

Implementación de filtros biotecnológicos conformado por Sistemas Modulares (SMTA) y Filtros Verdes Con Pasto Vetiver (*Chrysopon zizanoides*), para descontaminar las aguas residuales provenientes del beneficio del café En Las Fincas, La Polka, Santa Rita Y Zelandia Del Municipio De El Líbano Tolima.

Cristian Camilo Bernal Marín

Wilmer Andres Chisco

Yenny Paola Velásquez Zambrano

Asesor:

Francisco José Montealegre Torres

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2023

Francisco José Montealegre Torres

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A nuestros familiares y personas que han intervenido de manera positiva, fortaleciendo la motivación para poder alcanzar nuestras metas y estar en este proceso final de más de cinco años de formación. A las familias cafeteras que hicieron parte de nuestro proyecto aplicado, desarrollado; A sus colaboradores y personas que ayudaron a ejecutar cada una de las mejoras propuestas, a cada uno de los profesores de la universidad nacional abierta y a distancia UNAD, quienes a lo largo de la carrera nos transmitieron sus conocimientos, fortaleciendo los nuestros a tal punto de lograr terminar nuestra etapa formativa.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a la federación nacional de cafeteros quienes desde su centro experimental cenicafe, desarrollan procesos investigativos para el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al cultivo de café y al mejoramiento de la calidad de vida de las familias caficultoras, estas investigaciones son divulgadas ante la comunidad y fueron base fundamental para aplicarlos en nuestro proyecto de grado. A la cooperativa de caficultores del Líbano Tolima por su entrega de conocimiento y participación replicando la información ejecutada a ser visible ante la comunidad cafetera de la región. Al grupo de semillero de investigación de la universidad nacional abierta y a distancia UNAD, por la oportunidad que nos dieron de participar en los encuentros zonales y regionales donde pudimos hacer visible nuestro proyecto.

Resumen

Dadas las necesidades visibles en el panorama rural del municipio del Líbano Tolima, específicamente en las Veredas La Cuna, El Delirio y Zelandia, se evidencia un alto grado de contaminación generado por los procesos de la caficultura, actividad económica principal de los agricultores de este sector y municipio en general. Es evidente la contaminación generada al suelo y el agua en cada finca y en las veredas, originada por la mala disposición de las aguas mieles resultado del proceso de beneficio del café. Al ver esta problemática y la poca empatía de los productores con el medio ambiente, la falta de un sistema funcional para el manejo del agua contaminante. Iniciamos un proceso de recolección información científica y tecnológica aplicable a la solución de la problemática presentada, con base en los avances tecnológicos disponibles en el momento, desarrollados por cenicafe.

Resultado de esto se decide implementar un filtro verde (Pasto Vetiver) como alternativa para el control y descontaminación de aguas miel integrado con una tecnología instalada en algunos sistemas productivos que son los sistemas modulares. La unión de estos dos avances tecnológicos nos permite tener un control de filtrado del 85 a 90% de los materiales contaminantes que contiene este tipo de agua residual.

Teniendo en cuenta la problemática y la tecnología necesaria para su mitigación, se desarrolló un modelo integrado que fue aplicado para cada sistema productivo, ajustado a la cantidad de área sembrada en café, las características topográficas de cada predio, y la economía y disposición de cada productor; el proyecto se desarrolla así en las Veredas La Cuna, Finca La Polka de propiedad del Señor Álvaro Sierra Soler, Finca Zelandia localizada en la vereda Zelandia de propiedad del señor Luis Fernando Chisco y Finca Santa Rita vereda el Delirio de Propiedad de la señora Martha Inez Vargas.

Una vez puesto en funcionamiento los filtros integrados (sistema modular y filtro verde con pasto Vetiver), se emplearon métodos que nos permitieron evaluar de manera cualitativa y cuantitativa su efectividad.

La finalidad del proyecto es obtener los parámetros concretos y aceptables dentro de la implementación y normatividad de vertimiento de aguas residuales (CORTOLIMA), para fincas y manejo integrado de suelos en fincas establecidas por CENICAFE, necesarios para la certificación en buenas prácticas agrícolas y otros sellos de alta calidad de producción de café.

Palabras Clave: Café, Filtros, Aguas residuales, Descontaminación, Sistemas modulares.

Abstract

Given the visible needs in the rural panorama of the municipality of Líbano Tolima, specifically on the Veredas La Cuna, El Delirio and Zealandia, a high degree of pollution generated by the coffee growing processes, the main economic activity of the farmers in this sector, is evident. and municipality in general. The contamination generated to the soil and water in each farm and in the paths is evident, caused by the poor disposal of the honey water resulting from the coffee processing process. Seeing this problem and the little empathy of the producers with the environment, the lack of a functional system for the management of polluting water. We began a process of collecting scientific and technological information applicable to the solution of the problem presented, based on the technological advances available at the time, developed by CENICAFE.

As a result of this, it was decided to implement a green filter (Vetiver Grass) as an alternative for the control and decontamination of honey waters integrated with a technology installed in some production systems, which are modular systems. The union of these two technological advances allows us to have filter control of up to 90% of the contaminating materials contained in this type of wastewater.

