de materia orgánica, escalando de un valor promedio de 0,92 ppm en el afluente hasta 2,39 ppm en el efluente (Tabla 44).

En la tabla 45 se presenta los valores para los parámetros de Turbiedad, DQO, SST y ST para los afluentes y efluentes del sistema en época de cosecha.

Tabla 45. Valores de los parámetros físico-químicos turbidez, DQO, SST, y ST en las aguas residuales del sistema modular de tratamiento anaerobio de aguas del beneficio de café de la Estación Central Naranjal.

Muestra	Turbiedad (Un FTU)		DQO (ppm)		SST (ppm)		ST (ppm)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
1	1910,00	955,00	4160,00	605,00	1940,00	420,00	1043,00	632,00
2	3820,00	382,00	2933,33	374,67	2080,00	229,33	718,67	678,00
3	4200,00	1350,00	48800,00	1490,00	5000,00	700,00	269,00	493,00
4	3150,00	700,00	27000,00	2030,00	3700,00	300,00	11269,00	2650,00
Promedio	3270,00	846,75	20723,33	1124,92	3180,00	412,33	3324,92	1113,25
Desviación estándar	1005,22	409,27	21744,91	771,50	1452,63	207,30	5305,56	1027,51

Turbiedad.

Los niveles de remoción de los valores que se presentan en la Tabla 45, fueron del orden del 50% al 90%, estos valores están relacionados con la remoción de los SST (Figura 27). Los valores promedio de turbiedad en los afluentes de la planta de tratamiento fueron del orden de 3270 FTU, y de 847 FTU para los efluentes del sistema de tratamiento (Tabla 45). Lo anterior permite determinar una eficiencia de remoción media del 74,1%, en términos de Turbiedad.

Demanda química de oxígeno (DQO).

Los valores promedio de DQO en los afluentes de la planta de tratamiento fueron del orden de 20723 ppm, lo que muestra el alto poder contaminante de las aguas provenientes del lavado del café. Los efluentes del sistema de tratamiento mostraron valores promedio del orden de 1125 ppm (Tabla 45). Lo anterior permite determinar una eficiencia de remoción media del 94,6%, en términos de DQO, que permiten cumplir con los requerimientos exigidos en la normativa ambiental vigente. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis de trabajo número 2 que estable: *“La implementación de Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio de las aguas residuales del café, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80%, cuando el sistema alcanza el estado estable”*

Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Los valores promedio de SST en los afluentes de la planta de tratamiento fueron del orden de 3180 ppm, y de 412 ppm para los efluentes del sistema de tratamiento (Tabla 45). Lo anterior permite determinar una eficiencia de remoción media del 87,0%, en términos de SST, que permiten cumplir con los requerimientos exigidos en la normativa ambiental vigente. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis de trabajo número 2 que estable: *“La implementación de Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio de las aguas residuales del café, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80%, cuando el sistema alcanza el estado estable”*

Sólidos Totales (ST).

A pesar de presentarse niveles de remoción variables durante los períodos de evaluación, se alcanzaron valores máximos de remoción del 76% (Figura 27). En la Tabla 45 se muestran los valores promedio de 3325 ppm a la entrada y 1113 ppm a la salida del sistema. Lo anterior permite determinar una eficiencia de remoción media del 66,5%, en términos de ST.

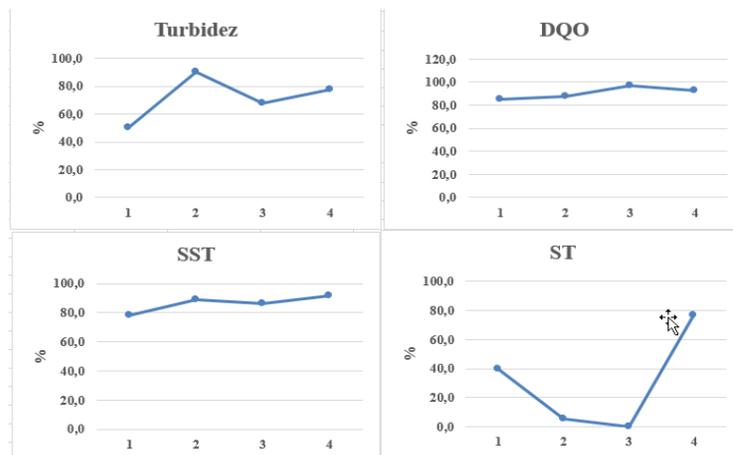


Figura 27. Remoción de la carga orgánica en términos de Turbidez, DQO, SST y ST en el sistema de tratamiento de aguas residuales del beneficio de café.

8.3. Evaluación de las acciones de capacitación

Capacitaciones

En total se realizaron 3 jornadas de capacitación colectiva con los empleados de la Estación, la primer actividad estuvo enfocada a la sensibilización sobre el uso eficiente del agua dando a conocer los indicadores de consumo que se generan en las diferentes actividades domésticas, los indicadores de consumo de agua en el proceso de beneficio húmedo del café y las alternativas para ahorro del líquido. En la segunda capacitación se trataron temas relacionados con el manejo de aguas residuales, los sistemas de tratamiento y los controles y mantenimiento de estos sistemas y para la tercera jornada se realizó una capacitación con funcionarios del acueducto, docentes y estudiantes de la Institución Educativa Naranjal, en esta actividad se mostró la evolución de los consumos de agua entre los años 2011 y 2013, los resultados de los análisis de calidad de aguas con el proceso de potabilización y las acciones enfocadas al ahorro.

Un total de 58 personas fueron capacitadas en estos aspectos y como comentarios expresados por los asistentes a las acciones de capacitación, se citan los siguientes:

-“Poder cuidar el medio ambiente es muy importante, y de esta manera manejando las aguas residuales lo estamos haciendo”.

-“Podemos disminuir el daño en nuestro entorno y colaborar para un mejor futuro”.

-“Nos enseñan a manejar las aguas para que sea un agua buena para consumir y esto lo podemos llevar a cabo en nuestras casas”.

-“Esta capacitación es de suma importancia no solo en nuestro trabajo, sino también para nuestros hogares porque debemos cada día cuidar y proteger el medio ambiente”.

-“Contribuye al beneficio del medio ambiente y se optimizan los recursos naturales en este caso el agua”.

-“Tomar más conciencia acerca del manejo de las aguas residuales en mi sitio de trabajo y poder así contribuir a la protección del medio ambiente”.

Campañas educativas

Los medios de difusión de la información relacionada con los programas de educación en uso eficiente de agua y manejo de aguas residuales y las campañas desarrolladas en estos aspectos se presentan en los Anexos 8, 9 y 10.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación se generó información que aporta a la identificación, implementación y evaluación de estrategias para el manejo integrado del agua en el cultivo del café y bajo las condiciones de la caficultura colombiana. Entre las estrategias evaluadas se destacan el diagnóstico sobre las necesidades y los usos del recurso hídrico (determinación de la oferta y la demanda), el uso eficiente del agua en los procesos agrícolas y domésticos, la implementación de sistemas de abastecimiento y tratamiento de aguas residuales y la sensibilización, capacitación y participación de las personas como unidades replicadoras del conocimiento en la gestión integral del recurso.

La etapa de diagnóstico representó el punto de partida para determinar las condiciones de riesgo frente a la disponibilidad del recurso hídrico y permitió el diseño de estrategias para disminuir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de adaptación en los procesos de uso del agua para actividades domésticas y para el beneficio húmedo del café.

El sistema de abastecimiento diseñado para la provisión de agua en las actividades agrícolas fue eficiente, aseguró la disponibilidad del recurso en períodos de mayor demanda y permitió cumplir con los requerimientos para la concesión de aguas otorgada por la Corporación Autónoma Regional (CORPOCALDAS).

La determinación de índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA) siguiendo la metodología condensada en la resolución 1575 del 2007 sobre la calidad del agua para consumo humano permitió calcular un valor de riesgo inferior a 5% en calidad del agua abastecida, valor que no indica riesgos para la salud de las personas.

La instalación de dispositivos ahorradores, la capacitación y uso eficiente del agua permitieron la reducción del consumo de agua para uso agrícola en un 63,7% y un ahorro del 62,86% en el volumen de agua utilizado para las actividades domésticas, aceptando la hipótesis número uno que establecía: *“Los procesos de capacitación aunados a la implementación de tecnologías limpias, permiten reducir el consumo de agua en la ECN en al menos un 20%”*.

Los valores alcanzados para los principales parámetros evaluados en las aguas residuales domésticas tratadas a partir del sistema séptico, una vez se alcanzó la estabilización, dan cumplimiento a los límites estipulados en los Decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010 para la disposición de aguas residuales en el suelo o en cuerpos de agua. Lo anterior se evidencia en los últimos tres muestreos en los cuales los porcentajes de remoción de la DQO y de los SST fueron superiores al 80%, aceptando la hipótesis de trabajo número 3 *“La implementación de Sistemas Sépticos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80% cuando el sistema alcanza el estado estable”*.

Para el último muestreo realizado en los FAFA, los rendimientos del filtro empacado con tusas de maíz en términos de remoción de DQO, estuvieron por debajo en 2,1 % respecto con los rendimientos obtenidos con el filtro empacado con trozos de guadua y 4,8% por encima de los rendimientos presentados por el filtro empacado con trozos de botellas no retornables, aceptando la hipótesis de trabajo número 4 *“La evaluación de los filtros anaeróbicos de flujo ascendente empacados con tusas de maíz, aseguran una eficiencia de remoción de carga orgánica, en términos de DQO y SST, similar a la obtenida con los medios de empaque compuestos de trozos de guadua y botellas plásticas no retornables, con un valor no menor al 5% respecto a las eficiencias mostradas por los otros dos filtros*

Desde el punto de vista técnico y económico es posible utilizar como materiales de empaque de los filtros anaerobios (FAFA), trozos de guadua, trozos de botellas plásticas no retornables, y tusas de maíz. Estos medios ofrecen una buena área superficial para el desarrollo y establecimiento de los microorganismos responsables del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas.

