

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BORRA DE CAFÉ UTILIZADA COMO MATERIAL ADSORBENTE EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE DQO Y SST, PARA EL TRATAMIENTO DE MUCILAGO RESIDUAL.



**JHON LEIDER BOLAÑOS
JOVANY OTERO MUÑOZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA,
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE,
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SOSTENIBLE
POPAYÁN
2017**

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BORRA DE CAFÉ UTILIZADA COMO MATERIAL ADSORBENTE EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE DQO Y SST, PARA EL TRATAMIENTO DE MUCILAGO RESIDUAL.



**JHON LEIDER BOLAÑOS
JOVANY OTERO MUÑOZ**

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director: Arnol Arias
Biólogo**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA,
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE,
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SOSTENIBLE
POPAYÁN
2017**

CONCEPTO DEL JURADO

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA BORRA DE CAFÉ UTILIZADA COMO MATERIAL ADSORBENTE EN EL PROCESO DE REMOCIÓN DE DQO Y SST, PARA EL TRATAMIENTO DE MUCILAGO RESIDUAL.

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

DEDICATORIA

Un especial agradecimiento a mis familiares y amigos por su paciencia y comprensión. A mi madre, que a pesar de que ya no está en este mundo terrenal, pero desde lo más profundo de mi corazón sé que me acompaña y me guía con su sabiduría y me animó a estudiar. A mis hermanas que me apoyaron todo el tiempo.

Jhon Leider Bolaños

Principalmente a Dios por darnos la fortaleza, sabiduría y confianza para afrontar este gran reto que justo ahora se hace realidad y a nuestra familia por ser el pilar más importante en el futuro como profesionales.

Jovany Otero Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por darnos la oportunidad de llegar hasta donde hemos llegado y permitirnos hacer realidad este sueño tan anhelado, por permitir levantarme cada día y luchar por mis sueños, por poner en mi vida a aquellas personas que me brindan su apoyo incondicional sin esperar nada a cambio brindándome sus conocimientos y experiencia para mejorar este proceso de aprendizaje en mi vida.

El logro de este proyecto está dedicado a nuestros padres, pilares fundamentales en la vida; sin ellos, jamás habiéremos podido conseguir lo que hasta ahora hemos logrado; su tenacidad y lucha incansable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir.

A nuestro director de tesis, Biólogo. Arnol Arias, por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia, su objetividad y su motivación, logró encender en nosotros la determinación y confianza de lograr terminar con éxito lo que iniciamos como un proyecto de vida y hoy se hace realidad.

Gracias a nuestros maestros, quienes aportaron valiosos conocimientos y experiencias durante el trascurso de la carrera profesional, a todos y cada uno de los compañeros y amigos que compartieron sus experiencias durante nuestra formación, siendo piezas claves para alcanzar la meta.

Un especial agradecimiento a mi esposa Mónica Isabel Rodríguez por su paciencia y comprensión. A mis hijas Oriana Isabel Otero Rodríguez y Taliana Isabella Otero Rodríguez, A mis padres, que a pesar de que nunca hubieran pisado una escuela, siempre me apoyaron y animaron a estudiar. A mis hermanos que me apoyaron todo el tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I: PROBLEMA	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2 Justificación	18
Objetivos	20
1.3.1 Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES	21
2.1 ANTECEDENTES	21
2.1.1 Generalidades de la Caficultura	21
2.1.2 Producción de café por regiones en Colombia	23
2.1.3 Proceso de beneficio por vía húmeda	26
2.1.4 Características de las aguas provenientes del beneficiado del Café	28
2.1.5 Consecuencias de las aguas residuales del beneficiado de café	31
2.1.6 Sistemas de tratamiento de aguas residuales del café.	32
2.1.7 técnicas convencionales para el tratamiento de aguas mieles	36
2.1.8 Bases legales	41
CAPITULO III: METODOLOGÍA	43
3.1 Fase 1. Análisis físico - químico de aguas mieles	44
3.1.1 Punto de muestreo	44
3.1.2 Toma de muestra y medición de caudal	44
3.1.3 Obtención de la borra de Café	45
3.2 Fase 2. Diseño e implementación del prototipo experimental.	46
3.2.1 Pre-Tratamiento primario	47
3.2.2 Implementación del prototipo experimental	47
CAPITULO IV: RESULTADOS	49
4.1 Fase 1. Análisis físico - químico de aguas mieles	49
4.2 Análisis de eficiencia de los lechos Filtrantes	50

4.3 Determinación de Sólidos Suspendidos Totales	52
4.4 Determinación de pH	53
4.5 Elemento comparativo entre la borra y el carbón activado	54
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1 Conclusiones	56
5.2 Recomendaciones	56
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA	58
6.1 Bibliografía	58

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Producción de café regional de Colombia	24
Tabla 2. Características típicas de las aguas mieles	29
Tabla 3. Características fisicoquímicas de las aguas de beneficiado	30
Tabla 4. Las consecuencias presentes en el Vertido de las Aguas Residuales	32
Tabla 5. Legislación ambiental colombiana	41
Tabla 6. Valores permitidos de carga orgánica contaminante resolución 0631 de 2015	42
Tabla 7. Porcentaje de mezcla en los prototipos	46
Tabla 8. Resultados de la caracterización Fisicoquímica de la muestra inicial en el punto de descarga	49
Tabla 9. Comparativo entre la borra y el carbón activado	55

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Partes del fruto de café	21
Figura 2. Zonas cafeteras de Colombia	25
Figura 3. Proceso del Beneficio húmedo de café	28
Figura 4. Sistema de tratamiento anaerobio	33
Figura 5. Esquema de un Sistema modular de tratamiento de aguas mieles	37
Figura 6. Diseño experimental abordado en la investigación	43
Figura 7. Ubicación geográfica - Empresa SUPRACAFÉ Colombia S.A	44
Figura 8. Proceso de obtención de la borra de café	45
Figura 9. Diseño y montaje del filtro	47

LISTA DE GRAFICAS

	Pag
Graficas 1. Porcentaje de Remoción Para DQO y DBO ₅	52
Graficas 2. Comportamiento de SST	53
Graficas 3. Comportamiento de pH	54

RESUMEN

Con el fin de probar la eficiencia del uso de la borra de café como material adsorbente en sistemas de tratamiento de aguas residuales, se construyeron tres prototipos de filtros anaerobios de flujo ascendente a escala 1:25 (E 1:25) con diferentes porcentajes de mezcla (70% Borra, 30% Arena), (70% Carbón Activado, 30% Arena) y (70% Arena, 30% Borra), a fin de evaluar la eficiencia de remoción en las variables de DBO₅, DQO, pH y SST, para aguas mieles de café.

En la elaboración del sistema se tomó el diseño de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con lecho de Arena, Borra de Café y carbón activado, la cual se construyó en dos componentes básicos, uno basado en el proceso de sedimentación y el otro bajo el principio de filtración; el sedimentador fue de tipo Batch y el filtro fue de flujo continuo, con diferentes porcentajes de mezcla teniendo en cuenta los tiempos de retención hidráulica para cada sistema.

Los resultados en los tres sistemas de tratamiento mostraron eficiencias de remoción de sólidos suspendidos superiores al 90% y los máximos valores de remoción para DQO₅ y DQO, se presentó para el lecho filtrante de Borra y Arena con porcentajes óptimos y favorables para este tipo de agua residual superiores al 80% de remoción. Es decir, la borra como bioadsorbente se convierte en una gran alternativa para los pequeños y medianos caficultores ya que por ser un material residual y de fácil obtención minimiza sus costos y garantiza un tratamiento eficiente a las aguas mieles provenientes del beneficio del café, direccionando al sector cafetero hacia mejores procesos productivos, desarrollados en el marco del desarrollo sostenible.

Palabras clave: Filtro, Borra de Café Tratamiento de aguas mieles de café, bioadsorbentes, carga contaminante.

ABSTRACT

In order to test efficiency the use of coffee grounds as adsorbent material in wastewater treatment systems, three prototypes were constructed at scale (E 1:25) with different mixing percentages (70% Erase, 30% Sand), (70% Activated Carbon, 30% Sand) and (70% Sand, 30% Borra), in order to evaluate their efficiency in the variables of BOD5, COD, pH and SST,

For the elaboration of the system, the design of Anaerobic Flow Filter with Sanded, Coffee Borage and activated carbon, was built in two basic components, one based on the sedimentation process and the other under the principle of Filtration, the settler was of Batch type and the filter was of continuous flow, with different percentages of mixture taking in to account the times of hydraulic retention for each system

The results in the three treatment systems showed 90% higher suspended solids removal efficiencies and the maximum removal values for COD5 and COD these sedimentation process and the other under the principle of Filtration, the settler was of Batch type and the filter was of continuous flow, with different percentages of mixture taking in to account the times of hydraulic retention for each system Coffee Borage and activated carbon, was built in two basic components, one based on the sedimentation process and the other under the principle of Filtration, the settler was of Batch type and the filter was of continuous flow, with different percentage

Keywords: Water treatment Coffee beans, bioadsorbente, pollutant load

INTRODUCCIÓN

En la historia de la agricultura del café, la ingeniería ha jugado un importante papel al desarrollar tecnologías que han permitido incrementar la producción y reducir los costos de la misma, debido al aprovechamiento eficiente de la mano de obra, los insumos y el manejo sostenible de los recursos suelo y agua, especialmente en los últimos años, en Colombia. Posteriormente, a mediados de la década de los 90 se tomó una disciplina de Ingeniería Agrícola que cuya finalidad se centró en generar Tecnologías apropiadas, competitivas y sostenibles para la cosecha y poscosecha de café. El Centro Nacional de Investigación del Café (CENICAFÉ), ha generado tecnologías exitosas, derivadas de aplicaciones de distintas ramas de la ingeniería, que han contribuido a la solución de desafíos encontrados en la producción, cosecha y pos cosecha de café. Con ellas se ha buscado mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos, disminuir el impacto ambiental y mejorar las condiciones económicas y sociales de los productores. [1]

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y la Organización Mundial de la Salud (OMS) reflejan que el 80% de las aguas residuales mundiales no reciben un tratamiento adecuado, situación que perjudica sobre todo a los países menos desarrollados; ante esta situación la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha incentivado a los gobiernos a priorizar el tratamiento de las aguas residuales en los procesos productivos, puesto que se advierten amenazas para la salud humana, el medio ambiente y la economía mundial. [1]

Colombia es un país reconocido a nivel mundial por la producción de café, la cosecha de este producto genera residuos líquidos como el mucilago, el cual por su alta carga orgánica se convierte en un agente contaminante. Según cálculos de

CENICAFÉ, por cada kilogramo de café cereza sin seleccionar, se produce 90 ml de mucilago fermentado, esto conlleva a tener una producción media de 768 kg/ha/año, es decir, por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se producen aproximadamente 55.500 Ton de mucilago fresco con una carga orgánica de DQO y DBO₅, que oscila entre 25.000 y 110.000 ppm. [1]

Según la Resolución 0631 de 2015 y el Decreto 4728 de 2010, la norma Colombiana exige un tratamiento de estos vertimientos de aguas mieles del beneficiado del café antes de ser destinados a cuerpos de agua; sin embargo el 95% de las empresas cafeteras mediana y pequeñas no están cumpliendo a cabalidad con el tratamiento de estas aguas residuales; además se debe tener en cuenta que el mucilago producto del beneficiado húmedo de café, es uno de los mayores contaminantes al generar daños considerables tanto ambientales como de salud pública, por lo tanto, es necesario buscar una solución de nuevos sistemas de tratamiento que no solo sean amigables con el medio ambiente sino también que requiera una baja inversión inicial. [2]

Por esta razón, se implementó un método tecnológico, económico y eficaz a base de filtros anaerobios elaborados con borra de café, para el tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo de café, utilizando subproductos como material bioadsorbente: borra de café, carbón activado y arena como lecho filtrante. El sistema se construyó en dos componentes básicos, uno basado en el proceso sedimentación y otro bajo el principio de filtración; el sedimentador fue de tipo batch y el filtro de flujo continuo intermitente. Se consideraron tres tipos de lechos filtrantes. [2]

El diseño experimental fue modificado en una variable de mezclas heterogéneas que corresponde al porcentaje de relación entre arena, carbón activado y borra de café de la siguiente forma: 70% borra ,30% arena; 70% carbón activado, 30% arena y 70% arena, 30% borra, con el fin de determinar cuál de los tres sistemas de

tratamiento es el más eficiente en la disminución de la carga contaminante de aguas mieles del café, arrojando mayores resultados de favorabilidad en porcentajes de remoción, la mezcla de 70% borra, 30% arena, con una eficiencia del 80% evaluado con respecto a la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015). Relacionado a lo anterior, se realizó un análisis de costos – beneficio, con el fin de determinar no solo la efectividad funcional de los filtros, sino la factibilidad económica, comparada con los tratamientos actuales convencionales. [3]

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En nuestro planeta los recursos naturales son innumerables, sin embargo, el impacto negativo que han causado las acciones humanas en los ecosistemas, han terminado por desequilibrar la evolución natural del medio, afectando considerablemente la sostenibilidad de los recursos; es por eso que en la actualidad el tema ambiental ha cobrado vital importancia a nivel local, regional, nacional e internacional, y dentro de este amplio tema, el hombre ha comprendido que es necesario restaurar, proteger y conservar los recursos naturales para las futuras generaciones. [4]