Las tusas de maíz como medio de empaque presentaron valores de superficie específica del orden de $172 \text{ m}^2/\text{m}^3$ superior a las presentadas por los trozos de guadua $48,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ y por los trozos de botellas plásticas no retornables $51,67 \text{ m}^2/\text{m}^3$. La porosidad volumétrica de los reactores empacado con tusas de maíz fue del 55,6% comparado con los reactores empacados con trozos de guadua 77,8% y con los reactores empacados con trozos de botellas no retornables 98,7%.

Las tusas de maíz presentan como ventaja su aprovechamiento por ser un residuo de la cosecha del cultivo de maíz y por estar este cultivo asociado al café (intercalado), lo que

no genera costos adicionales para el llenado de los filtros anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA), comparado con los trozos de guadua, que implican el corte y troceado de la misma, y comparada con las botellas plásticas no retornables que implica su adquisición y troceado.

La remoción de la carga orgánica de las aguas residuales domésticas con la implementación del postratamiento por medio de los humedales artificiales alcanzó en términos de DQO un valor del 74%, valor que supera la capacidad para la cual se realizó el diseño estimada para el 50%.

Con el SMTA para el tratamiento de aguas residuales del café, se logró una eficiencia de remoción media del 94,6%, en términos de DQO y una eficiencia de remoción media del 87,0%, en términos de SST, que permiten cumplir con los requerimientos exigidos en la normativa ambiental vigente. Estos resultados permitieron aceptar la hipótesis de trabajo número 2 que establece: *“La implementación de Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio de las aguas residuales del café, permiten reducir la carga orgánica, en términos de DQO y SST en al menos el 80%, cuando el sistema alcanza el estado estable”*

La sensibilización y capacitación en la gestión integral del recurso hídrico es un componente primordial entre las estrategias para proteger, preservar y cuidar el recurso, y se constituye en un medio de acercamiento de las personas con la responsabilidad que cada uno tiene desde el desempeño de sus funciones.

Esta investigación permite demostrar como la capacidad de interacción de los productores cafeteros con su ecosistema contribuye al manejo integrado del recurso hídrico, a través de la aplicación de los controles operacionales a los sistemas de abastecimiento y saneamiento y de la capacitación permanente para asegurar el desarrollo de capacidades entorno a la sostenibilidad de los recursos naturales.

RECOMENDACIONES

Continuar con la identificación, implementación y evaluación de estrategias para promover el manejo integrado del agua en las Estaciones Experimentales de Cenicafé y desde estas localidades mostrar las tecnologías, procedimientos y estrategias desarrolladas a los caficultores colombianos, para que las implementen en sus predios.

Continuar con el seguimiento y evaluación permanente de las estrategias para uso eficiente del agua en las diferentes actividades domésticas y agrícolas con el fin de reducir la vulnerabilidad de la escasez del recurso hídrico para estos usos.

Continuar con la capacitación permanente a los empleados de las estaciones experimentales en la gestión integral del recurso hídrico con el fin de contribuir a disminuir el riesgo de escasez del agua para uso agrícola y doméstico.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., G., CORTINA G., H., & POSADA S., H. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avances técnicos N° 337.
- ÁLVAREZ G., J. (1991). Despulpado de café sin agua. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avances Técnicos Cenicafé N° 164.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. (A. W. APHA, Ed.) Madrid (España): Ediciones Díaz de Santos. 1914 p.
- BALDIÓN R., J., & GUZMÁN M., O. (1998). El clima de la estación central Naranjal en Chinchiná. (Cenicafé, Ed.) Revista Cenicafé, 49 (4), 290-307.
- BENAVIDES M., P., & ARÉVALO M., H. (2002). Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. (Cenicafé, Ed.) Cenicafé, 53 (1), 39-48.
- CENICAFÉ. (2013). Determinación del consumo específico de agua para el lavado del café con tecnología Deslim, en proceso con fermentación natural. Cenicafé. Chinchiná: Informe anual de actividades Cenicafé 2013.
- CHAVARRO, P. M., GARCÍA, G. A., GARCÍA, P. J., PRIETO, R. A., & ULLOA, C. A. (2008). Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al Cambio Climático. Naciones Unidas/Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial/Universidad Nacional de Colombia.
- CONAGUA, C. N. (16 de Agosto de 2013). Agua en el mundo. Obtenido de <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=37>
- CUBILLOS, A. (s.f.). Parámetros y características de las aguas residuales. (C. p. ambiente, Ed.) Recuperado el Febrero de 2014, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>
- DÁVILA A., M., & RAMÍREZ G., C. (1996). Lombricultura en pulpa de café. Chinchiná: Avances técnicos Cenicafé N° 255.
- FAO, O. d. (2014). Aquastat. (FAO, Editor) Recuperado el 31 de Enero de 2014, de Sistema de información global sobre el agua y la agricultura de la FAO: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/wrs/readPdf.html?f=WRS_COL_es.pdf
- FARFÁN V., F., & JARAMILLO R., A. (2008). Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. (Cenicafé, Ed.) Cenicafé, 59 (1), 39-54.
- FEDERACAFE, F. N. (2014). El café de Colombia. Caficultura colombiana. La zona cafetera colombiana. Recuperado el Febrero de 2014, de Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/
- FERNÁNDEZ, J. (2001). Filtro autoflotante de macrofitas para la depuración de aguas residuales (Universidad de Salamanca ed.). El agua, un bien para todos : conservación, recuperación y usos.
- GÓMEZ G., L., CABALLERO R., A., & BALDIÓN R., J. (1991). Ecotopos cafeteros de Colombia. Santa fé de Bogotá: Fedración Nacional de Cafeteros de Colombia.

- GWP, A. M. (Septiembre de 2000). Manejo integrado de recursos hídricos. Recuperado el 26 de Julio de 2013, de Asociación Mundial para el Agua (GWP): http://www.cap-net-esp.org/water_management_tool/document/43/manejo_integrado.pdf
- HERNÁNDEZ R., H., & LONDOÑO S., R. J. (1988). Análisis químico de algunos de los principales componentes de las aguas residuales del beneficio del café. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Farmacia (Tesis: Químico Farmacéutico).
- HINCAPIÉ G., E., & RAMÍREZ O., F. (2010). Riesgo a la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avances técnicos N°. 400.
- HINCAPIÉ G., E., & SALAZAR G., L. F. (2007). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Chinchiná: Avances técnicos N° 359.
- IAvH.; IDEAM.; IIAP.; INVEMAR.; SINCHI. (2011). Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables 2010. (IDEAM, Ed.) Bogotá D.C., Colombia: Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, IDEAM, 384 p. Recuperado el Febrero de 2014, de Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales : <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/022166/PARTE1.pdf>
- IPCC, G. I. (2007). (IPCC, Ed.) Recuperado el 10 de Febrero de 2014, de Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- IRC, I. W. (2006). La gestión integrada de los recursos hídricos y el subsector de agua y saneamiento doméstico. Recuperado el Febrero de 2014, de www.irc.nl/content/download/24744/276391/.../TOP9_IWRM_S_06.pdf
- JARAMILLO R., A. (2005). Clima andino y café en Colombia. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Cenicafé.
- JARAMILLO R., A., & ARCILA P., J. (2009b). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de El Niño y su efecto en la caficultura (Cenicafé ed.). Chinchiná: Avance técnico 390.
- JARAMILLO, R. A., & ARCILA P., J. (2009a). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avance técnico 389.
- JARAMILLO, R. A., LARSEN, L., & ARCILA P., J. (1992). Un modelo para evaluar la influencia del clima en la producción de café. Cenicafé, 43 (01), 22-26.
- LÓPEZ S., J., VILLALBA G., D., SALAZAR G., L., & CÁRDENA S., O. (2010). Manejo integrado de arvenses en el cultivo de café : Nueva alternativa de control químico. : CENICAFE, 2011. 8 p. (Avances Técnicos No. 417). (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avances Técnicos No. 417.
- MATUK V., V., PUERTA Q., G., & RODRÍGUEZ V., N. (1997). El impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo de café. (Cenicafé, Ed.) Cenicafé, 48 (4), 234-252.
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2012). Decreto N° 2667 de 2012. Bogotá D.C.: 15 p.
- OROZCO J., L., & GIRALDO G., E. (1986). Tratamiento anaerobio de las aguas residuales. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.