En Colombia el cultivo de café es de gran importancia en el ámbito económico, social y ambiental, debido a que es uno de los productos con mayor participación en las exportaciones agrícolas del país y genera empleos directos e indirectos a un porcentaje muy importante la población, sin embargo, el beneficiado de este producto ha ocasionado residuos líquidos altamente contaminantes como es el Mucilago, Según cálculos de CENICAFÉ, por cada kilogramo de café cereza sin seleccionar, se produce 90 ml de Mucilago fermentado, con una producción media de 768 kg/ha/año; es decir, por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se producen aproximadamente 55.500 Ton de Mucilago fresco, con una carga orgánica de DQO y DBO₅ que oscila entre 25.000 y 110.000 ppm. [5]

Según los decretos 3930 y 4728 del 2010, la norma Colombiana exige un tratamiento de estos vertimientos antes de ser destinados a cuerpos de agua; sin embargo el 95% de las empresas cafeteras medianas y pequeñas no están cumpliendo a cabalidad con el tratamiento de estas aguas residuales, debido a que gran parte de los métodos tecnológicos diseñados para el tratamiento de dichos

vertimientos no han sido empleados por el caficultor colombiano, dado a los altos costos derivados de estas tecnologías, la falta de conciencia ambiental, la carencia de tecnologías alternativas, y además porque hay cierta resistencia al cambio. [6]

El Departamento del Cauca no es ajeno a esta situación, pues se calcula que 98% de los beneficiados de café están incurriendo en una problemática ambiental debido a la falta del manejo adecuado de estos vertimientos, que en efecto están perjudicando las principales fuentes hídricas del departamento. El decreto 0631 de 2010, establece que los residuos líquidos provenientes de usuarios tales como hospitales, lavanderías, laboratorios, clínicas y beneficiados deberán ser sometidos a un tratamiento especial, de no hacerlo pueden incurrir en una dura sanción económica y afectar los activos de la empresa. [6]

Dentro de ese marco es importante destacar que el tratamiento de las aguas residuales del beneficiado de café debe adquirir cada vez mayor importancia, esto principalmente, por razones de salud pública derivadas de dicho proceso, pero, además, por la contaminación y destrucción que generan en los ecosistemas. En razón de esto, la aplicación de sistemas de tratamiento en los procesos de beneficio del café, es fundamental, sin embargo su factibilidad para los pequeños y medianos productores radica en que sea un sistema que aparte de ser amigable con el medio ambiente, no impacte considerablemente las finanzas de los mismos, pues en muchos casos los sistemas que ofrece el mercado son ineficientes y/o abandonados, ya sea por sus altos costos de mantenimiento o porque se requiere de mano de obra especializada a la cual no se tiene acceso. Lo anterior ha generado que las aguas residuales provenientes del beneficiado húmedo de café, sean depositadas en los ríos sin ningún tratamiento previo alterando las condiciones fisicoquímicas del receptor final y de los ecosistemas. [7]

Por esta razón nace la idea de probar una tecnología económica, innovadora y eficaz con materiales bioadsorbentes de bajo costo, la cual no sólo ayude en la

disminución del impacto causado a los cuerpos de agua sino que también genere una tecnología ecoeficiente y sostenible, sin causarle daño al medio ambiente; ejemplo de esto, es la borra de café que es el residuo sólido del producto final del grano tostado y que en ciertas condiciones de desecho podría generar impactos negativos al medio ambiente, pero si se logra aprovechar como un material bioadsorbente (materia prima) para el tratamiento de las aguas mieles, se podría potenciar un residuo contaminante de la cadena productiva, para sanear otro de mayor impacto al medio, como lo es el vertimiento de la aguas mieles a las fuentes hídricas, una problemática ambiental que ha causado afectaciones desastrosas en los ecosistemas cafeteros.

1.2 Justificación

Actualmente los sistemas convencionales en el tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficiado húmedo de café, es muy habitual el uso carbón activado; según la Agencia de Protección del Medio Ambiente es una de las mejores tecnologías disponibles para la remoción de contaminantes debido a su gran capacidad de absorción, sin embargo, los altos costos de este material asociados a su adquisición, implementación y operación, han llevado a la búsqueda de otros materiales adsorbentes alternativos más económicos y sencillos para tratar las aguas mieles de café, la cual puedan ser adoptados sin dificultad por nuestros productores, favoreciendo la comercialización de su café y permitiendo conservar los recursos naturales. [8]

En Colombia existen diferentes métodos o tecnologías de absorción y eliminación de contaminantes para aguas mieles de café, sin embargo algunos de estos métodos convencionales son eficientes en términos de remoción, pero presentan costos de operación y mantenimiento, los cuales no terminan de convencer en términos de rentabilidad y factibilidad económica es decir, se requiere una tecnología económica y eficaz que mejore las condiciones de remoción de

contaminantes en los vertimientos provenientes de la actividad. Por esta razón el proyecto utilizó una tecnología alternativa innovadora que permite reducir la problemática ambiental que tanto afecta a la industria cafetera, haciendo uso de subproductos del café como la borra, la cual es un material bioadsorbente que permite la remoción de DQO y SST para el tratamiento de aguas mieles de café.

Además, la borra de café es un residuo abundante y económico de la industria cafetera y a su vez, no ha tenido una disposición final adecuada; por esta razón, el tratamiento de las aguas residuales del beneficiado húmedo de Café, se efectuó el estudio a partir de este bioadsorbente. Esto debido a que hay experiencias de empresas caficultoras y estudios realizados por CENICAFÉ e Instituciones Universitarias como la Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Antioquia, entre otras, que se han preocupado por desarrollar investigaciones de impacto ambiental en la actividad cafetera, y que demuestran que la borra de café contiene sustancias bioactivas como son los ácidos clorogénicos y feruloilquínicos, los cuales son esenciales en la captura de sustancias contaminantes. [9]

En tanto, la determinación de la eficiencia de la borra de café para el tratamiento del mucilago residual, se convierte en un estudio de investigación innovador como alternativa de aprovechamiento de un residuo que aparentemente no tiene ningún uso, evitando que se convierta en fuente de contaminación de los recursos agua suelo, y generando un valor agregado en la economía del agricultor, pues esta adquiere el valor de materia prima en el tratamiento de la mezcla agua mucilago. Es decir, el proyecto adquiere un gran valor en el mejoramiento de la calidad de vida de los productores cafeteros, pues además de ser una tecnología económica, mejora las condiciones sanitarias de nuestras fuentes hídricas y en general, contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente. [9]

Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la eficiencia de la borra de café como material bioadsorbente en el proceso de remoción de DQO, DBO₅ y SST para el tratamiento de mucilago residual.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis físico – químico de las aguas residuales provenientes del beneficiado húmedo de café, de acuerdo con los niveles permisibles de vertimientos según la resolución 0631 de 2015 y la RAS – 2000.
- Diseñar un sistema de tratamiento a escala piloto, a base de arena y borra de café, utilizando diferentes porcentajes de mezcla.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERETES CONCEPTUALES

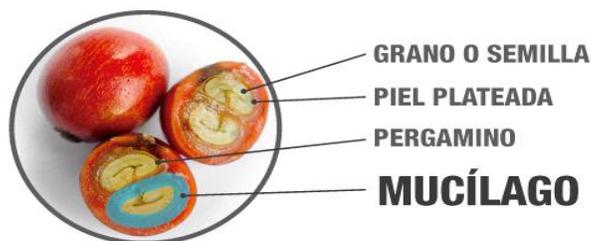
2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Generalidades de la Caficultura

La caficultora es un componente fundamental en la estructura económica y social del país. Esta genera más de un millón de empleos directos e indirectos, involucrando 563.000 familias de productores y es determinante en la vida rural y en el desarrollo económico de 590 municipios. Siendo una actividad de pequeños productores, donde el 73,7% de las fincas tiene un tamaño que varía entre 0,1 y 5,0 ha, representa el 36% del empleo agrícola, genera el 1,6% del PIB nacional, y el 12,5% del PIB agrícola nacional con una alta dependencia regional. En siete departamentos el café representa más del 35% del PIB agrícola. Sin embargo, estas cifras hacen que el café sea uno de los productos principales de la economía agrícola colombiana ya que cuenta con un buen reconocimiento a nivel mundial por su calidad y características organolépticas. [15]

Además, el café es una semilla procedente del árbol de cafeto, perteneciente a la familia de las Rubiáceas y al género Coffea. Los cuales en estado de madurez toman un color rojizo y se les denomina "cereza". El fruto del cafeto cuyas semillas son tostadas y molidas se utilizan para el consumo humano, por esta razón cuenta con los siguientes partes como se indica en la siguiente figura. [32]

Figura 1. Partes del fruto de café



El mucilago es el tejido que se encuentra entre la pulpa y el pergamino y está compuesta por tejidos Halinos y no contiene cafeína ni taninos. El Mucilago representa el 20 y el 22% del peso del fruto, y está conformada por una importante proporción de la carga orgánica potencial ya sea por el alto contenido de azúcares de pectinas y ácidos orgánicos. Su carga orgánica oscila entre 25.000 y 110.000 ppm. [34]

El café pergamino húmedo es el producto resultante del proceso de lavado en el beneficio húmedo del café. Por su alto contenido de humedad de 53%, la cual es un producto muy perecedero por ser un medio apropiado para el desarrollo de microorganismos que pueden alterar la calidad e inocuidad. De su parte anatómica que envuelve el grano que constituye alrededor del 12% del peso del grano en base seca. [32].

La pulpa de café es el subproductos sólidos, más voluminosa y representa el 56 % del volumen del fruto y el 40 % del peso. La composición química de este residuo, al sufrir un proceso de fermentación, puede provocar que se formen cargas orgánicas de 20 Kg por quintal oro procesado, esto como un desecho sólido no reutilizado. Las aguas del despulpado pueden generar hasta un máximo, en términos de DQO de 52.277mg O₂ /Litro, equivalente siempre en términos de DQO a 7.18 Kg O₂ /quintal oro. [32]

El tanque de fermentación natural consiste en dejar al fruto en un tanque de fermentación donde cae luego del despulpado, con poca agua durante un periodo de 12 a 18 horas donde se homogeniza lentamente, el mucílago se desprende naturalmente del grano. [33]

Los Desmucilaginoso mecánico son una tecnología que Proporciona una manera para eliminar el mucílago del grano en forma continua, lo que significa que se reduce el tiempo que conlleva fermentar naturalmente. [34]

A diferencia del lavado de café, que es proceso mediante la cual el Café debe lavarse después de culminada la fermentación, este procedimiento es indispensable para retirar residuos e impurezas de los granos el lavado debe hacerse con agua limpia, libre de sedimentos, no debe tener olor ni sabor y presentar un neutro entre 6 y 7, para evitar en el grano defectos como el manchado, sucio, fermento y contaminado. [34]

2.1.2 Producción de café por regiones en Colombia

Las condiciones ideales para el cultivo se encuentran entre los 1.200 y 1.800 metros de altura sobre el nivel del mar, con temperaturas templadas que oscilan entre los 17 a 23°C con precipitaciones cercanas a los 2.000 milímetros anuales, distribuidas a lo largo del año. Si bien estas condiciones son las más comunes, también es posible producir un café sobresaliente a alturas marginalmente superiores o con niveles o frecuencia de precipitación diferentes, las zonas cafeteras colombianas ubicadas en la siguiente tabla. Están ubicadas en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Caquetá, Casanare, Cundinamarca, Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle. La densidad de producción de café y superficie total de Colombia es 113.891.400 hectáreas; la superficie apta para producción de café es de 7.300.000 hectáreas. [15]

Los principales departamentos de mayor producción de café, se puede calcular las descargas de aguas residuales generadas por cada beneficiaderos, utilizando la producción en toneladas por cada departamento, confrontando la participación de cada área de cosecha según su producción. Para así determinar la necesidad de tratamiento de estas aguas residuales provenientes del beneficio del café. [16]

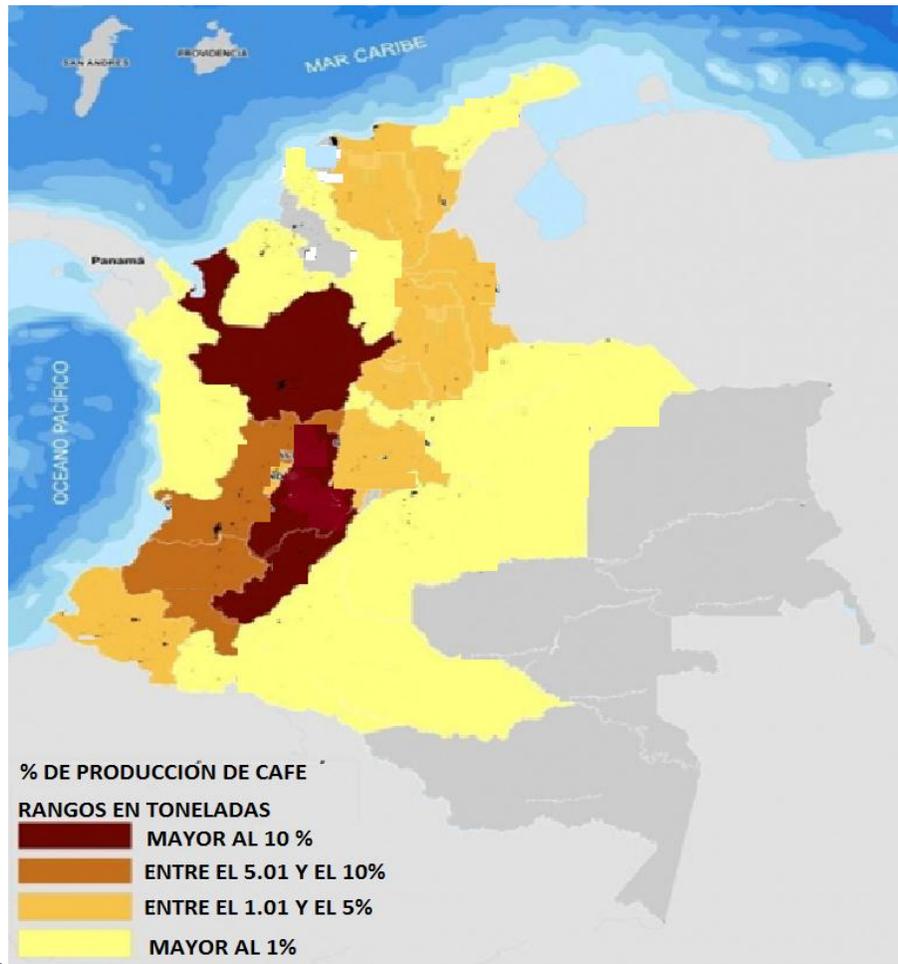
Tabla 1. Producción de café regional de Colombia