- OROZCO R., P. A. (2003). Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogénico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café. Manizales (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.: 90 p. (Tesis: Ingeniería Química).
- PALMA R., M. I., & GONZÁLEZ F., R. (1989). Algunos cambios químicos que sufren las aguas residuales del beneficio del café por almacenamiento. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Farmacia. (Tesis: Químico Farmacéutico).
- PEÑUELA M., A., PABÓN U., J., & OLIVEROS T., C. (2011). Enzimas, una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucílago del café. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avance técnico N° 406.
- PUERTA Q., G. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avance técnico N° 402.
- RAMÍREZ B., V., ARCILA P., J., JARAMILLO R., A., RENDÓN S., J., CUESTA G., G., GARCÍA L., J., . . . BAUTE B., J. (2011). Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. Chinchiná: Avances técnicos N° 407.
- RAMÍREZ O., F., & HINCAPIÉ G., E. (2009). Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas. Cenicafé, 60(2), 173-189.
- REED, S. C., CRITES, R., & MIDDLEBROOKS, E. J. (1995). Natural Systems for Waste Management and Treatment. Inc. USA.: Second Edition. McGraw-Hill 433 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (1973). Congreso de Colombia. Ley 23 de 1973. Santafé de Bogotá (Colombia). Congreso de Colombia. 3 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (1974). Ministerio de agricultura. Decreto 2811 de 1974. Santafé de Bogotá (Colombia). Ministerio de agricultura. 16 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (1984). Ministerio de Salud. Decreto número 1594 de 1984. Santafé de Bogotá (Colombia). Ministerio de Salud. 55 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (1993). Congreso de Colombia. Ley 99 de 1993. . Santafé de Bogotá (Colombia). Congreso de Colombia. 59 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (1997). Congreso de Colombia. Ley 373 de 1997. Santafé de Bogotá (Colombia). Congreso de Colombia. 6 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2010). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Santafé de Bogotá (Colombia). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 29 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2012). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 2667 de 2012. . Santafé de Bogotá (Colombia). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 15 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2013). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto número 953 de 2013. Santafé de Bogotá (Colombia). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 8 p.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, M. D. (Noviembre de 2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000, Título E, Tratamiento de Aguas Residuales. (M. d. Económico, Ed.) Bogotá: República de Colombia. Recuperado el Enero de 2013, de <https://drive.google.com/folderview?id=0B7RTcZ8akKn5OGdnM2JDNGtLZDQ&usp=sharing>
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, M. d. (2000). Reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico RAS 2000, Título B, Sistemas de acueducto. (M. d. Económico, Ed.) Bogotá:

Ministerio de Desarrollo Económico. Recuperado el Enero de 2013, de <https://drive.google.com/folderview?id=0B7RTcZ8akKn5OGdnM2JDNGtLZDQ&usp=sharing>

- REPÚBLICA DE COLOMBIA, M. D. (2002). Guía de gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, M. d. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. (Minambiente, Ed.) Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado el Febrero de 2014, de Política nacional para la gestión del recurso hídrico: http://www.minambiente.gov.co/documentos/5774_240610_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, M. d. (2012). Experiencias significativas de participación ciudadana y conocimiento tradicional en la gestión ambiental. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA, M. D. (2014). Recuperado el Febrero de 2014, de República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=909&conID=3975>
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, V. y. (2007). Resolución N° 2115. Bogotá (Colombia).
- RIVERA P, J. (2011). Sistemas de drenaje con filtros vivos para la estabilización y restauración de movimientos masales en zonas de ladera. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avances Técnicos No. 413.
- RIVERA P., J. (2001). Manejo y estabilización de taludes en zonas de ladera mediante tratamientos de bioingeniería. Chinchiná: Avances técnicos N° 291.
- RIVERA P., J. (2002). Construcción de trinchos vivos para la conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. (Cenicafé, Ed.) Avances técnicos 296.
- ROA M., G., OLIVEROS T., C., ÁLVAREZ G., J., RAMÍREZ G., C., SANZ U., J., DÁVLILA A., M., . . . RODRÍGUEZ V., N. (1999). Beneficio Ecológico del café. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Cenicafé.
- ROA M., G., OLIVEROS T., C., SANZ U., J., ÁLVAREZ G., J., RAMIREZ G., C., & ÁLVAREZ H., J. (1997). Desarrollo de la tecnología Becolsub para el beneficio ecológico del café. (CENICAFÉ, Ed.) Chinchiná: (Avances Técnicos N°. 238).
- RODRÍGUEZ V., N. (2007). Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo CIMAD. (U. d. Manizales, Ed.) Recuperado el 25 de Enero de 2013, de Sistemas de tratamiento de aguas: http://cedum.umanizales.edu.co/mds/modulo5/unidad3/pdf/Sistemas_tratamiento.pdf
- RODRÍGUEZ V., N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de aguas residuales del café utilizando plantas macrófitas acuáticas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- RODRÍGUEZ V., N., LÓPEZ N., J., QUINTERO Y., L., & CASTAÑEDA., S. (2012). Gestión integral del recurso hídrico. Fundación Manuel Mejía.
- SADEGHIAN K., S. M. (2007). Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha. Chinchiná: Avances técnicos Cenicafé N° 364.
- SALAZAR G., L. F., & HINCAPÍE G., E. (2010). Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras. Chinchiná: Avances técnicos N° 401.

- SANZ U., J., OLIVEROS T., C., RAMÍREZ G., C., LÓPEZ P., U., & VELÁSQUEZ H., J. (2011). Controle los flujos de café y agua en el módulo Becolsub. (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Avances Técnicos N°. 405.
- SIAC, S. d. (2014). Sistema de Información Ambiental de Colombia. Recuperado el Febrero de 2014, de https://www.siac.gov.co/categoria/Subportal_Agua.aspx
- SOLANES, M. (1998). Manejo integrado del recurso agua, con la perspectiva de los principios de Dublin. Revista de la CEPAL, Número 64. 23 p.
- SOLÉ G., M. (2014). Tecnologías para ahorrar agua. Obtenido de Revista la era ecológica, Fundación la era Agrícola: http://www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?ahorrar_agua.htm~mainFrame
- STANLEY, T. D. (1982). Plantas acuáticas. Informe Australiano sobre malezas de importancia mundial. Agricultura de las Américas 31(6).
- U.S.EPA, E. P. (2000a). Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. Humedales de flujo libre superficial. Washington, D.C: EPA 832 –F00 – 024.
- U.S.EPA, E. P. (2000b). Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. Humedales de flujo subsuperficial. Washington, D.C.: EPA 832 –F –00 – 023.
- ZAMBRANO F., D., ISAZA H., J., RODRÍGUEZ V., N., & LÓPEZ P., U. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Cenicafé: Boletín Técnico N°. 20.
- ZAMBRANO F., D., RODRÍGUEZ V., N., LÓPEZ P., U., OROZCO R., P., & ZAMBRANO G., A. (2006). Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. (CENICAFÉ, Ed.) Chinchiná: (Boletín Técnico N° 29).
- ZAMBRANO F., D., RODRÍGUEZ V., N., & LÓPEZ P., U. (2011). Construya su tanque tina para la fermentación y el lavado del café. En Cenicafé (Ed.). Chinchiná: Avance Técnico número 408.
- ZAMBRANO F., D., RODRÍGUEZ V., N., LÓPEZ P., U., & ZAMBRANO G., A. (2010). Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles. Chinchiná: Cenicafé.
- ZAMBRANO F., D., RODRÍGUEZ V., N., LÓPEZ P., U., OROZCO R., P., & ZAMBRANO G., A. (2006). Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café (Cenicafé ed.). (Cenicafé, Ed.) Chinchiná: Boletín técnico N°29.

ANEXOS

Anexo 1. Formato para el control y mantenimiento del sistema de captación de agua.

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA	CODIGO: FE-AM-F-0029
	MEDICIÓN Y MANTENIMIENTO CAPTACIÓN DE AGUA	FECHA: 14/09/2011 VERSION: 1

SEDE: _____

DIA / MES / AÑO	Unidad de mantenimiento	Descripción del mantenimiento realizado

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA	CODIGO: FE-AM-F-0029
	MEDICIÓN Y MANTENIMIENTO CAPTACIÓN DE AGUA	FECHA: 14/09/2011 VERSION: 1

SEDE: _____

Punto o sitio de lectura: _____

No.	DIA / MES / AÑO	TIEMPO DE OPERACIÓN EN MINUTOS	CANTIDAD DE AGUA (Metros cúbicos)
1			
2			

Anexo 2. Formato para el control y mantenimiento del sistema séptico

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA			Código: FE-AM-F-0018
	CONTROL MANTENIMIENTO SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			Fecha: 09/11/2011
				Versión:2
TIPO DE PLANTA _____				
MANTENIMIENTO DIARIO				
MANTENIMIENTO REALIZADO POR _____				
FECHA _____				
ITEM EVALUADO	DETALLE			OBSERVACIONES
Limpieza de las bocas de las tuberías	SI _____	NO _____	NO APLICA	
Eliminación de elementos flotantes	SI _____	NO _____	NO APLICA	
Limpieza de los vertederos.	SI _____	NO _____	NO APLICA	
RECOMENDACIONES:				

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA			Código: FE-AM-F-0018
	CONTROL MANTENIMIENTO SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			Fecha: 09/11/2011
				Versión:2
TIPO DE PLANTA _____				
MANTENIMIENTO SEMANAL				
MANTENIMIENTO REALIZADO POR _____				
FECHA _____				
ITEM EVALUADO	DETALLE			OBSERVACIONES
Limpieza de la trampa de grasas	SI _____	NO _____	NO APLICA	
RECOMENDACIONES:				

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA			Código: FE-AM-F-0018	
	CONTROL MANTENIMIENTO SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			Fecha: 09/11/2011	
				Versión:2	
TIPO DE PLANTA _____					
MANTENIMIENTO MENSUAL, CUATRIMESTRAL Y ANUAL					
MANTENIMIENTO REALIZADO POR _____					
ITEM EVALUADO	FECHA	DETALLE			OBSERVACIONES
Retiro de lodos del tanque séptico ó de la zona de lodos		SI _____	NO _____	NO APLICA	
Mantenimiento del filtro anaerobio (anual)		SI _____	NO _____	NO APLICA	
RECOMENDACIONES:					

Anexo 3. Formato para el control y mantenimiento del sistema de tratamiento anaerobio de aguas mieles de café.

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA		Código: FE-AM-F-0018		
	CONTROL MANTENIMIENTO SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		Fecha: 09/11/2011		
			Versión: 2		
TIPO DE PLANTA _____					
MANTENIMIENTO REALIZADO POR _____					
ITEM EVALUADO	FECHA	DETALLE			OBSERVACIONES
Inspección de flujo en cada una de las unidades de la planta de tratamiento (diariamente en funcionamiento)		SI_____	NO____	NO APLICA _____	
Limpieza de las bocas de las tuberías (diariamente en funcionamiento)		SI_____	NO____	NO APLICA _____	
Limpieza de la trampa de pulpas (semanal)		SI_____	NO____	NO APLICA _____	
Limpieza de las recámaras dosificadoras (semanal)		SI_____	NO____	NO APLICA _____	
Mantenimiento de los reactores hidrolíticos (al final de la cosecha)		SI_____	NO____	NO APLICA _____	
Mantenimiento de las recámaras dosificadoras (al final de la cosecha)		SI_____	NO____	NO APLICA _____	
RECOMENDACIONES:					

Anexo 4. Formato para el análisis fisicoquímico y microbiológico de aguas residuales.

		FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA										Código: FE-AM-F-0023		
		ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										Fecha: 13/07/2011		
												Versión:1		
UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:														
HOJA 1														
Fecha	Responsable	Nombre de la Muestra	Descripción Sitio de Muestreo	pH (Unidades de pH)	Temperatura (°C)	Caudal Volumétrico.			Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (ppm)	turbidez	DQO (ppm)		
						Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Valor				Lectura	Factor de Dilución	Valor

		FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA										Código: FE-AM-F-0023			
		ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										Fecha: 13/07/2011			
												Versión:1			
UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:															
HOJA 2															
Fecha	Responsable	Nombre de la Muestra	SST (ppm)				SSED (mL/L)	Color (unidades Pt-Co)		ST (ppm)				Coliformos Totales (UFC/ml)	Coliformos Específicos (UFC/ml)
			Peso Inicial	Vol. Muestra	Peso Final	Valor		Color Aparente	Color Real	Peso Inicial Capsula	Vol. Muestra	Peso Final Capsula	Valor		

Anexo 5. Resolución # 677 de diciembre de 2010, Corpocaldas.

RESOLUCIÓN NÚMERO 677



Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales y el correspondiente permiso de vertimientos

a los residuos sólidos y líquidos generados en el beneficio de café y el sistema de tratamiento de las aguas mieles resultantes de ésta actividad.

Que por mandato del artículo 88 del Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, sólo puede hacerse uso de las aguas en virtud de concesión.

Que el artículo 64 del Decreto 1541 de 1978 establece que para hacer uso de una concesión de aguas se requiere que las respectivas obras hidráulicas hayan sido aprobadas por la autoridad ambiental.

Que el artículo 199 del Decreto 1541 de 1978 ordena que toda obra de captación de aguas deberá estar provista de aparatos de medición u otros elementos que permitan en cualquier momento conocer tanto la cantidad derivada como la consumida.

Que la Ley 373 de 1997 consagra obligación a cargo de los usuarios del recurso hídrico de adoptar medidas tendientes al uso eficiente y ahorro del agua.

Que el artículo 145 del Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente establece que cuando las aguas residuales no puedan llevarse a la red alcantarillado público, se tiene que con contar con sistemas aprobados para su tratamiento.

Que el artículo 41 del Decreto 3930 de 2010 dispone que se requiere de permiso para disponer vertimientos a las aguas superficiales o al suelo.

Que de acuerdo con el artículo 38 del Decreto 2811 de 1974, por razón del volumen o de la calidad de los residuos sólidos, se podrá imponer a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso.

Que según lo dispuesto en el artículo 96 de la Ley 633 de 2000, los solicitantes y titulares de permisos y autorizaciones ambientales deben cancelar los servicios de evaluación y seguimiento de los mismos. La usuaria canceló el servicio de evaluación el 04 de junio de 2010.

Que el numeral 9º del artículo 31 de la Ley 99 de 1993, asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales la función de otorgar concesiones para el uso de las aguas superficiales y subterráneas.

En consecuencia, este despacho

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: Otorgar concesión de aguas superficiales a favor de la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, con nit 860007538-2, para derivar de la quebrada El Naranjal, en el sitio localizado en las coordenadas X = 1158389 Y = 1041496, un caudal de 0,144 l/s para el predio

Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales y el correspondiente permiso de vertimientos

denominado Estación Central Naranjal, localizado en la vereda Quebra de Naranjal del municipio de Chinchiná, discriminados así: 0,042 l/s para consumo doméstico, 0,069 l/s para beneficio de café y 0,033 l/s para riego.

ARTÍCULO SEGUNDO: Aprobar las obras construidas para la captación, conducción y almacenamiento del caudal concedido.

PARÁGRAFO: Lo dispuesto en este artículo no confiere servidumbre sobre los predios afectados por las obras.

ARTÍCULO TERCERO: El concesionario queda obligado a:

- a) Instalar un aparato para la medición del caudal, dentro de los dos meses siguientes a la ejecutoria de esta providencia, y reportar cada seis meses los registros de los aforos mensuales del caudal derivado.
- b) Garantizar el cumplimiento de las normas de calidad fijadas para los usos autorizados.
- c) Preservar y vigilar las áreas forestales protectoras de las fuentes de agua.
- d) Adoptar medidas de uso eficiente y ahorro del agua, tales como el control permanente de fugas, la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua y el uso de aguas lluvias, si ello fuera económica y técnicamente viable.

ARTÍCULO CUARTO: El otorgamiento de la concesión no será obstáculo para que con posterioridad se reglamente el uso de la corriente, ni para que se modifiquen las condiciones de la misma por razones de conveniencia pública, como la necesidad de cambiar el orden de prelación en los usos o el acaecimiento de hechos que alteren las condiciones ambientales.

ARTÍCULO QUINTO: Serán causales de caducidad de la concesión:

- a) La cesión del derecho al uso del recurso sin autorización previa.
- b) El destino de la concesión para uso diferente al señalado.
- c) El incumplimiento, por parte del concesionario, de las condiciones fijadas.
- d) La imposición al concesionario de sanción de multa en dos oportunidades, por infracciones de las normas protectoras del recurso hídrico.
- e) No usar la concesión durante dos años.
- f) La disminución progresiva o el agotamiento del recurso.

PARÁGRAFO: Antes de la declaratoria de caducidad, se notificará personalmente al concesionario la causal aducida quien dispondrá de un término de 15 días hábiles para subsanar la falta o formular su defensa.

ARTÍCULO SEXTO: Aprobar los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de las oficinas y del sector agroquímicos, y de aguas mieles provenientes del beneficio de café, existentes en el predio Estación Central

Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales y el correspondiente permiso de vertimientos

Naranjal, localizado en la vereda Quebra de Naranjal del municipio de Chinchiná, descritos en la parte motiva de la presente providencia.

El sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas existente en el cuartel de trabajadores deberá ser ampliado en su capacidad, dentro de los 2 meses siguientes a la ejecutoria de la presente resolución, con el fin de suplir las necesidades requeridas.

ARTÍCULO SÉPTIMO: Aprobar el sistema aplicado para el manejo de los residuos sólidos y líquidos generados durante el beneficio de café en el predio La Playa, localizado en la vereda El Chuzo del municipio de Manizales, descrito en la parte considerativa de la presente resolución.

ARTÍCULO OCTAVO: Otorgar a la FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, nit: 860007538-2, permiso para verter a un cuerpo de agua, las aguas residuales domésticas y las provenientes del beneficio de café, generadas en el predio Estación Central Naranjal, localizado en la vereda Quebra de Naranjal del municipio de Chinchiná, previo tratamiento mediante los sistemas aprobados.

PARÁGRAFO: El permiso de vertimientos estará sujeto al cumplimiento de las siguientes obligaciones:

1. Efectuar anualmente caracterizaciones físico-químicas de las aguas residuales domésticas provenientes del cuartel de trabajadores y de las aguas mieles del beneficio de café, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:
 - Puntos de muestreo:

Afluente y efluente de los sistemas.
 - Parámetros:
 - ARD: Temperatura, pH, caudal, DBO₅, SST, sólidos sedimentables, grasas y aceites, coliformes fecales y totales.
 - AMBC: Temperatura, pH, caudal, DQO, DBO₅, SST, sólidos sedimentables y grasas y aceites.
 - Muestreos:

Muestras compuestas durante una jornada de 4 horas durante una jornada de máxima ocupación y en temporada de cosecha.
 - Las primeras caracterizaciones se efectuarán dentro de los 3 meses siguientes a la ejecutoria de esta providencia.
 - Los análisis deberán ser realizados por un laboratorio debidamente acreditado por el IDEAM.

Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales y el correspondiente permiso de vertimientos

2. Realizar mantenimiento periódico a los sistemas de tratamiento y presentar a Corpocaldas informes anuales sobre dichas actividades.
3. Los sedimentos y lodos provenientes de los sistemas de tratamiento no podrán depositarse en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado y para su disposición se deberán cumplir las normas legales en materia de residuos sólidos.
4. Cualquier modificación que incida en el vertimiento deberá ser sometida a aprobación previa por parte de la Corporación.
5. Los sistemas de tratamiento tendrán que garantizar el cumplimiento de las normas en cuanto a los parámetros y límites máximos permisibles de los vertimientos a aguas superficiales.