Área de cosecha			Producción	
Departamentos	Hectáreas	Participación	Toneladas	Participación
Cundinamarca	52,804	34,3	1,127,320	34,4
Boyacá	40,958	28,2	717,248	25,3
Nariño	28,077	15,2	543,021	15,4
Cauca	24,674	11,1	435,325	12,2
Antioquia	9,273	6,2	159,804	5,3
Santander	4,166	2,7	97,156	3,5
otros 10 departamentos	7,993	2,3	135,220	3,9
Total	139,836	100,0	2,779,769	100,0

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2015

En la actualidad El Sistema de Información Cafetera (SICA) registra una información de 564 municipios en 16 departamentos cafeteros del país, y 16 municipios de los antiguos territorios nacionales (Casanare, Meta y Caquetá). Los resultados muestran que en Colombia existen más de 518 mil caficultores, de los cuales el 94% tienen menos de 5 hectáreas en café. El área total en café es superior a las 881.000 hectáreas y el promedio nacional es de 1.7 hectáreas en café. Estos caficultores constituyen el capital social del subsector cafetero del país como se observa en el siguiente mapa de las zonas cafeteras en Colombia [17]

Figura 2.Zonas cafeteras de Colombia



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2015.

Tradicionalmente el beneficio de café utiliza aproximadamente 40 L de agua por kg de café pergamino seco (12,5% en el despulpado; 37,5% en el lavado y 50% en el transporte de la pulpa). Sin embargo si la producción en café cereza del año 2014-2015 la cual fue de 2.860.691 toneladas; el consumo de agua considerando 40 L/kg sería de 22.885.528 m³, equivalentes al consumo humano de una ciudad de 418.000 habitantes en un año, asumiendo que cada persona consume 150 L de agua por día, si se adopta el beneficio ecológico lavando el café en los tanques de fermentación, utilizando menos de 5 L de agua/kg de Café Pergamino Seco (CPS),

el ahorro de agua obtenido permitiría abastecer las necesidades anuales de una población de 365.750 habitantes. [17]

Esta información ilustra claramente la dimensión del malgasto de agua limpia y del problema de contaminación que se puede generar por el excesivo consumo de agua en todo el proceso de beneficio húmedo y la inadecuada disposición de las aguas residuales como de los subproductos del proceso. Por tal razón cualquier iniciativa que se adelante en el manejo integrado del agua en el proceso de beneficio húmedo del café, generará un impacto positivo en la sostenibilidad.

2.1.3 Proceso de beneficio por vía húmeda

Es el proceso de pos cosecha la cual comienza a partir de la recolección de las cerezas del café, en estado de madurez es un fruto de color rojo o amarillo. Cada cereza tiene una piel exterior (exocarpio) que envuelve una pulpa dulce (mesocarpio). Debajo de la pulpa están los granos recubiertos por una delicada membrana translúcida conocida como mucilago, estas membranas envuelven las dos semillas (endosperma) de café. Las semillas de café, conocidas como café verde, son las que se tuestan para la elaboración de la bebida que los consumidores disfrutan a diario. [18]

Por lo tanto el beneficio del café es el proceso en donde a las cerezas se les retira la pulpa rápidamente después de la recolección, en donde simultáneamente se efectúa la separación del mesocarpio del endocarpio. Posteriormente se retira el mucílago (mesocarpio) por medio de la fermentación del grano en tanques de fermentación o por medios mecánicos. La fermentación puede durar de 12 a 18 horas, dependiendo de algunas variables como el clima, volumen de mucilago, volumen de café y grado de madurez. [18]

Una vez el café ha pasado por el proceso de beneficio, se seca al sol o en secadores mecánicos. Se le denomina café pergamino, puesto que al grano lo cubre una capa

amarilla opaca llamada pergamino. Una vez se terminan los procesos de beneficio, incluyendo el secado, el café se somete a un nuevo proceso denominado trilla para obtener el café almendra o verde. Una vez trillado,

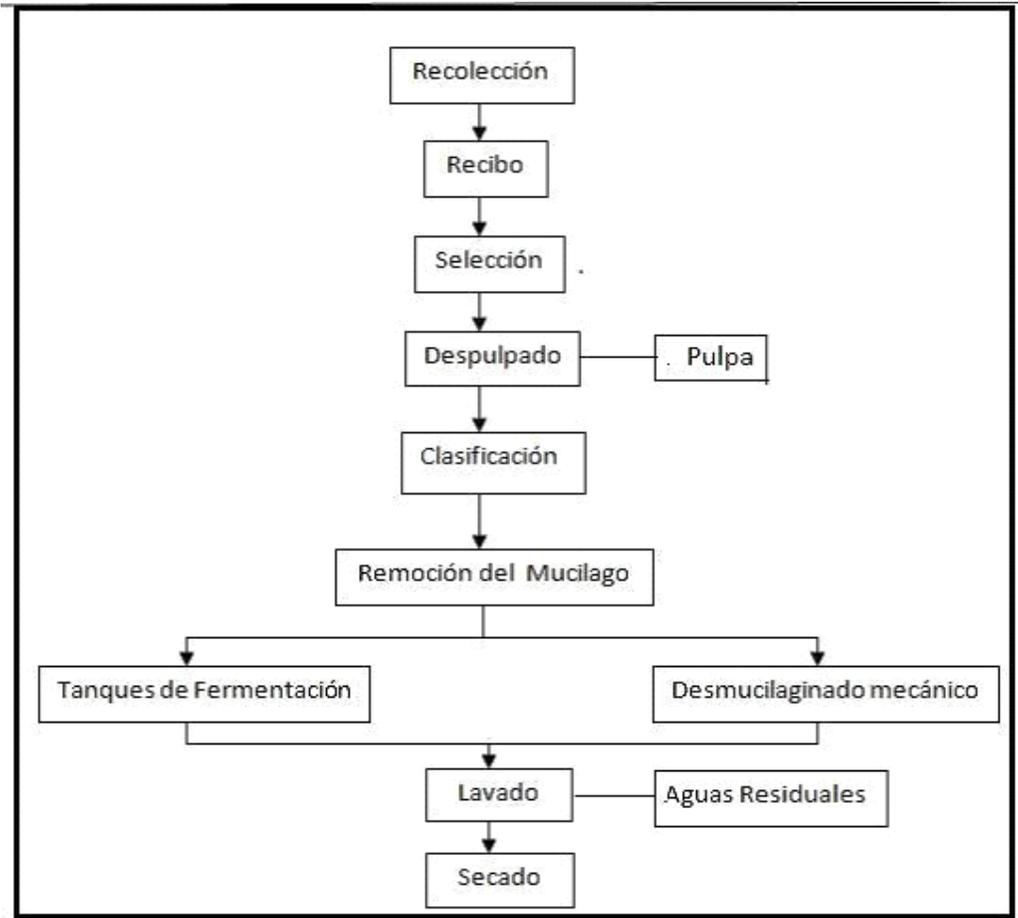
El grano verde se selecciona y clasifica, teniendo en cuenta su tamaño, peso, color y apariencia física. Este café verde o almendra es el insumo para la elaboración del café tostado, soluble y de extractos. Además, se caracteriza porque su color es verde, Tiene un olor característico de café fresco y su humedad promedio debe ser de 10 al 12%. [19].

Luego que la café cereza es recibida en los beneficios, este es clasificado para que los frutos de más alta calidad sean transportados hacia el proceso de beneficiado por cualquiera de los dos métodos. Después del proceso, el café oro se vuelve a clasificar para ser almacenado y luego tostado para la venta a nivel mundial. [19]Es decir, el beneficiado húmedo siempre será el más costoso y requiere más instalaciones, equipo, maquinaria y conocimiento que el método seco; pero el producto que se obtiene por método húmedo es de calidad muy superior. Su principal requerimiento es un abundante abastecimiento de agua ya que hay un mejor desprendimiento del mucilago y de preferencia una mejor calidad para su exportación el proceso de lavado se instala en un nivel tan bajo como sea conveniente a fin de eliminar el costo del bombeo del agua. Cabe resaltar que el proceso de beneficiado húmedo se obtiene una calidad excelente del café y mejor precio de venta. Este método se emplea en Colombia y para el cual se necesita una gran cantidad de agua.

Por lo tanto, el excesivo consumo de agua se convierte en residual (agua miel). En donde su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el Mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia. Su origen y sus propiedades de aporte como carga orgánica del primer y segundo lavado son de 43,615 mg O₂/litro de DQO por cada kilogramo de café [32]

Después del lavado y el consumo de agua para el lavado del grano se inicia el proceso de secado, en donde el grano debe disponerse en capas delgadas entre 2 a 4 CMS, revolviéndose constantemente con rastrillos limpios para facilitar la evaporación del agua, teniendo en cuenta que se debe evitar que el pergamino (capa del grano) se rompa o deteriore, con el fin de ser utilizado para una buena producción de café de alta calidad. En la siguiente figura se identifica el proceso del beneficiado del café. [20]

Figura 3. Proceso del Beneficio húmedo de café



2.1.4 Características de las aguas provenientes del beneficiado del Café

Las aguas residuales del procesamiento o beneficiado húmedo del café son consideradas como una de las fuentes de mayor contaminación orgánica en la zona

cafetalera del país. Por esta razón se ha realizado diversos trabajos antecedentes sobre el impacto ambiental de la descarga de estas aguas en los ríos o cuerpos receptores en la región. [20]

El beneficiado húmedo del café se genera tres diferentes contaminantes: aguas de despulpado, aguas de lavado y la pulpa cuando es vertida a los ríos. El beneficiado de un kilogramo de café verde provoca mediante la generación de las aguas de lavado y despulpado, una contaminación equivalente a la generada por 5.6 personas adultas durante un día. La concentración de la materia orgánica en las aguas procedente del fermento del café depende del volumen utilizado por el beneficio, y en particular si hay recirculación de agua o no. En La siguiente Tabla 3. Se Presenta los resultados típicos de caracterización de contaminantes de las aguas del lavado del café.

Tabla 2. Características típicas de las aguas mieles

Parámetros determinados	Valores
pH	4,5
Temperatura	27,5 °C
OD	0 mg/l
DBO ₅	5000 mg/l
DQO	13000 mg/l
Sólidos Totales	6960 mg/l
Solidos disueltos	3450 mg/l
Solidos suspendidos	3503 mg/l
Solidos volátiles	1730 mg/l
Solidos totales fijos	5220 mg/l

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 2015

En resumen, las aguas residuales que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del fruto del café, son biodegradables, pero poseen características físico-

químicas, particularmente agresivas con el medio ambiente: acidez alta y concentraciones de materia orgánica alta, que correspondientes a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domésticas. A continuación, se observa en la siguiente tabla las Características fisicoquímicas de las aguas de beneficiado de café [21]

Tabla 3. Características fisicoquímicas de las aguas de beneficiado

Parámetro determinado	Agua de despulpaje del proceso	Agua de lavado de Fermentación	Agua de lavado mecánicamente
DQO mg/L	12410-16200	8100-13200	15200-21100
DBO mg/L	3450-9420	5300-7100	9520-12100
Solidos totales mg/L	6200-8600	4100-5200	7920-10300
Solidos Volátiles	4520-6050	2980-4050	5300-7610
N_NH3 mg/l	14-20	13-18	18-27
Fosforo Total mg/l	20-25	13-19	21-30
Fenoles mg/L	18-55	ND	ND
pH	3,5-4,5	4,2-5,0	4,1-4,7

Fuente: ANACAFÉ 2010

Además las aguas residuales del café, provenientes del lavado y fermentado en la etapa de remoción del mucílago., está basado en el agua, en donde los desechos son más diluidos y débiles en relación a la demanda bioquímica de oxígeno, al compararlos con las agua de despulpe; pero también tienen bastante material coloidal gelatinoso de la degradación de la pectina y otros productos de la

fermentación, basado en la caracterización de contaminantes de la pulpa de Café con valores 47.000 ppm DBO y azúcares en la pulpa de 8 % de su peso. [22]

Los contenidos de contaminantes orgánicos y minerales presentes en las aguas de beneficio del café, están relacionados con el tipo de beneficio empleado (fermentación natural y Desmucilaginado) como también la cantidad y calidad del agua usada en el proceso. Por lo tanto, el agua residual de café es biodegradable en casi su totalidad durante la digestión anaerobia en un 80% de su totalidad, la cual es convertida rápidamente en metano [22].

2.1.5 Consecuencias de las aguas residuales del beneficiado de café

Los beneficiaderos de café para ahorrar costos siempre están ubicados cerca de una fuente permanente de agua. En la época de beneficiado estos consumen enormes cantidades de agua, de 3000 kilogramos de café cereza por hora, el consumo de agua oscila alrededor de 1.2 a 25 litros por kilogramo de café pergamino seco. Haciendo que el caudal disminuya considerablemente; cuando los subproductos del beneficio del café representados por pulpa y mucílago no son manejados adecuadamente, representan el 72% y el 28% de la contaminación que llega a las corrientes naturales de agua, en una proporción tal que un kilogramo de fruto procesado contamina igual a las aguas residuales domésticas de un habitante por día

Es decir la remoción de mucílago mediante lavado, se generan aguas residuales y lixiviados que pueden aportar una carga orgánica contaminante de DQO que oscila entre 25.000 y 110.000 mg O₂/L, Por lo tanto, los vertimientos del beneficiado de café, serán causantes de generar alteraciones en el medio ambiente, ya sea como la proliferación de insectos, malos olores y mal aspecto paisajístico. Por estas razones es necesario que la contaminación por estos desechos se pudiera evitar en parte, si se les diera aplicaciones de uso como subproductos, y no tratarlos como algo que ya no se puede utilizar [22]. Cabe resaltar que las aguas residuales de los beneficios

de café, al ser vertidas a los cuerpos receptores implican las siguientes consecuencias presentes en la Tabla 4

Tabla 4. Las consecuencias presentes en el Vertido de las Aguas Residuales

Causas	Física	Química	Biológica
Aumento de la Demanda Bioquímica de oxígeno	Población de microorganismos que necesitan oxígeno para sobrevivir y degradar materia orgánica	Componentes que podemos agrupar en tres categorías según su naturaleza, materia, orgánica, compuestos orgánicos e inorgánicos	Evaluación de las propiedades biológicas de las aguas residuales, se estudia la presencia de microorganismos
Disminución de oxígeno disuelto	Microorganismos que necesitan bastante oxígeno para degradar materia orgánica	Disminución de oxígeno en la vida acuática	Contaminación como Hongos, bacterias y virus
Disminución de la acidez en el Agua	La Acidez del agua de despulpe altera los cuerpos receptores y su hábitat	Compuestos orgánicos disueltos, dispersos en el aguas por aumento de acidez	Muerte de las plantas y animales como la producción de enfermedades

Fuente: Universidad Nacional de Colombia 2012

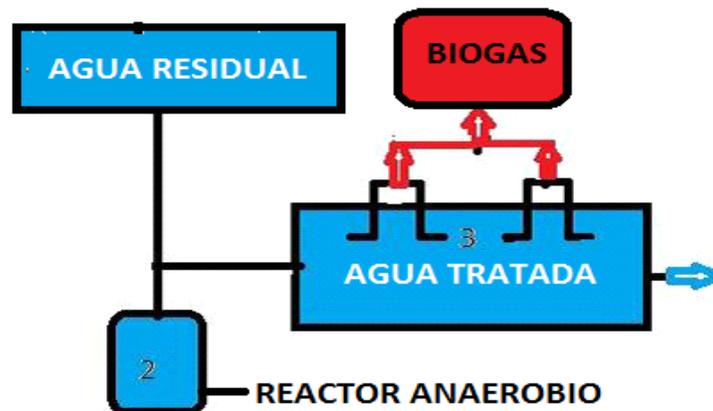
2.1.6 Sistemas de tratamiento de aguas residuales del café.

Rodríguez 1999, El mucilago o mesocarpio es una parte constitutiva del café, que queda expuesto cuando es despulpado cuando se separa el epicarpio o cascara del resto. El mesocarpio o mucilago queda expuesto adherido al endocarpio, Este compuesto es coloide con fuerte capacidad de retención de agua por esto su contenido de humedad es muy variable de acuerdo a la condición climática que prevalezca durante la recolección. El mucilago está compuesto por sustancias pépticas, azúcares, celulosa y cenizas entre otros y presenta cerca del 14.85% del peso fresco del fruto con composiciones de azúcares, reductores de 87.44%,

humedad 95.8% azúcares, totales 99.81%, contenido de pectina 19.08% y totales de ppm 104.460 [10]

En el Salvador, Cafeco en el año 2000. Instaló un sistema de tratamiento anaeróbico para las aguas residuales del café, el cual consistió en un reactor anaeróbico, con la posibilidad de usar biogás y depuración de carga orgánica del agua. Con este sistema se logró una depuración de carga orgánica del agua superior al 70% y el impacto generado por las aguas mieles fue minimizado (Cafeco, 2000) [11]. El sistema consta de Canaleta de afluyente (1), Tanque de Hidróxido de sodio (NaOH) (2) Reactor anaerobio (3), Quemador de biogás (4). Con este sistema el impacto generado por las aguas mieles de café fue minimizado como se puede observar en siguiente figura 4

Figura 4. Sistema de tratamiento anaerobio



Fuente: Cafeco 2000

Cérino & Col (2008) utilizaron residuos de café en la remoción de metales pesados donde obtuvieron una capacidad óptima de adsorción para remover Pb (II) y Cu (II), obteniéndose capacidades de adsorción de 49.43 mg Pb/g y 1.94 mg Cu/g. Por lo tanto, el residuo de café, como bioadsorbente de metales pesados, se convierte en

una alternativa muy deseable ya que le aportaría un valor añadido antes de su eliminación final y a su vez un aprovechamiento económico de este residuo [12].

Silvano, (citado por Rodríguez, 2009). En Costa Rica reporta el empleo de fangos activados de baja carga, como el tratamiento biológico con el que se alcanzaron los mejores resultados en el tratamiento de las aguas residuales del café. El agua entra a un pre tratamiento mecánico con rejillas, pasando luego a una etapa de neutralización y sedimentación, seguido de una oxidación biológica con fangos activados, sedimentación y filtración con carbón activado. Las aguas entran a la planta con una DQO entre 30000 y 35000mg O₂/L y salen después de la filtración sobre arena y carbón activado con 10-20 ppm de DQO. No reporta tiempos de proceso. [13]

Alwar, Raó y Ramaiah, (citados por Rodríguez, 2009). En la India analizaron diferentes métodos para el tratamiento de los efluentes producidos en los beneficiaderos de café, los cuales presentaron una DBO₅ entre 8.500 a 10250mg O₂/L, recomiendan para beneficiaderos que procesan más de 1000 kg de frutos/día, su tratamiento por 8 días, seguido de aireación. [13]

Olvera y Gutiérrez, (2010). En México, estudiaron el comportamiento de un reactor anaerobio discontinuo y mesofílico, el cual emplea una comunidad microbiana proveniente del fluido ruminal vacuno, para realizar la degradación de los vertidos originados en el despulpado del café bajo diferentes condiciones de temperatura. Los resultados conseguidos en esta etapa confirman que para llegar a la etapa metanogénica, la biomasa requiere de por lo menos 21 días de digestión previa. Una vez alcanzado el máximo estado en la generación de biogás, la biomasa es capaz de degradar la carga orgánica del vertido hasta en un 91,2% de la DQO en 16 días de fermentación con de 4,6 y 28 °C [14]

Muchos de los materiales usados en los filtros son de origen agrícolas, estos materiales tienen la ventaja que se producen en grandes cantidades, son económicos y tienen capacidad de adsorción debido a la presencia de grupos químicos activos en sus estructuras. Ejemplos de ellos son los residuos sólidos agrícolas como la cascarilla de arroz, la corteza de coco, pulpa de café, las cáscaras de avellana, maní, naranja, y la pulpa de remolacha, entre otros. [35]

También se ha usado la Quitina y Quitosano, que son polímeros naturales de Quitina y el Quitosano pueden ser utilizados como materia prima para la fabricación de absorbentes naturales; a diferencia de otros polímeros que se encuentran disponibles comercialmente, tienen la capacidad de generar propiedades tanto químicas como biológicas, entre ellas: incompatibilidad, propiedades antibacterianas, adsorción de metales y propiedades de formación de geles. [35]

La utilización de la biomasa de algas, hongos y bacterias como material adsorbente, se considera como una alternativa viable para la remoción de contaminantes desde aguas residuales. En general, es un material que se encuentra disponible en gran cantidad en procesos de fermentación, tales como los de producción de ácido cítrico y de penicilina. [37]

Borra de café como adsorbente natural: Es un subproducto del café que queda en el filtro de la cafetera durante la preparación de la bebida del café. Este subproducto es utilizado para el desarrollo de nuevas tecnologías por sus propiedades antioxidantes, convirtiéndose en un residuo bioadsorbente de origen vegetal, la cual es utilizada como un material de aprovechamiento para la industria farmacéutica, alimentaria y para tratamiento de aguas residuales, por sus propiedades carbonosas. [38] Además la borra de café es una adsorbente que puede comportarse como el carbón activado, la cual en su mayoría es un componente que es producido a partir de materiales naturales de desecho vegetal; como la madera,

las semillas y residuo de podas. Los materiales de partida para obtener carbón activado también pueden ser: Lignina, Aserrín, Cáscara de semilla de algodón, Lignito, Madera, carbón mineral, Huesos de frutas, melaza, Carbón vegetal, Coque de petróleo, Granos de café, Hollín, Cáscara de nueces y Grafito entre otros. [37]

Cuando un líquido o gas entran en contacto con el carbón activado, éste atrae y retiene uno o más átomos, moléculas o iones, el carbón activado es ampliamente utilizado en el tratamiento de agua potable, ya sea en un lecho o como filtro. Puede eliminar una amplia gama de compuestos, incluyendo al cloro y a los taninos. En el tratamiento de efluentes, el carbón activado desempeña un papel importante en los procesos de tratamiento terciario, donde se lo utiliza para eliminar sustancias orgánicas y algunas inorgánicas. [38]

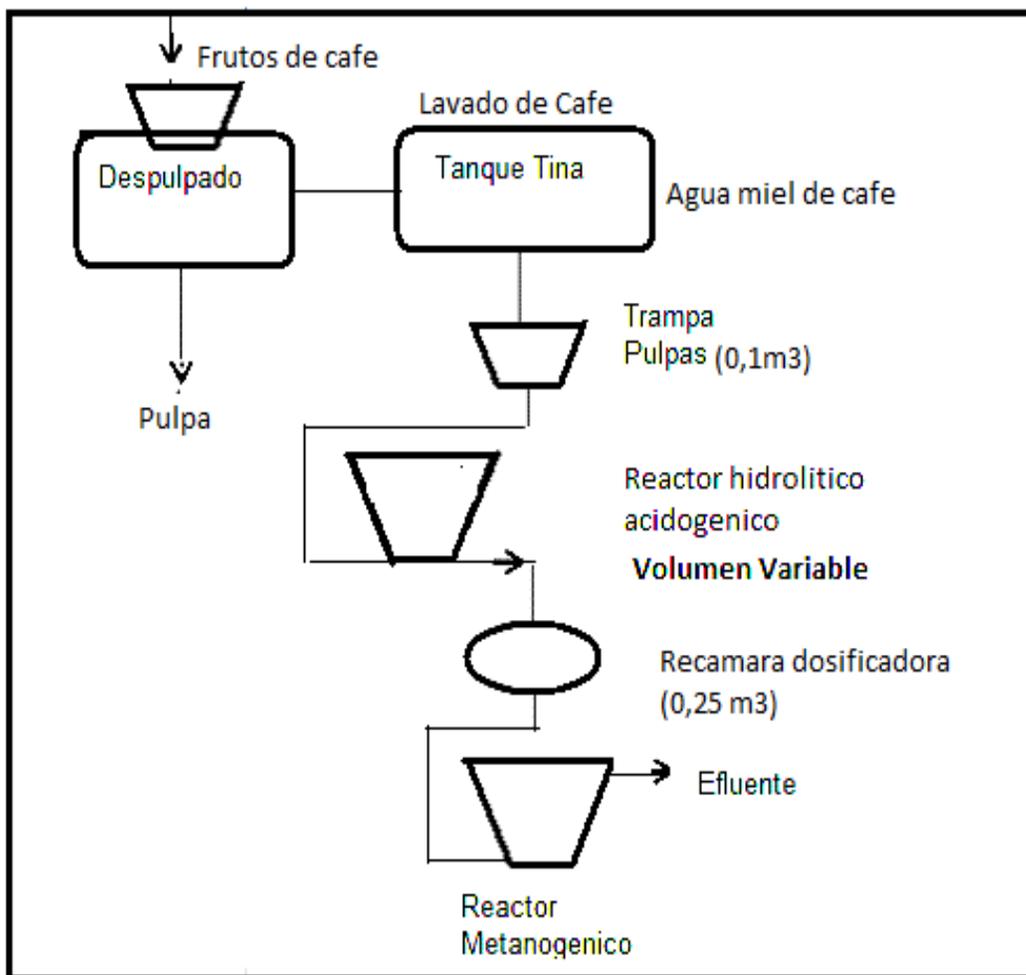
2.1.7 técnicas convencionales para el tratamiento de aguas mieles

En Colombia existen diferentes métodos y tecnologías ya garantizadas y usadas para la remoción de contaminantes como se ha demostrado en las investigaciones realizadas por Martínez Luzardo (2002), Zambrano (2006) Álvarez (2011), Sastre, (1997), Romero 2010) y Suárez, (2008) [29], sin embargo estas tecnologías han presentaron un grado de complejidad e inversión en su mantenimiento, adquisición y operación ya que la mayoría de casos los caficultores medianos y pequeños no están dispuestos a implementar, estas técnicas convencionales para la mitigación y remoción de los contaminantes de las aguas mieles, por esta razón se han implementado estudios e investigaciones con métodos o tecnologías no convencionales, las cuales cumplan con las características de eficiencia de remoción pero con costos inferiores y con Métodos que comúnmente ya se han establecido y probado su efectividad, como se puede observar en los siguiente sistemas de tratamiento [22]

2.1.7.1 Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA): La tecnología SMTA es una tecnología de contribución ambiental, económica y socialmente significativa, dado que permite minimizar el impacto ambiental que tienen las aguas mieles de

café en zonas cafeteras, con un costo de depuración totalmente bajo, cumpliendo con lo exigido en nuestra legislación ambiental y permitiendo que los productores alcancen la certificación de su grano. Además, para alcanzar altas eficiencias de remoción de carga orgánica; no utiliza energía para bombeo del agua residual, el flujo se hace por gravedad, aprovechando la topografía de la zona cafetera colombiana [23]

Figura 5. Esquema de un Sistema modular de tratamiento de aguas mieles



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 2015.