ARTÍCULO NOVENO: La concesión de aguas superficiales y el permiso de vertimientos otorgados tendrán una vigencia de CINCO (5) años, contados a partir de la ejecutoria de esta resolución, que podrá ser prorrogada, antes de su vencimiento, por solicitud del beneficiario.

ARTÍCULO DÉCIMO: El beneficiario deberá cancelar anualmente el servicio de seguimiento, conforme las facturas que se expidan para el efecto.

ARTÍCULO UNDÉCIMO: Notificar personalmente el contenido de esta providencia al representante legal de la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, o a su apoderado debidamente constituido. En su defecto, se notificará por edicto.

ARTÍCULO DUODÉCIMO: Contra esta resolución procede el recurso de reposición ante la suscrita funcionaria, del cual habrá de hacerse uso, personalmente y por escrito, dentro de los cinco (5) días siguientes a su notificación, personal, a la desfijación de edicto o a su publicación, según sea el caso.

Dada en Manizales, el

09 DIC. 2010

NOTIFÍQUESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

COPIA ORIGINAL FIRMADO
Luz Edelmira Gutiérrez Ceballos

LUZ EDELMIRA GUTIÉRREZ CEBALLOS
Secretaria General

Expediente: 7729
Elaboró: Martín Alonso Bedoya Patiño

Anexo 6. Consumos en actividades agrícolas en la Estación Central Naranjal para el año 2013.

	FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA		CODIGO: FE-AM-F-0029
	MEDICIÓN Y MANTENIMIENTO CAPTACIÓN DE AGUA		FECHA: 14/09/2011 VERSION: 1
SEDE: <u>ESTACION CENTRAL NARANJAL</u>			
Punto o sitio de lectura: <u>Electrobomba</u>			
No.	DIA / MES / AÑO	TIEMPO DE OPERACIÓN EN MINUTOS	CANTIDAD DE AGUA (Metros cúbicos)
139	14-ene-13	40	3,7
140	23-ene-13	30	2,8
141	22-feb-13	60	5,6
142	04-mar-13	30	2,8
143	06-mar-13	30	2,8
144	15-mar-13	30	2,8
145	26-mar-13	30	2,8
146	20-may-13	30	2,8
147	21-may-13	120	11,2
148	23-may-13	30	2,8
149	27-may-13	30	2,8
150	28-may-13	30	2,8
151	29-may-13	30	2,8
152	06-jun-13	30	2,8
153	19-jun-13	30	2,8
154	20-jun-13	30	2,8
155	21-jun-13	60	5,6
156	24-jun-13	60	5,6
157	25-jun-13	60	5,6
158	27-jun-13	30	2,8



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

CODIGO: FE-AM-F-0029

MEDICIÓN Y MANTENIMIENTO
CAPTACIÓN DE AGUA

FECHA: 14/09/2011

VERSION: 1

SEDE: ESTACION CENTRAL NARANJAL

Punto o sitio de lectura: Electrobomba

No.	DIA / MES / AÑO	TIEMPO DE OPERACIÓN EN MINUTOS	CANTIDAD DE AGUA (Metros cúbicos)
159	19-jul-13	30	2,8
160	22-jul-13	90	8,4
161	23-jul-13	30	2,8
162	25-jul-13	30	2,8
163	26-jul-13	60	5,6
164	29-jul-13	30	2,8
165	08-ago-13	30	2,8
166	09-ago-13	30	2,8
167	14-ago-13	30	2,8
168	26-ago-13	90	8,4
169	03-sep-13	60	5,6
170	04-sep-13	30	2,8
171	18-sep-13	30	2,8
172	27-sep-13	30	2,8
173	02-oct-13	30	2,8
174	07-oct-13	30	2,8
175	16-oct-13	60	5,6
176	17-oct-13	30	2,8
177	31-oct-13	30	2,8
178	06-nov-13	30	2,8
179	25-nov-13	30	2,8
180	27-nov-13	30	2,8
181	28-nov-13	30	2,8
182	03-dic-13	30	2,8

Anexo 7. Actividades de reemplazo de dispositivos de alto consumo de agua por dispositivos ahorradores.

Dispositivos de alto consumo de agua	Dispositivos ahorradores de agua
	
	
	

Anexo 8. Informe de resultados de la caracterización de aguas residuales emitido por el Laboratorio Ambiental de Corpocaldas 2012.



INFORME DE RESULTADOS		
Versión: 5	Página 2 de 4	LB-LA-FR-006

Laboratorio Ambiental CORPOCALDAS. Carrera 19 No. 33-17. Tel: 8522112
E-mail: labcorpocaldas@gmail.com

Informe No.	136
Nombre del cliente:	CENICAFE
Dirección:	Kilómetro 4 – Vía antigua a Manizales
Fecha del Informe:	Noviembre 08 de 2012

1. Información Muestra:

No. Punto - Código interno Laboratorio - Denominación cliente	Tipo de muestreo
Punto 1. 12-367: Entrada PTAR ARD - Estación Central Naranjal - Cenicafé	Compuesto 4 horas
Punto 2. 12-368: Salida PTAR ARD - Estación Central Naranjal - Cenicafé	
Punto 3. 12-369: Entrada Sistema Modular- Estación Central Naranjal- Cenicafé	
Punto 4. 12-370: Salida Sistema Modular - Estación Central Naranjal- Cenicafé	

Lugar de muestreo	Tipo de aforo	Condiciones Ambientales	Sistema de Gestión de Calidad Laboratorio
Estación Central Naranjal - Cenicafé -Chinchiná - Caldas	Volumétrico	Tiempo seco	Procedimiento para Muestreo y Manejo de Muestras LB-LA-PR-015 Plan de muestreo LB-LA-FR 074

Fecha de Recibo de muestras	Fecha de Realización Ensayo	Desviaciones adicionales o exclusiones del método de ensayo
31 de Octubre de 2012	31 de Octubre y 01 de Noviembre de 2012	Ninguna

Muestras tomadas por: Laboratorio Ambiental Corpocaldas

Este informe expresa fielmente el resultado de los análisis realizados. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente aprobación escrita del Laboratorio

Informe No. 136 Página 2 de 4

Calle 21 No. 23 – 22 Edificio Atlas Manizales - Teléfono: (6) 884 14 09 – Fax: 884 19 52 Línea Verde: 01 8000
96 88 13 - corpocaldas@corpocaldas.gov.co - www.corpocaldas.gov.co

3. Parámetros de campo

3.1 Punto 1. 12-367: Entrada PTAR ARD - Estación Central Naranjal - Cenicafé

HORA	CAUDAL [L/s]	pH [U-pH]	TEMPERATURA [°C]	CONDUCTIVIDAD [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]
9:45 a.m	0,066	6,73	22,1	507
10:45 a.m	0,059	6,76	23,2	450
11:45 a.m	0,062	5,23	26,4	381
12:45 p.m	0,085	6,82	25,7	628
1:45 p.m	0,079	6,00	23,1	441
Valor máximo	0,085	6,82	26,4	628
Valor mínimo	0,059	5,23	22,1	381
Promedio	0,070	6,31	24,1	481

3.2 Punto 2. 12-368: Salida PTAR ARD - Estación Central Naranjal - Cenicafé

HORA	CAUDAL [L/s]	pH [U-pH]	TEMPERATURA [°C]	CONDUCTIVIDAD [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]
9:45 a.m	0,026	6,79	21,6	318
10:45 a.m	0,021	6,83	23,0	332
11:45 a.m	0,013	6,83	24,4	351
12:45 p.m	0,034	6,83	23,3	400
1:45 p.m	0,026	6,72	22,7	450
Valor máximo	0,034	6,83	24,4	450
Valor mínimo	0,013	6,72	21,6	318
Promedio	0,024	6,80	23,0	370

3.3 Punto 3. 12-369: Entrada Sistema Modular- Estación Central Naranjal-Cenicafé

HORA	CAUDAL [L/s]	pH [U-pH]	TEMPERATURA [°C]	CONDUCTIVIDAD [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]
9:45 a.m	0,150	3,84	21,6	459
10:45 a.m	0,185	4,14	22,8	188
11:45 a.m	0,189	4,01	24,0	307
12:45 p.m	0,111	3,80	24,7	434
1:45 p.m	0,047	3,83	23,5	473
Valor máximo	0,189	4,14	24,7	473
Valor mínimo	0,047	3,80	21,6	188
Promedio	0,136	3,92	23,3	372

3.4 Punto 4. 12-370: Salida Sistema Modular - Estación Central Naranjal-Cenicafé

HORA	CAUDAL [L/s]	pH [U-pH]	TEMPERATURA [°C]	CONDUCTIVIDAD [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]
9:45 a.m	0,017	4,23	21,5	371
10:45 a.m	0,011	4,22	22,4	381
11:45 a.m	0,008	4,25	24,8	389
12:45 p.m	0,008	4,26	25,3	402
1:45 p.m	0,003	4,25	23,7	400
Valor máximo	0,017	4,26	25,3	402
Valor mínimo	0,003	4,22	21,5	371
Promedio	0,009	4,24	23,5	389

4. Resultados de Análisis

Muestras:

Punto 1. 12-367: Entrada PTAR ARD - Estación Central Naranjal - Cenicafé

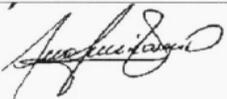
Punto 2. 12-368: Salida PTAR ARD - Estación Central Naranjal - Cenicafé

Punto 3. 12-369: Entrada Sistema Modular- Estación Central Naranjal- Cenicafé

Punto 4. 12-370: Salida Sistema Modular - Estación Central Naranjal- Cenicafé

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA 12-367	MUESTRA 12-368	MUESTRA 12-369	MUESTRA 12-370
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg.L ⁻¹	618± 75	8 ± 1	3660 ± 446	1032 ± 126
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg.L ⁻¹	806 ± 66	42± 3	5980 ± 490	1730 ± 142
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg.L ⁻¹	443 ± 35	<LCM	1267 ± 99	67± 5
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	9	ND	ND	ND
Aceites y Grasas	mg.L ⁻¹	58	10	28	10
Coliformes Totales	UFC/100 mL	111x 10 ⁶	397x 10 ⁴	---	---
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	38x 10 ⁶	126x 10 ⁴	---	---

- ND: No detectable
- --- : No se solicitó análisis por parte del cliente
- <LCM: Menor del límite de cuantificación del método SST: LCM = 17 mg.L⁻¹



Informe realizado por:
 Ana Lucía Rosero Otero
 Oficial de Calidad - Profesional Especializado

Anexo 9. Boletín informativo del programa de gestión ambiental manejo de aguas residuales.



Programa de Gestión Ambiental
Manejo de vertimientos



Aspecto ambiental asociado: Generación de vertimientos
Objetivo: Optimizar/establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales, garantizando que el efluente del sistema cumpla con los parámetros exigidos por la autoridad ambiental
Responsable: Nelson Rodríguez Valencia
Meta a 31 diciembre de 2011: A noviembre de 2011, remover el 85% de la carga contaminante que ingresa a los sistemas de tratamiento de Cenicafé (sedes Planalto y Naranjal)

Los empleados de Cenicafé podemos contribuir de la siguiente manera:

- Mediante el ahorro de agua en las actividades laborales y de aseo
- No eliminando productos químicos por los desagües
- No arrojando materiales sólidos ni papel en los servicios sanitarios
- Utilizando detergentes biodegradables
- Utilizando de forma racional los productos desinfectantes

Beneficios para Cenicafé:

- Preservación del recurso hídrico y de la biodiversidad en las áreas de influencia
- Cumplimiento de la normativa ambiental, evitando el pago de multas y disminuyendo el valor de la tasa retributiva por la disposición del vertimiento



Si tiene alguna inquietud comuníquese con las extensiones 174, 204 y 412 ó consulte el Manual de Calidad en la página sg.cafedecolombia.com (Usuario: cenicafe y Clave: cenicafe)

Boletín
9
Septiembre de 2011

Anexo 10. Boletín informativo del programa de gestión ambiental uso eficiente del agua.



Uso eficiente del agua

Aspecto ambiental asociado: Consumo de agua

Objetivo: Optimizar el consumo de agua de suministro, con el fin de minimizar el volumen de agua a tratar y cumplir con la legislación ambiental aplicable, a partir de implementación de estrategias de reducción

Responsable del programa: Óscar Ramírez y Raúl Rendón

Meta a diciembre de 2011: Reducir en Planalto un 5% el consumo de agua en el 2011, en comparación con el año inmediatamente anterior



Beneficios para Cenicafé:

- Reducción en los costos por consumo de agua
- Disminución en el volumen de tratamiento de aguas residuales
- Disminución de la contaminación ambiental
- Implementación de una cultura por el respeto y conservación del medio ambiente

¿Cómo participamos y qué responsabilidad tenemos los colaboradores de Cenicafé?

Todos debemos participar directa y permanentemente, teniendo en cuenta las siguientes pautas:

- Cerrar las llaves de agua cuando nos estemos enjabonando o cepillando los dientes
- Informar oportunamente a los responsables cuando detectemos fugas o daños en los grifos
- Lavar los elementos de trabajo cuando realmente se requiera
- Hacia futuro, en la selección para compra de equipos, considerar la mayor eficiencia (relación trabajo-consumo) en el consumo de agua y su impacto en el medio ambiente

 Si tiene alguna inquietud comuníquese con las extensiones 174, 204 y 111 ó consulte el Manual de Calidad en la página sg.cafedecolombia.com (Usuario: cenicafe y Clave: cenicafe)

Boletín
7
Septiembre de 2011

Anexo 11. Campañas de ahorro de agua desarrolladas en el programa de educación ambiental.

Cenicienta reverdece

Ahorra agua

Sólo el 2,8% del agua de nuestro planeta es dulce y tan sólo el 0,01% se encuentra en lagos y ríos **¡no la malgastes!**

Al lavar la vidriería y los materiales de laboratorio, no dejes correr el agua mientras enjabonas.

Utiliza difusores y otros mecanismos de ahorro en los grifos, para reducir el consumo de agua

Cierra la llave cuando te estés enjabonando y cepillando tus dientes; debido a que puedes malgastar cerca de 10 litros de agua

Para evitar la contaminación del agua no arrojes residuos de comida, aceite ni productos químicos

SGI

Cenicienta reverdece

Sabías que el grifo abierto puede gastar hasta 6 litros por minuto?

Usa siempre tu pocillo durante el día, así no tendrás que lavarlo cada vez que quieras tomar café

No utilices el sanitario como papelera ni como cenicero

Arregla oportunamente las averías de grifos y cañerías. Un grifo que gotea pierde 30 litros diarios

Riega las plantas al anochecer para evitar pérdidas por evaporación

Ahorra agua

SGI

Anexo 12. Lista de materiales para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

Componente del sistema	Materiales	Cantidad
Trampa de grasas	Tanque de polietileno de 250 litros bajo	1
	Tanque de polietileno de 250 litros alto	1
	Codo PVC presión de 2"	2
	Adaptador macho PVC presión de 2"	4
	Adaptador hembra PVC presión de 2"	4
	Tee PVC presión de 2"	2
	Adaptador macho PVC presión de 1 ½"	2
	Tapón roscado PVC presión de 1 ½"	2
	Empaque neolay diámetro interno 1 ½"	1
	Empaque neolay diámetro interno 2"	8
Tubo PVC presión de 2" x metro	1	
Pozo séptico	Tanque de polietileno de 5.000 litros	3
	Codo PVC presión de 2"	18
	Adaptador macho PVC presión de 2"	18
	Adaptador hembra PVC presión de 2"	12
	Tee PVC presión de 2"	3
	Tapón roscado PVC presión de 2"	6
	Semicodo PVC presión de 3"	6
	Tee PVC presión de 3"	3
	Válvula de bola PVC de 2"	3
	Reducción PVC presión de 3" a 2"	3
	Empaque neolay diámetro interno 2"	30
	Tubo PVC presión de 2" x metro	6
Filtro anaerobio	Tanque de polietileno de 5.000 litros	3
	Codo PVC presión de 2"	24
	Adaptador macho PVC presión de 2"	9
	Adaptador hembra PVC presión de 2"	6
	Tee PVC presión de 2"	15
	Tapón roscado PVC presión de 2"	3
	Empaque neolay diámetro interno 2"	15
	Válvula de bola PVC de 2"	3
	Tubo PVC presión de 2"	7
	Guadua x 6 metros	60
	Botellas plásticas no retornables x 2,5 litros	1200
	Tusas de maíz en kg	267
Recámara de inspección	Tanque de polietileno de 250 litros	1
	Codo PVC presión de 2"	7
	Adaptador macho PVC presión de 2"	4
	Adaptador hembra PVC presión de 2"	4
	Semicodo PVC sanitaria de 2"	3
	Empaque neolay diámetro interno 2"	8
Humedal	Plástico negro calibre 12 por 6 metros	37
	Codo PVC presión de 1 ½"	15
	Semicodo PVC presión de 1 ½"	6
	Unión PVC presión de 1 ½"	12
	Adaptador macho PVC presión de 1 ½"	6
	Adaptador hembra PVC presión de 1 ½"	6
	Empaque neolay diámetro interno 1 ½"	12
	Manguera de polietileno de 2" x metro	20
	Tubo PVC presión de 1 ½" x metro	18
Todo el sistema	Limpiador PVC por 1/4	3
	Pegante PVC por 1/4	2
	Tubo PVC presión de 2" x metro	72
	Tubo PVC presión de 3" x metro	30

Anexo 13. Lista de materiales para la construcción del sistema modular de tratamiento anaerobio de aguas residuales del café.

Materiales	Cantidad
Abrazadera de correa de 1 ½"	6
Acople macho de polietileno de 1 ½"	5
Adaptador hembra de PVC presión de 1/2"	1
Adaptador macho de PVC presión de 1/2"	1
Adaptador hembra de PVC presión de 1 ½"	17
Adaptador macho de PVC presión de 1 ½"	18
Adaptador macho de PVC presión de 1"	1
Empaque de neolay de diámetro interno de 1/2"	2
Arandela de PVC de 1/2"	2
Empaque de neolay de diámetro interno de 1 ½"	26
Arandela de PVC de 1 ½"	26
Empaque de neolay de diámetro interno de 1"	2
Arandela de PVC de 1"	2
Botellas plásticas no retornables x 2,5 litros	1470
Codo PVC presión de 1/2"	6
Codo PVC presión de 1 ½"	21
Codo PVC presión de 1"	9
Limpiador PVC x 1/8	1
Pegante PVC x 1/8	1
Discos en PVC de 1 ½" con 38 perforaciones de 7/32"	3
Cal masilla kg	3
Estiercol de ganado vacuno x litro	1200
Piedra caliza o gravilla de río por m³	0,2
Malla mosquitera x metro	2
Manguera de polietileno de 1 ½" en metros	20
Reducciones de PVC presión de 1 ½" a 1"	3
Cinta teflón	3
Semicodo PVC presión de 1 ½"	7
Tanque de polietileno 250 litros	2
Tanque de polietileno de 2000 litros	6
Tapón copa de PVC presión de 1/2"	2
Tapón roscado de PVC presión de 1 ½"	6
Tee PVC presión de 1/2"	1
Tee PVC presión de 1 ½"	6
Tee PVC presión de 1"	2
Tubo PVC presión de 1/2" de 2 metros de largo	1
Tubo PVC presión de 1" de 2 metros de largo	1
Tubo PVC presión de 1 ½" de 6 metros de largo	3
Válvula de bola de 1" PVC	1
Válvula flotador de 1" PVC	1
Válvula de bola de 1 ½" PVC	1
Manguera de polietileno de 1/2"	3