El sistema de tratamiento (SMTA). Además, utiliza unidades prefabricadas de polietileno con tapa y de color negro que permite elevar hasta 30°C la temperatura interna de los tanques y controlar la presencia de malos olores en los alrededores.

Además, el sistema 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 botellas de plástico no retornable que favorecen la permanencia de los microorganismos en el sistema y permite una mejor remoción de contaminantes. [24]

2.1.7.2 Acequias de ladera con pozos de absorción: Son canales que se construyen tomando como base una curva a desnivel, perpendicular a la inclinación del terreno la proporción que se le dé a la pendiente dependerá de la textura del suelo. Con una textura arcillosa, la pendiente será menor del 1% y con una textura arenosa será mayor del 1%. Posteriormente se construye la acequia, que es un canal con taludes, relación 1:1, con un ancho variable, según la topografía del terreno y el caudal del afluente. Luego se construyen pozos de absorción a lo largo de la acequia, distanciados uno de otro cada diez metros, con una capacidad de 1 a 1.5 metros cúbicos por pozo. La cantidad de pozos depende de la textura del suelo. Para una textura arcillosa es necesario construir mayor cantidad de pozos. [25]

2.1.7.3 Filtros anaeróbicos de Flujos Ascendentes: El filtro anaerobio de flujo ascendente constituye un equipo de eliminación de materia orgánica soluble utilizado frecuentemente para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) son reactores de lecho de relleno utilizados en la reducción de materia orgánica disuelta con la ayuda de microorganismos anaerobios, que se encuentran adheridos sobre la superficie del material de relleno. Son el sistema denominado tanque séptico o pozo sépticos. Los principales inconvenientes que se presentan en este tipo de reactores son: inundación por colmatación del lecho de relleno y baja eficacia de reducción de la DBO₅, su eficiencia oscila entre 60 a 80%. Estos porcentajes generarían un alto costo para los pequeños y medianos caficultores además este sistema colapsaría en la época de pico de cosecha. [26]

2.1.7.4 Eliminación de sólidos tratamiento químico: Este es un proceso sencillo y barato que trata de disminuir o eliminar la carga orgánica suspendida y los malos olores de las aguas mieles, precipitando sales cálcicas por adición de cal, la cal aumenta y se forma sales cálcicas con los compuestos orgánicos, así como favorece la precipitación de otros compuestos en suspensión. Al tratamiento químico le siguen las pilas de floculación-decantación, para separar la materia orgánica (en forma de lodos y espuma) del agua clarificada. Según su carga orgánica residual, se dispone del agua o se pasa a otro proceso de purificación. El tratamiento químico, que puede ser una solución eficiente y relativamente poco costosa, se tiene que integrar adecuadamente a la cadena de control de contaminación. [28]

2.1.7.5 Lagunas de oxidación: Este es el módulo final de todas las fases de las PTAR. En ella, el agua continúa decantándose hasta alcanzar niveles menores de contaminación. El tiempo de residencia hídrica es toda la época posterior a la finalización de la temporada del beneficiado. En caso de que esta agua no sea utilizada para riego, puede esperar la temporada de lluvia para que el agua clarificada alcance una mayor dilución y oxidación, y luego verterla a un afluente. [28]

En las lagunas de oxidación se puede aplicar el tratamiento biológico, inoculando microorganismos que continúen descomponiendo la materia orgánica. También es útil sembrar alrededor de la laguna vegetación especializada en Evapotranspirar Agua, y luego poderla verter (cuando alcance el valor mínimo de los parámetros requeridos), poco a poco, a un afluente. Posteriormente a esta fase, también se pueden implementar los procesos de los humedales artificiales, con fines de efectuar un mayor decremento de la carga orgánica del agua residual. Las capacidades de volumen para albergar el agua clarificada, por lo general son del 50 al 60 % del total del volumen utilizado durante todo el período de beneficiado húmedo (90 a 120 días), siempre asumiendo una profundidad no mayor de 1.50 metros. [29]

2.1.7.6 Pilas de floculación decantación: Estas pueden ser construidas en dos sistemas: secuenciales o en paralelo, lo cual se elige dependiendo del área, forma y pendiente del terreno. Ambos sistemas fueron dos o más pilas para que se realice la floculación - decantación con un volumen igual de agua que se maneja a diario en el proceso del beneficiado, contemplando que la altura no sea mayor de 1.5 metros, en ellas, el agua tendrá un tiempo de residencia hídrica (TRH) de 24 a 48 horas. En la primera, tendrá un tiempo de residencia hídrica de 24 a 36 horas; en la segunda pila también de 24 a 36 horas, y así sucesivamente. [30]

El terreno tiene una pendiente de 10 a 15 % para dar efecto de escorrentía y así vaciar por gravedad el agua clarificada y los lodos. Cada uno tiene dos tipos de drenajes. Uno de ellos para drenar los lodos, con una salida de seis pulgadas de diámetro, que se ponen al fondo de la pila; y el otro, el de agua clarificada, que contará con un falso codo, con un diámetro de tres a cuatro pulgadas, colocado a un costado a favor de la pendiente, para drenar hacia el tanque situado a una plano más bajo, si el sistema es en serie; y si es en paralelo, drena a filtro de piedrín y grava; La expectativa de eficiencia en la reducción de la carga orgánica de estas pilas depuradoras, será eliminar entre el 50 y el 65% de los sólidos suspendidos y del 45 al 50% de DQO. [30]

2.1.7.7 Bioadsorbentes naturales: El término bioadsorción, se ha empleado para describir el fenómeno de captación pasiva de sustancias contaminantes, basado en las propiedades de ciertos tipos de biomasas inactivas o muertas que poseen para enlazar y acumular diferentes tipos de contaminantes en su estructura molecular en la actualidad existe una multitud de materiales con capacidades adsorbentes como la arcilla, carbones activados, residuos biomásicos modificados, etc. La inquietud por el desarrollo tecnológico de nuevos productos obedece a la preocupación constante por disminuir costos, optimizar los procesos productivos, reutilizar materias de desecho y simplificar los mecanismos de producción. [31].

2.1.8 Bases legales

La legislación ambiental encargada de regular y controlar los procesos productivos que generan impactos al medio ambiente y en tanto, tiene el objetivo de velar por un ambiente sano, como se puede observar en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5. Legislación ambiental colombiana

Norma	Descripción
Decreto 2811 de 1974	Código nacional de recursos naturales
Decreto 541 de 1974	Concesiones de aguas superficiales y subterráneas.
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan medidas sanitarias
Decreto 1594 de 1984, derogada por la 3930 del 2010 que fue modificada por la 4728 del 2010	Sobre las aguas servidas, usos u vertimientos de residuos líquidos
Decreto 1729 de 2002	Reglamenta sobre cuencas hidrográficas.
Decreto 3100 de 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 1180 de 2003	Sobre licencias ambientales
Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015.	Parámetros permisibles máximos en los vertimientos puntuales
Decreto 2667 de 2012	Cobro de tasas retributivas por vertimientos

Fuente: MADS 2014

Según la Resolución 0631 de 2015 establece los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales. No domesticas (ARND) a cuerpos de agua superficiales de las actividades productivas de agroindustria y ganadería se establecen de la siguiente tabla.

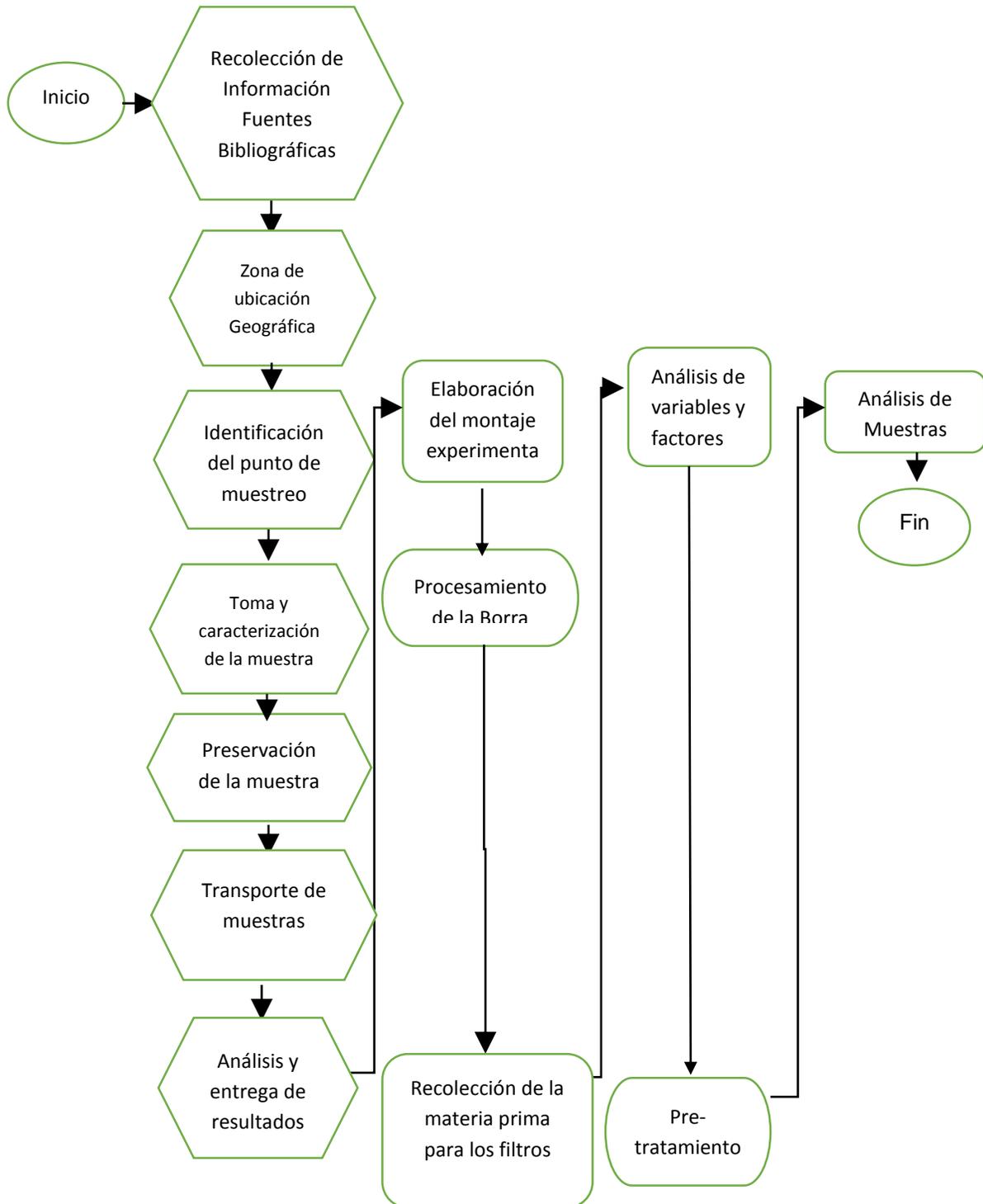
Tabla 6. Valores permitidos de carga orgánica contaminante resolución 0631 de 2015

Parámetro	Método	Concentración de carga orgánica Contaminante	Limite Max de Concentración de Carga Contaminante mg/l
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	Colorímetro	35930	3000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	Respirométrico	15285	400
Solidos Suspendidos totales (mg/l)	Gravimétrico	4767	800
pH	Potenciómetro	3,34	5 a 9

CAPITULO III: METODOLOGÍA

La ejecución del proyecto se realizó en dos fases con actividades cronológicas que facilitaron su comprensión y análisis; en la figura 6 se muestra el diseño experimental abordado.

Figura 6. Diseño experimental abordado en la investigación



3.1 Fase 1. Análisis físico - químico de aguas mieles

3.1.1 Punto de muestreo

La toma, recolección y caracterización de la muestra se llevó a cabo en la empresa SUPRACAFÉ Colombia S.A. (Vereda La Venta, municipio de Cajibío – Cauca), a una distancia de 92 metros del beneficiadero de café, al final del tubo de descarga sobre la margen del caudal del Río Sancudo.