Anexo 14. Lista de materiales para la construcción del sistema de almacenamiento de agua para el beneficio de café

Materiales	Cantidad
Tanque de polietileno de 5.000 litros	10
Codo PVC presión de 2"	9
Codo PVC presión de 1 ½"	8
Adaptador macho PVC presión de 2"	22
Adaptador hembra PVC presión de 2"	22
Adaptador macho PVC presión de 1 ½"	2
Adaptador hembra PVC presión de 1 ½"	2
Tee PVC presión de 2"	12
Unión PVC presión de 1 ½"	17
Semicodo PVC presión de 1 ½"	3
Semicodo PVC presión de 2"	3
Tee PVC presión de 2"	12
Empaque neolay diámetro interno 2"	46
Empaque neolay diámetro interno 1 ½"	4
Llave PVC presión de 1 ½"	3
Llave PVC presión de 2"	2
Limpiador PVC x 1/4	3
Pegante PVC x 1/4	2
Tubo PVC presión de 1 ½ x metro	182
Tubo PVC presión de 2" x metro	24

Anexo 15. Informe 13-505 realizado por el laboratorio de análisis de agua Acuatest. Para el sistema de aguas residuales domésticas año 2013.

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS ACREDITADO POR EL IDEAM SEGÚN RESOLUCIÓN N° 0938 DEL 20 DE ABRIL DE 2011	FPD-011 Versión 5 Junio de 2013
INFORME DE ENSAYOS	Página 1 de 2



INFORME 13- 505

Cliente: CENICAFE Dirección: km. 4 vía Chinchiná, Manizales Fecha Informe: 2013-12-06 Fecha Recepción: 2013-11-15 Fecha Muestreo: 2013-11-15 Tipo De Muestra: Compuesto Código Muestra: 13 - 1758	Lugar De Muestreo: PLANTA 4 – Naranjal Sitio De Muestreo: Entrada Descripción De La Muestra: Agua Residual Temperatura Ambiente: 25 °C Condiciones climáticas: Día Soleado Plan de Muestreo: FCD 018-505
--	---

Parámetro	Método	Técnica	Unidades	Valor	Fecha ejecución del ensayo
pH	SM 4500-H+	Electrometría		6.23 ± 0.1	Noviembre 15 de 2013
Temperatura	SM 2550 B	Electrometría	°C	23.3	Noviembre 15 de 2013
Conductividad	S.M. 2510 B	Electrometría	µS/cm	662 ± 21	Noviembre 15 de 2013
DBO5. Demanda biológica oxígeno Total	SM 5210 B SM. 4500-O G	Incubación	mg/L	684 ± 35	Noviembre 15 de 2013 Noviembre 20 de 2013
DQO. Demanda química oxígeno Total	S.M 5220 C	Reflujo Cerrado	mg/L	2785 ± 128	Noviembre 16 de 2013
SST. Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	Gravimetría	mg/L	2030 ± 207	Noviembre 16 de 2013
Grasas y aceites*	S.M 5520 B	Gravimetría	mg/L	2.3	Noviembre 25 de 2013
SSed. Sólidos Sedimentables	S.M 2540 F	Cono Imhoff	mL/h	40.0	Noviembre 16 de 2013
Coliformes totales	S.M9222 B	Filtración por membrana	UFC / 100 mL	3.3E+7	Noviembre 15 de 2013
E. Coli	S.M 9222 D	membrana	UFC / 100 mL	2.3E+7	Noviembre 15 de 2013

FIN DE ENSAYO

* Parámetro subcontratado.
 No es posible determinar caudal por que la infraestructura no lo permite.
 Notas: Los resultados sólo son válidos para las muestras ensayadas. Las muestras serán retenidas en el Laboratorio hasta 72 horas después de emitido este informe, luego de ese tiempo se desecha la muestra, para los parámetros en que el tiempo recomendado de análisis es menor a estos días, no se puede efectuar repetición de análisis. El Informe de Ensayo no debe ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio. Los análisis se realizan en base a la 22nd Edition of Standard Methods.



CARLOS ALBERTO MORALES TABARES
 Jefe de Laboratorio

ACUATEST S.A.S.
 Cra. 25 N° 67 - 104 Teléfono: +57 (6) 887 0402 Fax 887 7122 Celular: 321 676 8181
 Email: acuatest@iqasa.com - jefeacuatest@iqasa.com
 Manizales - Caldas - Colombia



INFORME 13- 505

Cliente: CENICAFE
Dirección: km. 4 vía Chinchiná, Manizales
Fecha Informe: 2013-12-06
Fecha Recepción: 2013-11-15
Fecha Muestreo: 2013-11-15
Tipo De Muestra: Compuesto
Código Muestra: 13 - 1759

Lugar De Muestreo: PLANTA 4 – Naranjal
Sitio De Muestreo: Salida
Descripción De La Muestra: Agua Residual
Temperatura Ambiente: 25 °C
Condiciones climáticas: Día Soleado
Plan de Muestreo: FCD 018-505

Parámetro	Método	Técnica	Unidades	Valor	Fecha ejecución del ensayo
pH	SM 4500-H+	Electrometría		7,03 ± 0,1	Noviembre 15 de 2013
Temperatura	SM 2550 B	Electrometría	°C	23,3	Noviembre 15 de 2013
Conductividad	S.M 2510 B	Electrometría	µS/cm	516 ± 16	Noviembre 15 de 2013
Caudal		Volumétrico	L/s	0,033	Noviembre 15 de 2013
DBO5. Demanda biológica oxígeno Total	SM 5210 B	Incubación	mg/L	71,1 ± 4	Noviembre 15 de 2013
DDO. Demanda química oxígeno Total	S.M 5220 C	Reflujo Cerrado	mg/L	88,0 ± 4	Noviembre 20 de 2013
SST. Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	Gravimetría	mg/L	16,0 ± 2	Noviembre 16 de 2013
Grasas y aceites*	S.M 5520 B	Gravimetría	mg/L	<0,50	Noviembre 25 de 2013
SSed. Sólidos Sedimentables	S.M 2540 F	Cano Imhoff	ml/L/h	0,10	Noviembre 16 de 2013
Coliformes totales	S.M9222 B	Filtración por membrana	UFC / 100 mL	3,9E+5	Noviembre 15 de 2013
E. Coli	S.M 9222 D		UFC / 100 mL	2,0E+5	Noviembre 15 de 2013

FIN DE ENSAYO

* Parámetro subcontratado.

Notas: Los resultados sólo son válidos para las muestras ensayadas. Las muestras serán retenidas en el Laboratorio hasta 72 horas después de emitido este informe, luego de ese tiempo se desecha la muestra, para los parámetros en que el tiempo recomendado de análisis es menor a estos días, no se puede efectuar repetición de análisis. El Informe de Ensayo no debe ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio. Los análisis se realizan en base a la 22nd Edition of Standard Methods.

CARLOS ALBERTO MORALES TABARES
Jefe de Laboratorio

ACUATEST S.A.S.

Cra. 25 N° 67 - 104 Teléfono: +57 (6) 887 0402 Fax: 887 7122 Celular: 321 676 8181
Email: acuatest@iqasa.com - jefeacuatest@iqasa.com
Manizales - Caldas - Colombia

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS
**TABLA No.1: REMOCIONES OBTENIDAS SISTEMA DE TRATAMIENTO
CENICAFE PLANTA 4 - NARANJAL**

PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA	Entrada kg/h	Salida kg/h	% remoción SISTEMA	% remoción CARGA	DECRETO 1594/84
pH		6,23	7,03	----	----	----	----	5 a 9
Temperatura	°C	23,3	23,3	----	----	----	----	<40°C
Conductividad	µS/cm	662,000	516	----	----	----	----	N.A.
Caudal	L/s	0,033	0,033	----	----	----	----	N.A.
DBO5. Demanda biológica oxígeno Total	mg/L	684	71,1	0,061	0,008	90	90	80%
DQO. Demanda química oxígeno Total	mg/L	2785	88	0,331	0,010	97	97	N.A.
SST. Sólidos suspendidos totales	mg/L	2030,0	16	0,241	0,002	99	99	80%
Grasas y aceites*	mg/L	2,3	<0,5	----	----	> 78	> 78	80%
SSed. Sólidos Sedimentables	mL/L/h	40,0	0,1	0,005	0,000	100	100	N.A.
Coliformes totales	UFC / 100 mL	3,30E+07	3,90E+05	3.920,400	46,332	99	99	N.A.
E. Coli	UFC / 100 mL	2,30E+07	2,00E+05	2.732,400	23,760	99	99	N.A.

ACUATEST S.A.S.