Figura 7. Ubicación geográfica - Empresa SUPRACAFÉ Colombia S.A



Fuente-Alcaldía Cajibío 2002 (modificada)

3.1.2 Toma de muestra y medición de caudal

En el sitio de muestreo también se efectuó la medición del caudal debido a que es de fundamental atención en la implementación de cualquier sistema de tratamiento anaerobio, permitió trabajar en su regulación y el diseño de los filtros.

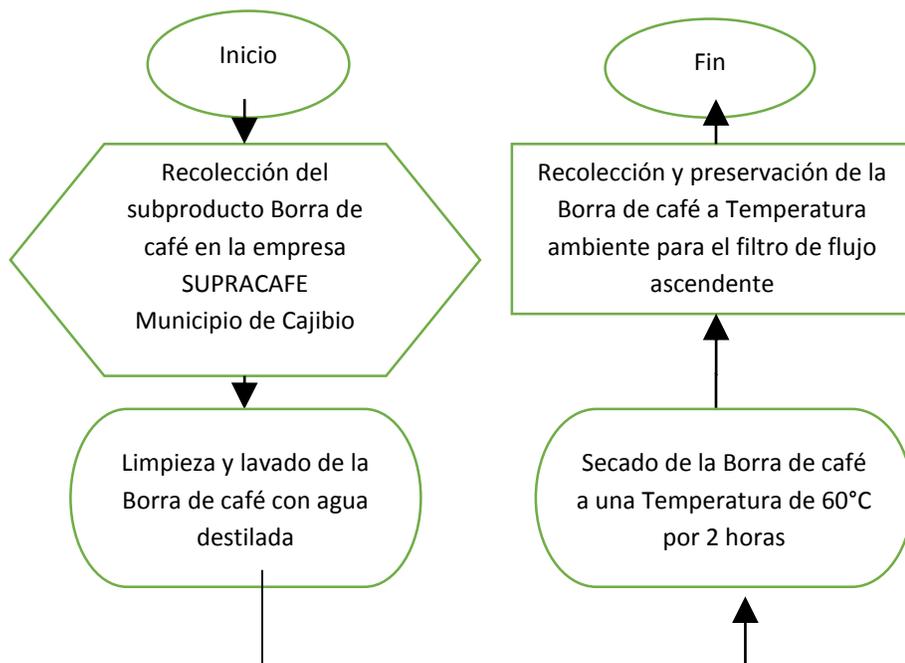
La toma del caudal se llevó a cabo mediante un método volumétrico manual, empleando un cronómetro y un balde aforado de 10 L, con graduaciones de 1 L; el procedimiento efectuado consistió en descargar el flujo del caudal directamente en el balde y simultáneamente se activó el cronometro, seguidamente se tomó el

volumen de la muestra simple entre 1 y 10 L; dependiendo de la velocidad de llenado y el tiempo transcurrido, se obtuvo el caudal correspondiente.

3.1.3 Obtención de la borra de Café

En la figura 8 se muestra el proceso realizado para la obtención de la borra de café, como materia prima para el montaje del filtro. En un recipiente hermético se recolectó una cantidad de 800g de borra en la empresa SUPRACAFÉ; el material fue lavado rigurosamente con agua destilada en un número no menor a tres veces, se filtró con papel filtro de diámetro 0,45mcm y seguidamente fue sometido a un proceso de secado continuo en una estufa a 60°C por 2 horas. Luego del proceso de secado, el material se recolectó en unos recipientes de vidrio de color ámbar a temperatura ambiente y finalmente, se obtuvo la materia prima para el montaje de los filtros experimentales.

Figura 8. Proceso de obtención de la borra de café



3.2 Fase 2. Diseño e implementación del prototipo experimental.

Con el fin de probar la eficiencia del uso de la borra de café como material bioadsorbente en sistemas de tratamiento de aguas mieles, se construyeron tres prototipos de sistema de filtro anaerobio a E 1:25, con diferentes porcentajes de mezcla, como lo muestra la Tabla 7. La elección de los porcentajes de mezcla en los filtros 1 y 2, se hizo con la intención de determinar la eficiencia de la borra como bioadsorbente alternativo con el carbón activado que se utiliza convencionalmente, por ende, contienen un mayor porcentaje de bioadsorbente; en el filtro 3, se intercambiaron los porcentajes de mezcla con respecto al filtro 1 para poder determinar con mayor rigor la eficiencia de la borra

Tabla 7. Porcentaje de mezcla en los prototipos

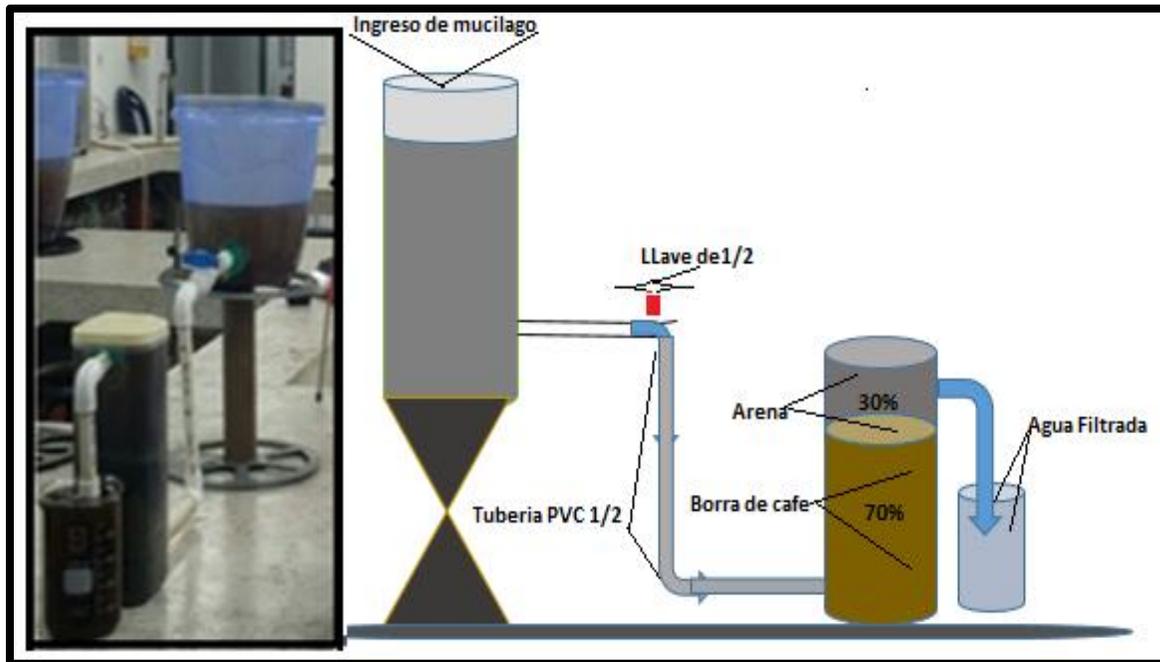
	FILTRO 1	FILTRO 2	FILTRO 3
MEZCLA	70% Borra, 30% Arena	70% Carbón Activado, 30% Arena	70% Arena, 30% Borra
CANTIDA	700 gr Borra, 300gr Arena	700 gr Carbón Activado, 300 gr Arena	700 gr Arena, 300 gr Borra

Para evaluar la eficiencia de remoción en las variables de DBO₅, DQO, pH y SST, en aguas mieles de café, se diseñó un Filtro Anaerobio de flujo Ascendente con lecho de arena, borra de café y carbón activado, construido en dos componentes básicos, uno basado en el proceso de sedimentación y el otro bajo el principio de filtración, el sedimentador fue de tipo Batch y el filtro fue de flujo continuo, con diferente porcentajes de mezcla para cada sistema de filtro, teniendo en cuenta los tiempos de retención hidráulica.

La fabricación del montaje experimental se compuso de dos recipientes cilíndricos de 50 cm de largo y 6 pulgadas de diámetro, asociados a una tubería de PVC de ½ pulgada en la parte superior e inferior del sistema; en ella, al final del proceso de filtración, se ubicó un recipiente cilíndrico que permite recolectar las muestras de

agua filtrada para su posterior análisis. La imagen 9 muestra el diseño y montaje de los filtros.

Figura 9. Diseño y montaje del filtro



3.2.1 Pre-Tratamiento primario

Para el desarrollo de esta investigación, se controlaron con un sistema de rejilla los sólidos suspendidos, como la pulpa y la rupa de café. Con el fin de evitar saturar los filtros y afectar el buen funcionamiento del sistema.

3.2.2 Implementación del prototipo experimental

El mucilago residual proveniente del beneficio húmedo del café fue sometido a un Sedimentador de Geometría Cuadrada con capacidad para 20 L, empleando TRH de 24 horas similares a los tradicionalmente empleados por los productores. Luego de culminado el TRH en el sedimentador tipo batch anaerobio, el mucilago se condujo a un filtro de Flujo Lento Ascendente que funciona solamente como lecho filtrante a partir de la borra de café como tratamiento final.

Para determinar la eficiencia del sistema en un prototipo E 1:25, se obtuvieron tres muestras puntuales de mucilago residual por triplicado (en los meses de noviembre y diciembre del año 2016 y febrero del año 2017), con el propósito de procesar estadísticamente la información de una forma más tangible y clara dentro de las distintas variables que determina el estudio. Por lo tanto, en los diversos prototipos, la muestra N°1, se tomó en el afluente antes de ingresar el mucilago al sedimentador y luego de pasar por el proceso de despulpado y lavado; la muestra N°2, se tomó del filtro de flujo ascendente, una vez se completó el proceso de filtración.

Una vez culminado el anterior proceso por cada prototipo, las muestras fueron transportadas hasta el lugar de almacenamiento (nevera portátil), para luego ser transferido al laboratorio certificado de la CRC, con el fin de medir el nivel de remoción de contaminantes en los filtros 1, 2 y 3 y determinar la eficiencia de los bioadsorbentes. Cabe resaltar que los parámetros químicos analizados como DBO₅, DQO, SST y pH, son exigidos por la normatividad ambiental colombiana y los procedimientos cumplieron con el protocolo de toma de muestras, transporte y almacenamiento de aguas residuales industriales, establecidos por el IDEAM.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Fase 1. Análisis físico - químico de aguas mieles

En los resultados obtenidos en los diversos prototipos de cada muestreo de la Tabla 8 se analizaron y verificaron las variables fisicoquímicas: DBO₅ DQO, SST y pH, las cuales fueron comparadas con la Resolución 0631 de 2015.

Tabla 8. Resultados de la caracterización Fisicoquímica de la muestra inicial en el punto de descarga

Parámetro	Método	Concentración carga orgánica Contaminante	Límite Máximo (mg/l) *	% límites permisible
DQO mg /l O ₂	Espectrofotometría	35930	3000 Proceso ecológico	1197,7
DBO ₅ mg /l O ₂	Respirométrico	15285	400 proceso tradicional	3821,3
SST mg/l	Gravimétrico	4767	800 proceso ecológico	595,9
pH	Potenciometrico	3,34	Limites Max de acidez	
			5 a 9	1,6

*Límite Máximo permisibles de carga contaminante mg/l (Res. 0631 - 2015)

Según los datos anteriores permiten establecer que ningún parámetro físico – químico tomado en el punto de descarga del vertimiento no se ajusta a la concentración máxima permitida por la Normatividad Ambiental Colombiana 0631 de 2015, es más, se evidencio que el porcentaje de infracción de la norma exige que se tomen medidas urgentes en cuanto a la depuración de las aguas mieles vertidas por la empresa SUPRACAFÉ, puesto que la alta concentración de carga

contaminante posiblemente está afectando considerablemente los ecosistemas de la microcuenca Quebrada Sancudo y la comunidad que se ubica en su zona de influencia.

Partiendo de este análisis y de la realidad, Colombia es un productor potencial de café, que concentra el sector en manos de los pequeños y medianos productores tal vez con menos capacidad instalada que la empresa SUPRACAFE, por lo tanto, se hace sumamente importante implementar un sistema de tratamiento para las aguas mieles de café, que responda a la problemática ambiental colombiana. Los datos anteriores reflejan la importancia de este proyecto de investigación, que involucra el diseño de un prototipo experimental a E 1:25, para comprobar la eficiencia de la Borra como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas mieles, el cual se podría considerar un sistema alternativo muy viable para atender la problemática ambiental en muchas fincas productoras de café que no disponen de los recursos para implementar tecnologías costosas.

4.2 Análisis de eficiencia de los lechos Filtrantes

El análisis de eficiencia de los lechos filtrantes, se realizó mediante la comparación de los resultados de eficiencia de remoción de materia orgánica, obtenido de los 3 sistemas de tratamientos, que en efecto fueron determinados mediante análisis estadístico y porcentajes de remoción. Tomando como base la siguiente fórmula para el cálculo de porcentajes de remoción de materia orgánica.

$$\% R = \frac{\text{Afluyente} - \text{Efluyente}}{\text{Afluyente}} * 100$$

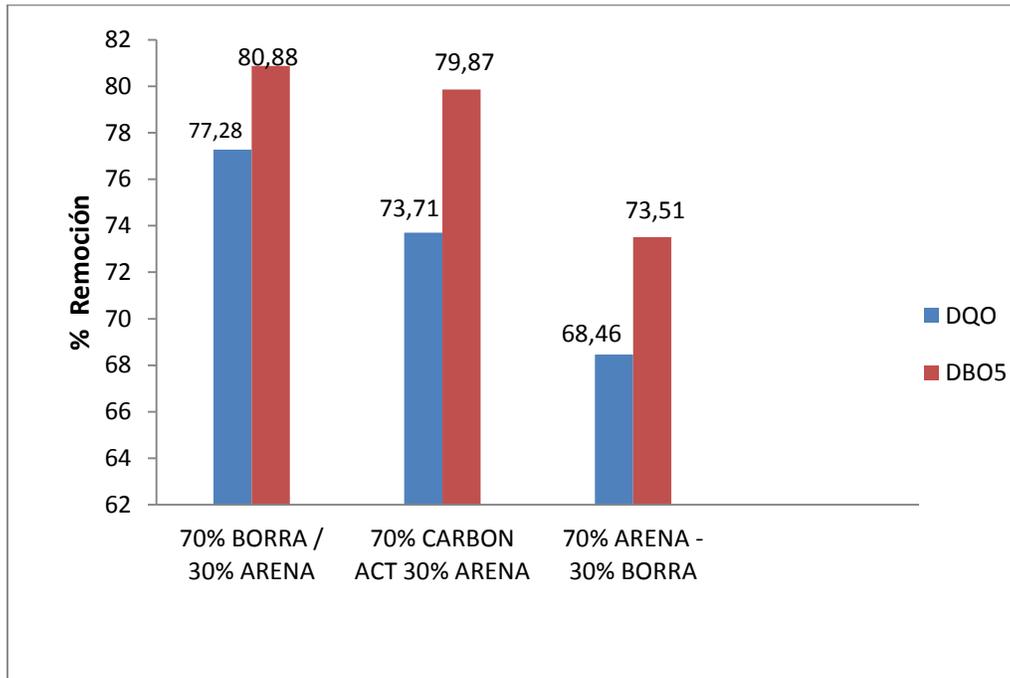
En la gráfica 1. Estos porcentajes de remoción calculados de cada lecho filtrante, son comparados estadísticamente en porcentajes de remoción para DQO y DBO₅, la cual permite identificar que el sistema tecnológico más eficiente en remoción de cargas contaminantes para aguas mieles de café es lecho filtrante 70% Borra de café y 30% Arena, en donde el sistema presentó un comportamiento positivo debido al conjunto de todas las actividades de mantenimiento, operación y limpieza realizadas dentro del sistema y durante el pretratamiento. Además, su eficiencia también se asocia a la presencia de microorganismos., que en efecto permitió que la remoción se optimice en un porcentaje superior al 80% para los parámetros químicos DQO y DBO₅. Con esto se puede afirmar que el filtro es eficiente y cumple con un buen proceso de remoción de carga contaminante. (Ver Anexo I)

En este estudio comparativo también se identifica el material adsorbente **70% carbón activado y 30% Arena** en donde este sistema, no cumplió con lo establecido en el decreto 0631 de 2015. Lo que pudo ser como consecuencia al bajo proceso biológico que ocurre en este sistema, ya que en la totalidad del funcionamiento del filtro fue un proceso físico, en donde la DQO como la DBO₅, presentaron valores deficientes para este tipo de muestreo debido al bajo poder de absorción que contiene este material filtrante frente a sustancias contaminantes como son las aguas mieles de café (Anexo J)

Respecto al lecho filtrante **70% Arena 30% Borra**. Los procesos de remoción para DQO y DBO₅ Se observó un bajo porcentaje de remoción <80% de eficiencia. Lo que quiere decir que este sistema no cumplió con la normatividad ambiental 0631 de 2015, debido a la mayor cantidad de carga contaminante y de mayor cantidad de sólidos suspendidos (rupia de café) producido en la época de cosecha de café (Anexo L), Que en efecto saturó el filtro y disminuyó su eficiencia. Además, el sistema de tratamiento no cuenta con un proceso biológico si no con un proceso físico, en donde su totalidad del lecho filtrante es: 70% Arena; por esta razón no

ocurrió una buena eficiencia de remoción para los parámetros DQO y DBO₅. Este comportamiento se puede observar en la siguiente grafica

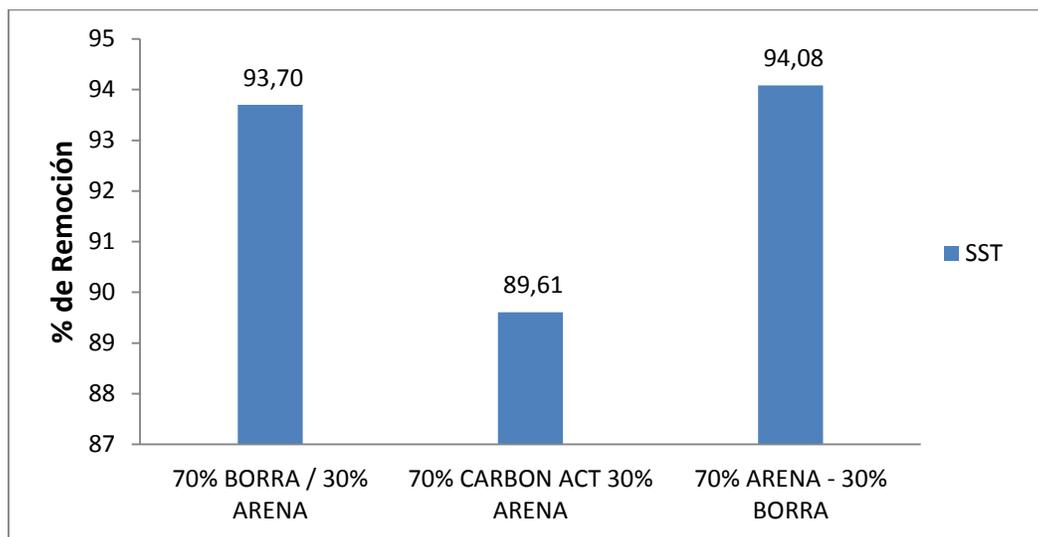
Graficas 1. Porcentaje de Remoción Para DQO y DBO₅



4.3 Determinación de Sólidos Suspendidos Totales

En los procesos de remoción de sólidos suspendidos totales SST, de entrada y salida en los tres sistemas de tratamiento de escala 1:25 fue muy superior al 80%, en los tres lechos filtrantes, debido a que estos filtros, desempeñaron un excelente proceso físico de retención de sólidos suspendidos y partículas coloidales, que en efecto permitió que la porosidad de la Arena, Carbón activado y la Borra. Tuvieron la acción mecánica de filtrar y de sedimentar partículas sobre el material filtrante, por lo tanto, el sistema más eficiente fue la combinación 70% Arena y 30% Borra, este comportamiento se puede observar en la siguiente gráfica.

Graficas 2. Comportamiento de SST



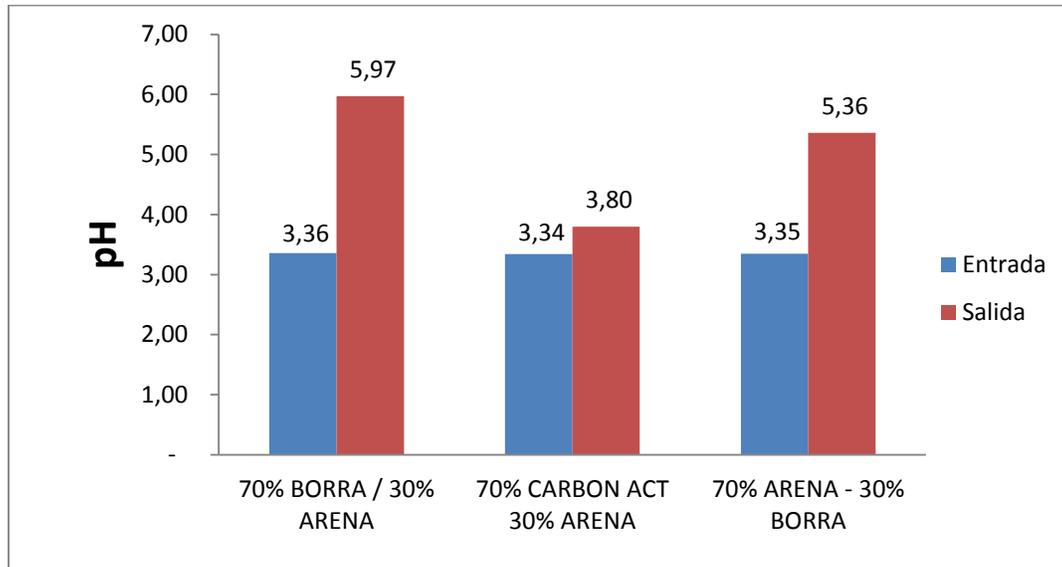
4.4 Determinación de pH

En el grafico 3 se puede notar que el filtro 1 y 3 presenta una buena remoción del pH. Ya que el pH durante cada muestreo se hace más significativa su eficiencia, pasando de un estado de acidez de 3,36 a 5,9 y de 3,35 a 5,36. Este comportamiento se debe a que posiblemente la borra actuó como medio básico, debido al alto contenido de sustancias bioactivas, como son ácidos clorogénicos y feruloilquínicos, los cuales contribuyen en la disminución de acidez. Es decir el porcentaje de mezcla entre borra de café y Arena se ajustó a las expectativas esperadas en la investigación ya que normatividad ambiental 0631 de 2015, exige que el pH este entre un rango entre 5-9.

Respecto al filtro 2. la Acidez no mejoro debido a que posiblemente según el reporte de (Álvarez et al. 2011) los óxidos que contiene el carbón activado, al entrar en contacto con una sustancia acida como son las aguas miles de café se convirtieron en hidróxidos y por esta razón en este sistema el pH fue de menor eficiencia

registrado en esta investigación. Ya que normatividad ambiental 0631 de 2015, exige que el pH debe estar entre un rango entre 5-9.

Graficas 3. Comportamiento de pH



Si se efectúa únicamente los porcentajes de remoción, se puede generalizar que los tres sistemas en prueba no distan mucho en relación a sus resultados; sin embargo, se analizó que el carbón activado tiene una capacidad de absorción de características similares a la borra de café, no obstante, la borra por ser un material de origen natural que demostró mayor eficiencia con resultados favorables en esta investigación. Es el lecho filtrante que más se acerca al cumplimiento de los parámetros exigidos por resolución 0631 de 2015. Es decir, la borra como bioadsorbente será el nuevo material residual, que aportará una nueva solución para el tratamiento de las aguas mieles de café.

4.5 Elemento comparativo entre la borra y el carbón activado

Según la comparación de carbón activado y borra de café ambos cumplen con un buen proceso de remoción de materia orgánica, sin embargo, el costo beneficio para ambos productos es más favorable la borra o concho del café, ya que los

caficultores tienen un mayor beneficio en cuestiones de economía para valores de reutilización de dicho residuo y un valor agregado en aportes al medio ambiente. Además, el costo de fabricación del filtro, para tratamientos de aguas miles de café, está basado en 12,000 pesos, A diferencia el carbón activado, en donde la fabricación del filtro solo costo 35,000pesos, debido al costo del mineral por cada kilogramo de carbón, la cual se utilizaron 3 kilos por solo 23000 pesos. Por lo tanto, la implementación del filtro 70% borra y 30% Arena son bastante favorables y positivos, ya que va a permitir mejorarla calidad de vida y va disminuir el impacto causado en el medio ambiente, como se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Comparativo entre la borra y el carbón activado

	ORIGEN	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICA	COSTO
BORRA DE CAFÉ	Residuo generado por tostado del café	Bioadsorbente	Es un material de origen natural, de fácil alcance para los caficultores	18.000 pesos por fabricación
CARBÓN ACTIVADO	Explotación de tipo minero y Artesanal	Bioadsorbente	Es una materia de origen industrial y de comercialización	35.000 pesos por fabricación y compra del mineral

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las comparaciones de resultados muestran que el carbón activado, aunque es una sustancia muy utilizada para el tratamiento de aguas residuales, es menos eficiente que la borra de café; lo cual convierte este último bioadsorbente en una gran alternativa para el diseño y construcción de los sistemas de tratamiento de aguas mieles que beneficiaría a los pequeños y medianos caficultores en cuanto a la mejora en las normas de calidad ambiental

Los resultados obtenidos en los análisis físico químicos para cada uno de los filtros reportaron resultados positivo de aproximadamente un 80% de eficiencia de remoción para los parámetros de DQO y SST en el filtro 70% Borra y 30% Arena, lo cual demuestra que la borra como subproducto de origen residual y vegetal será el nuevo material bioadsorbente que aportara una solución para el tratamiento de las aguas mieles de café a bajo costo garantizando a los pequeños y medianos caficultores una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente

El diseño y construcción del prototipo a escala de laboratorio es de bajo costo y fácil ensamblaje su beneficio en cuestiones de economía es mayor que cualquier otro diseño que se encuentra el mercado es más accesible para los caficultores ya que la borra como materia prima, derivado de un subproducto del café y con beneficio ambiental de menor costo y sostenible.

5.2 Recomendaciones

Es importante realizar la caracterización en el proceso de sedimentación de los residuos generados en el tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café, ya que permite determinar la cantidad de sólidos suspendidos, y así mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento.