Cra. 25 N° 67 - 104 Teléfono: +57 (6) 887 0402 Fax 887 7122 Celular: 321 676 8181
Email: acuatest@iqasa.com - jefeacuatest@iqasa.com
Manizales - Caldas - Colombia

INFORME 13- 503

Cliente: CENICAFE
Dirección: km. 4 vía Chinchiná, Manizales
Fecha Informe: 2013-12-06
Fecha Recepción: 2013-11-15
Fecha Muestreo: 2013-11-15
Tipo De Muestra: Compuesto
Código Muestra: 13 - 1760

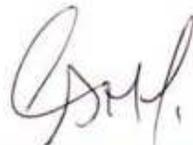
Lugar De Muestreo: PLANTA 5 – Naranjal
Sitio De Muestreo: Entrada
Descripción De La Muestra: Aguas Mielles
Temperatura Ambiente: 25 °C
Condiciones climáticas: Día Soleado
Plan de Muestreo: FCD 018-503

Parámetro	Método	Técnica	Unidades	Valor	Fecha ejecución del ensayo
pH	SM 4500-H+	Electrometría		3,59 ± 0,1	Noviembre 15 de 2013
Temperatura	SM 2550 B	Electrometría	°C	23,5	Noviembre 15 de 2013
Conductividad	S.M.2510 B	Electrometría	µS/cm	856 ± 27	Noviembre 15 de 2013
Caudal	Volumétrico	Volumétrico	L/s	0,041	Noviembre 15 de 2013
DRO5. Demanda biológica oxígeno Total	SM 5210 B	Incubación	mg/l	8940 ± 465	Noviembre 15 de 2013
DQO. Demanda química oxígeno Total	S.M 5220 C	Reflujo Cerrado	mg/l	11964 ± 550	Noviembre 16 de 2013
SST. Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	Gravimetría	mg/l	4200 ± 420	Noviembre 16 de 2013
Grasas y aceites*	S.H 5520 B	Gravimetría	mg/l	7,6	Noviembre 25 de 2013
SSed. Sólidos Sedimentables	S.M 2540 F	Cono Imhoff	mL/l/h	0,30	Noviembre 16 de 2013
Coliformes totales	S.M9222 B	Filtración por membrana	UFC / 100 mL	2,3E+7	Noviembre 15 de 2013
E. Coli	S.M 9222 D	Filtración por membrana	UFC / 100 mL	9,9E+6	Noviembre 15 de 2013

FIN DE ENSAYO

* Parámetro subcontratado.

Notas: Los resultados sólo son válidos para las muestras ensayadas. Las muestras serán retenidas en el Laboratorio hasta 72 horas después de emitido este informe, luego de ese tiempo se desecha la muestra, para los parámetros en que el tiempo recomendado de análisis es menor a estos días, no se puede efectuar repetición de análisis. El Informe de Ensayo no debe ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio. Los análisis se realizan en base a la 22nd Edition of Standard Methods.



CARLOS ALBERTO MORALES TABARES
Jefe de Laboratorio

ACUATEST S.A.S.

Cra. 25 N° 67 - 104 Teléfono: +57 (6) 887 0402 Fax 887 7122 Celular: 321 676 8181
Email: acuatest@iqasa.com - jefeacuatest@iqasa.com
Manizales - Caldas - Colombia

INFORME 13- 503

Cliente: CENICAFE
Dirección: km. 4 vía Chinchiná, Manizales
Fecha Informe: 2013-12-06
Fecha Recepción: 2013-11-15
Fecha Muestreo: 2013-11-15
Tipo De Muestra: Compuesto
Código Muestra: 13 - 1761

Lugar De Muestreo: PLANTA 5 - Naranjal
Sitio De Muestreo: Salida
Descripción De La Muestra: Aguas Mielés
Temperatura Ambiente: 25 °C
Condiciones climáticas: Día Soleado
Plan de Muestreo: FCD 018-503

Parámetro	Método	Técnica	Unidades	Valor	Fecha ejecución del ensayo
pH	SM 4500-H+	Electrometría		5,99 ± 0,1	Noviembre 15 de 2013
Temperatura	SM 2550 B	Electrometría	°C	23,2	Noviembre 15 de 2013
Conductividad	S.M. 2510 B	Electrometría	µS/cm	779 ± 12	Noviembre 15 de 2013
Caudal	Volumétrico	Volumétrico	L/s	0,022	Noviembre 15 de 2013
DBO5. Demanda biológica oxígeno Total	SM 5210 B SM 4500-O G	Incubación	mg/L	275 ± 14	Noviembre 15 de 2013 Noviembre 20 de 2013
DQO. Demanda química oxígeno Total	S.M 5220 C	Reflujo Cerrado	mg/L	630 ± 29	Noviembre 16 de 2013
SST. Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	Gravimetría	mg/L	18,0 ± 2	Noviembre 16 de 2013
Grasas y aceites*	S.M 5520 B	Gravimetría	mg/L	0,60	Noviembre 25 de 2013
SSed. Sólidos Sedimentables	S.M 2540 F	Coag Imhoff	ml/L/h	0,10	Noviembre 16 de 2013
Coliformes totales	S.M9222 B	Filtración por membrana	UFC / 100 mL	2,4E+5	Noviembre 15 de 2013
E. Coli	S.M 9222 D	membrana	UFC / 100 mL	1,0E+5	Noviembre 15 de 2013

FIN DE ENSAYO

* Parámetro subcontratado.

Notas: Los resultados sólo son válidos para las muestras ensayadas. Las muestras serán retenidas en el Laboratorio hasta 72 horas después de emitido este informe, luego de ese tiempo se desecha la muestra, para los parámetros en que el tiempo recomendado de análisis es menor a estos días, no se puede efectuar repetición de análisis. El Informe de Ensayo no debe ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio. Los análisis se realizan en base a la 22nd Edition of Standard Methods.


CARLOS ALBERTO MORALES TABARES
Jefe de Laboratorio

ACUATEST S.A.S.

Cra. 25 N° 67 - 104 Teléfono: +57 (6) 887 0402 Fax 887 7122 Celular: 321 676 8181
Email: acuatest@iqasa.com - jefeacuatest@iqasa.com
Manizales - Caldas - Colombia

**TABLA No.1: REMOCIONES OBTENIDAS SISTEMA TRATAMIENTO
CENICAFE PLANTA 5 - AGUAS MIELES**

PARAMETRO	UNIDAD	ENTRADA	SALIDA	Entrada kg/h	Salida kg/h	% remoción SISTEMA	% remoción CARGA	DECRETO 1594/ 84
pH		3,59	5,99	----	----	----	----	5 a 9
Temperatura	°C	23,5	23,2	----	----	----	----	<40°C
Conductividad	µS/cm	856	379	----	----	----	----	N.A.
Caudal	L/s	0,041	0,022	----	----	----	----	N.A.
DBO5. Demanda biológica oxígeno Total	mg/L	8940	275	1,320	0,022	97	98	80%
DQO. Demanda química oxígeno Total	mg/L	11964	630	1,766	0,050	95	97	N.A.
SST. Sólidos suspendidos totales	mg/L	4200	18	0,620	0,001	100	100	80%
Grasas y aceites*	mg/L	7,6	0,8	0,001	0,000	89	94	80%
SSed. Sólidos Sedimentables	ml/L/h	0,3	0,1	0,000	0,000	67	82	N.A.
Cultiformes totales	UFC / 100 mL	2,30E+07	2,40E+05	3.394.800	19.008	99	99	N.A.
E. Coli	UFC / 100 mL	9,50E+06	1,00E+05	1.402.200	7.920	99	99	N.A.

ACUATEST S.A.S.

Cra. 25 N° 67 - 104 Teléfono: +57 (6) 887 0402 Fax 887 7122 Celular: 321 676 8181
Email: acuatest@iqasa.com - jefeacuatest@iqasa.com
Manizales - Caldas - Colombia

Anexo 16. Comunicado certificación ICONTEC normas de calidad y gestión ambiental

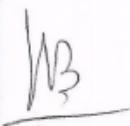
Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Comité Caf. Antioquia
Cone: E1300371
Rad: 23/04/2013 08:24:46 a. m.



Bogotá, D.C., Abril 19 de 2013
GAD13C04886

Doctor
Luis Fernando Botero Franco
Director Ejecutivo
Comité de Cafeteros de Antioquia
Medellín



Estimado Doctor:

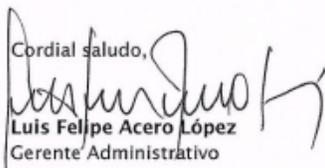
La FNC recibió de parte del Icontec la ratificación de la certificación del sistema de gestión de calidad bajo la norma ISO 9001:2008 para los Servicios de Investigación Científica y Tecnológica y Extensión Rural, cuyo certificado me complace entregarle. Así mismo, fue ratificada la certificación del sistema de gestión ambiental bajo la norma ISO 14001: 2004 para las actividades de Investigación Científica y Tecnológica desarrolladas por Cenicafé, en las sedes Planalto y Estación Central Naranjal.

Adicionalmente, se amplió el alcance del Sistema de Gestión de Calidad bajo la norma ISO 9001:2008 para la Comercialización de Café Verde, Servicio Control a las Exportaciones de Café Colombiano y Promoción del Desarrollo Cooperativo.

Este seguimiento realizado por el Icontec es un reconocimiento a nuestro Sistema de Gestión Integral y al desempeño del equipo de colaboradores, por lo tanto es importante continuar trabajando en el mantenimiento y mejora de nuestros sistemas de gestión.

Lo invito a hacer extensiva esta comunicación a todo su equipo con el fin de hacerles participe de este logro, de igual forma le solicité ubicar este certificado en un lugar visible de su dependencia.

Cordial saludo,


Luis Felipe Acero López
Gerente Administrativo

Misión: *Asegurar el bienestar del caficultor colombiano a través de una efectiva organización gremial, democrática y representativa*

FSAAS - 101
Enero 2012