Además, se debe tener en cuenta que este tipo de tratamiento de aguas residuales del beneficiado del café, al someterlo a un tratamiento previo con sedimentadores y tiempo de retención mayor a 24 horas, se está garantizando que haya mayor grado de sedimentación para mitigar la saturación en los filtros y lograr una eficiencia óptima en remoción de los contaminantes de las aguas miles.

Es de suma importancia que la borra de café o concho tenga un secado y lavado homogéneo a temperatura constante de 40°C por dos horas para lograr un mejor proceso de absorción del material filtrante

Para mejorar la eficiencia de remoción en los parámetros físico químico es necesario proponer un sistema alternativo que solucione los componentes de factores en procesos de sedimentación para solucionar los problemas de saturación en el sistema.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA

6.1 Bibliografía

- [1] Alvarado a., g.; posada s., h.e.; cortina g., h.a.; duque o., h.; Baldión r., j.v.; Guzmán., O. La Variedad Castillo Naranjal para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. Avances Técnicos Cenicafé No. 338:1-8. 2005

- [2] BARRERA G., J.E. Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas de la zona cafetera colombiana. Bogotá (Colombia), Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003. 137 p. (Tesis: Ingeniero Forestal).

- [3] Consejo Mundial Del Agua. Perspectiva Transversal A: Modelos Innovadores para el Financiamiento de Actividades Locales. Documento Temático. 4° Foro Mundial del Agua. Ciudad de México, marzo de 2006 14

- [4] K. Reynolds, "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema," *La Llave*, p. 4, 2002.

- [5] Rondón, M., "Diseño del sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas para las poblaciones de Morichalito y San José de Morichalito ubicado en el municipio Cedeño, Estado Bolívar". Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Civil, UDO, Barcelona (2007).

- [6] Aguilar, F.X.; Botero, r.; (2006). Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical*, 2 (1), 15-25.
- [7] Rojas, R. y León, G., “Lagunas Facultativas en serie y en paralelo Criterios de dimensionamiento”, Trabajo de investigación, CEPIS/OPS, Lima, Perú. (1990).
- [8] Saenz, R. “Diseño De Lagunas De Estabilización” Publicado En El Manual Del Curso Sobre Lagunas De Estabilizacion Y Zanjias De Oxidación, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia,1975.
- [9] Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, «Informe anual de la red de monitoreo de calidad del agua,» 20 diciembre 2013. [En línea]. Available:
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Decreto 2667 de 21 de diciembre de 2012,» 21 diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.andi.com.co/Archivos/file/Vicepresidencia%20Desarrollo%20Sostenible/2013/DECRETO26672012.pdf>. [Último acceso: 5 abril 2014]
- [11] COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Sin fecha. Legislación del agua. Normativa nacional para la administración y planificación ambiental del agua. [En línea] Sin fecha. [Citado el: 7 de noviembre de 2012.].
- [12] Crites, R. & Tchobanoglous, G. “Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados”. Ediciones McGraw-Hill interamericana S.A, (2000).
- [13] Metcalf & Eddy, “Ingeniería de aguas residuales” Volumen 1, Tratamiento, vertido y reutilización, Ediciones McGraw-Hill, España, 3ra edición, (1995).

- [14] Rolim, S. "Seminario internacional tratamiento de aguas residuales a través de humedales naturales y artificiales y lagunas de estabilización". 125 Organización Panamericana de la Salud. Santa Fe de Bogotá, Colombia. (1999).
- [15] Romero, R. "Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización". Editorial Alfa omega. 3^a. Edición. (1999). [9] Cubillos, A. "Criterios para dimensionar lagunas de estabilización". Serie ambiente y recursos renovables AR-9. Mérida, Venezuela. (1982).
- [16] Sáenz, R. "Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales". Manual DTIAPA N°C-14 CEPIS. Perú, Lima, (1985).
- [17] Cubillos, A. "Lagunas de estabilización". Serie ambientes y recursos naturales renovables AR-15. Mérida, Venezuela. (1985). [12] Mara, D., Alabaster, G. y Pesaron, H. "Wastes tabilizationponds: a design manual foreastern Africa". Lago on Technology international, Leeds, Inglaterra, (1992).
- [18] Gloyna, E., "Estanques de estabilización de aguas residuales". Organización mundial de la salud, Serie de monografías, N° 60. (1973).
- [19] 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:
- [20] Yáñez, C., "Reducción de organismos patógenos y diseño de lagunas de estabilización en países en desarrollo", Trabajo presentado en el XIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Santiago, Chile, (1984).
- [21] Corporación Autónoma Regional del Cauca, «Asesoría técnica en la implementación de modelos de calidad del agua del Río Palo,» Popayán.

- [22] Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de Amazonía - CORPOAMAZONIA, «Protocolo para la toma de muestras de aguas residuales,» 4 mayo 2010. [En línea]. Available: para_Toma_de_Muestras_de_Aguas_Residuales.pdf. [Último acceso: 28 abril 2014].
- [23] Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible, «Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 200. Título E. Tratamiento de aguas residuales municipales,» noviembre 2000. 28 abril 2014].
- [24] GUERRERO., y J. RAMÍREZ, I. (2004). Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. Scientia et Technica. Volumen N° 26. Pág., 200.
- [25] INTEC CHILE, (1998). Opciones de Gestión Ambiental Sector Matadero. Documento de difusión, fondo de desarrollo e innovación de CORFO, Santiago, Chile, Pág. 9.
- [26] Benavides, M. D. P; (2006). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la central de sacrificio de Túquerres. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- [27] DECRETO 4728/2010 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. www.minambiente.gov.co.
- [28] Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC, «Caracterización y modelación del Río Zanjón Oscuro,» Popayán, 2002.
- [29] Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, «CARACTERIZACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CAUCA Y SUS TRIBUTARIOS - TRAMO SALVAJINA – LA VIRGINIA,» 17 Julio 2001. [En línea]. Available: presentacionv6f1.pdf. [Último acceso: 25 abril 2014].

- [30] 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.
- [31] Corporación Autónoma Regional del Cauca, «Asesoría técnica en la implementación de modelos de calidad del agua del Río Palo,» Popayán.
- [32] C. Lindim, J. Pinho y J. Vieira, «Análisis of spatial and temporal patterns in a larger eservoirusingwater quality and hydrodynamic modeling, Ecological Modelling, »science direct, vol. 222, nº 14, p. 2485–2494, 2011.
- [33] DECRETO 3930/2010 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- [34] CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ. Cenicafé. Beneficio Ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999

ANEXOS

Anexo A: Toma, recolección y caracterización de la muestra en el punto de descarga vereda la venta Cajibío, Empresa Supracafe S.A



Anexo B: Ubicación geográfica de la zona estudio Empresa Supracafe S.A



Anexo c: Recolección de muestra de aguas mieles de café



Anexo D: Toma de las muestras de campo en el punto de muestreo, rotulación, embalaje y transporte de la muestra para su posterior análisis correspondiente a la concentración de DBO₅, DQO, SST y en la Ciudad de Popayán laboratorio CRC.



Anexo E: Correspondiente embalaje y conservación de la muestra de cada una de las muestras dispuestas hacer transportadas laboratorio para su respectivo análisis.



Anexo F: Preparación y montaje de los filtros para realizar las pruebas de filtración para cada tipo de lecho filtrante para el control de DBO_5 , DQO, SST y pH



Anexo G: recolección de las Muestras filtradas por los tres filtros con diferentes tipos de bioadsorbentes para el análisis del rendimiento para cada muestra 70% Borra 30% Arena – 70% carbón Activado 30% arena y 70% arena. -30% Borra



Anexo H: Caracterización Físicoquímica

CALCULO DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN			
Lechos filtrantes	SST	DQO	DBO₅
70% borra / 30% arena	93,70	77,28	80,88
70% carbón activado 30% arena	89,61	73,71	79,87
70% arena - 30% borra	94,08	68,46	73,51

Anexo I: Caracterización Entrada y Salida - Filtro 1

Parámetros Químicos		Unidad	Muestreo 1	% Remoción	Muestreo 2	% Remoción	Muestreo 3	% Remoción
Entrada	DBO ₅	mg /L O2	15285	74,09	15146	75,02	14896	82,73
Salida	DBO ₅	mg /L O2	3960		3784		2573	
Entrada	DQO	mg /L O2	35930	77,48	34985	78,2	32938	86,96
Salida	DQO	mg /L O2	8090		7628		2947	
Entrada	SST	mg/L	4267	93,7	4316	92,82	3640	94,59
Salida	SST	mg/L	269		310		197	
Promedios totales de Eficiencia				81,79		82,01		88,09
Entrada	pH	UN	3.34		3,35		3,34	
Salida	pH	UN	5.37		5,50		5,97	

Anexo J: Caracterización Entrada y Salida - Filtro 2

Parámetros Químicos		Unidad	Muestreo	% Remoción	Muestreo	% Remoción	Muestreo	% Remoción
			1		2		3	
Entrada	DBO ₅	mg /L O ₂	15285	74,89	15146	71,61	14896	74,62
Salida	DBO ₅	mg /L O ₂	3840		4300		3781	
Entrada	DQO	mg /L O ₂	35930	81,94	34985	77,44	32938	80,23
Salida	DQO	mg /L O ₂	6490		7892		6512	
Entrada	SST	mg/L	4267	88,28	4316	89,18	3640	91,37
Salida	SST	mg/L	500		467		314	
PROMEDIOS TOTALES DE EFICIENCIA				81,70		79,41		82,07
Entrada	pH	UN	3,34		3,35		3,34	
Salida	PH	UN	3,85		3,90		3,80	

Anexo L: Caracterización Entrada y Salida - Filtro 3

Parámetros Químicos		Unidad	Muestreo	% Remoción	Muestreo	% Remoción	Muestreo	% Remoción
			1		2		3	
Entrada	DBO ₅	mg /L O ₂	15285	68,20	15146	68,32	14896	68,85
Salida	DBO ₅	mg /L O ₂	4860		4798		4640	
Entrada	DQO	mg /L O ₂	35930	73,94	34985	73,94	32938	73,06
Salida	DQO	mg /L O ₂	9510		9116		8873	
Entrada	SST	mg/L	4267	94,14	4316	93,33	3640	94,78
Salida	SST	mg/L	250		288		190	
PROMEDIOS TOTALES DE EFICIENCIA				78,76		78,33		94,78
Entrada	pH	UN	3,34		3,35		3,34	
Salida	pH	UN	5,37		5,42		5,36	

Anexo M. Reporte de Resultados mes de noviembre, Diciembre Y febrero De 2015 Y 2016.

Reporte N° 463	 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1

Fecha: Diciembre 1 de 2016.	Solicitud N°: 315
Cliente: Jhon Leyder Bolaños	Teléfono: 3137915211
Dirección: La Venta, Cajibío	Fecha de Recepción: Noviembre 16 de 2016.
Municipio de muestreo: Cajibío	Fecha de Análisis: Noviembre 16 a noviembre 25.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	No suministrado por el cliente
Fecha de Muestreo	No suministrado por el cliente
Lugar de muestreo	Finca Los Naranjos
Procedimiento de muestreo	No suministrado por el cliente
Condiciones ambientales	No suministrado por el cliente

Identificación de la muestra

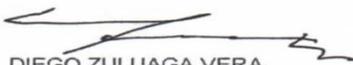
Código Muestra	Sitio de Muestreo
1080	Finca Los Naranjos

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados
pH	SM 4500-H B	Unidad	3.34
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	15285
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	35930
SST	SM2540D	mg/L	4267

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.


DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602



Reporte N° 486

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013
		Versión: 3
		Página 1 de 1
REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA		

Fecha: Diciembre 9 de 2016.

Cliente: Jhon Leyder Bolaños	Solicitud N°: 330
Dirección: La Venta, Cajibío	Teléfono: 3137915211
Municipio de muestreo: Cajibío	Fecha de Recepción: Noviembre 22 de 2016.
	Fecha de Análisis: Noviembre 22 a diciembre 3.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de muestreo	Finca Los Naranjos
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1124	Agua filtrada 30% borra, 70% arena
1125	Agua filtrada 70% borra, 30% arena
1126	Agua filtrada 70% carbón activado, 30% arena

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados		
			1124	1125	1126
pH	SM 4500-H B	Unidad	5.37	5.96	3.85
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	4860	3960	3840
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	9510	8090	6490
SST	SM2540D	mg/L	250	269	500

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
-Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602



Reporte N° 486

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013
		Versión: 3
		Página 1 de 1
REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA		

Fecha: Diciembre 9 de 2016.

Cliente: Jhon Leyder Bolaños	Solicitud N°: 330
Dirección: La Venta, Cajibío	Teléfono: 3137915211
Municipio de muestreo: Cajibío	Fecha de Recepción: Noviembre 22 de 2016.
	Fecha de Análisis: Noviembre 22 a diciembre 3.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de muestreo	Finca Los Naranjos
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

Identificación de la muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1124	Agua filtrada 30% borra, 70% arena
1125	Agua filtrada 70% borra, 30% arena
1126	Agua filtrada 70% carbón activado, 30% arena

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados		
			1124	1125	1126
pH	SM 4500-H B	Unidad	5.37	5.96	3.85
DBO ₅	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	4860	3960	3840
DQO	SM5220D, modificado	mg/L	9510	8090	6490
SST	SM2540D	mg/L	250	269	500

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
-Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 - 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co



Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602