Taking into account the problem and the technology necessary for its mitigation, an integrated model was developed that was applied for each productive system, adjusted to the amount of area planted in coffee, the topographic characteristics of each property, and the economy and layout of each producer; The project is thus developed in the Veredas: La Cuna, Finca La Polka owned by Mr. Álvaro Sierra Soler, Finca Zealandia located in the Vereda Zealandia owned by Mr. Luis Fernando Chisco and Finca Santa Rita vereda El Delirio owned by Mrs. Martha Inez Vargas.

Once the integrated filters (modular system and green filter with Vetiver grass) were put into operation, methods were used that allowed us to qualitatively and quantitatively evaluate their effectiveness.

The purpose of the project is to obtain the specific and acceptable parameters within the implementation and regulations of wastewater discharge (CORTOLIMA), for farms and integrated soil management on farms established by CENICAFE, necessary for certification in good agricultural practices and other seals. high quality coffee production.

Keywords: Coffee, Filters, Wastewater, Decontamination, Coffee, Modular systems.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento Del Problema.....	15
Formulación Del Problema.....	15
Justificación	16
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
Marco De Referencia	19
Marco Contextual.....	23
Historia Del Café De Colombia.....	23
Importancia del Café en la Economía de Colombia	23
Origen del café	24
Economía cafetera	24
Tipos de café en el mundo.....	24
Marco Teorico.....	25
Tipos de beneficio en el café	25
Beneficio Café Húmedo	25
Beneficio convencional	25
Beneficio ecológico del café	25
Becolsub.....	26
Ecomil	26
Área de influencia	26

	10
Marco Normativo.....	28
Metolodogía	30
Metodologia	35
Reactores Hidrolíticos-Aci- Dogénicos – RHA.....	35
Recámara De Dosificación - RD	36
Reactores Metanogénicos- RM	39
Inoculación de los Reactores Metanogénicos	41
Aclimatación Y Arranque De Los Reactores Metanogénicos	43
Acidificación De Los Reactores Metanogénicos	46
Tecnología SMTA.....	46
Sin Químicos	46
Sin Bombas.....	46
Sin Calentamiento	46
Pasto Vetiver	48
Instalacion Filtro Verde.....	50
Modelo De Sistema De Riego Por Goteo Lento Ensamblado	51
Ensamble	52
Recoleccion De Datos	57
Resultados de análisis de agua en trampa de pulpas y luego de procedimiento de filtrado.	64
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias.....	74

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Medicion pH y T^oc reactores metanogénicos y acidogénicos finca La Polka.....</i>	58
Tabla 2	<i>Medicion pH y T^oc reactores metanogénicos y acidogénicos finca Santa Rita.....</i>	60
Tabla 3	<i>Medicion pH y T^oc reactores metanogénicos y acidogénicos finca Zelandia.....</i>	62

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Reactor acidogénico finca Zelandia</i>	33
Figura 2 <i>Recamara – Trampa de pulpas finca Zelandia</i>	34
Figura 3 <i>Recamara y salientes finca Zelandia</i>	34
Figura 4 <i>Reactores inerconectados, finca La Polka</i>	36
Figura 5 <i>Recamara dosificadora finca Santa Rita</i>	37
Figura 6 <i>Conexión recamara y reactores finca La Polka</i>	38
Figura 7 <i>Reactor metanogénico (RM)</i>	40
Figura 8 <i>Inoculación cal reactor metanogénico</i>	42
Figura 9 <i>Aclimatación microorganismos</i>	43
Figura 10 <i>Reactores funcionando 60 días, finca Santa Rita</i>	45
Figura 11 <i>Adición del filtro verde con pasto vetiver al sistema SMTA</i>	48
Figura 12 <i>Dispositivo Dron</i>	49
Figura 13 <i>Dispositivo Dron terminado</i>	50
Figura 14 <i>Sistema de riego por goteo</i>	52
Figura 15 <i>Preparación del terreno 4x3 metros finca Zelandia</i>	53
Figura 16 <i>Sistema de riego por goteo 1</i>	53
Figura 17 <i>Sistema de riego por goteo 2</i>	54
Figura 18 <i>Siembra de pasto vetiver</i>	54
Figura 19 <i>Filtro verde finca Zelandia</i>	55
Figura 20 <i>Toma de muestra agua residual trampa de pulpa finca la Polka</i>	56
Figura 21 <i>Embalaje de muestras de agua para laboratorio</i>	56
Figura 22 <i>Medición pH y T°c, reactores RA-RM- finca la Polka</i>	57

Figura 23 <i>Variable pH – T°c. reactores finca La Polka</i>	59
Figura 24 <i>Variable pH – T°c. reactores finca Santa Rita</i>	61
Figura 25 <i>Variable pH – T°c. reactores finca Zelandia</i>	63
Figura 26 <i>Muestra Laboratorio aguas mieles reactor trampa pulpa finca La Polka</i>	64
Figura 27 <i>Muestra Laboratorio filtro verde Fase Final finca La Polka</i>	65
Figura 28 <i>Muestra Laboratorio aguas mieles reactor trampa de pulpa finca Santa Rita</i>	66
Figura 29 <i>Muestra Laboratorio filtro verde fase final finca Santa Rita</i>	67
Figura 30 <i>Muestra Laboratorio aguas mieles reactor trampa de pulpa finca Zelandia</i>	68
Figura 31 <i>Muestra filtro verde, fase final finca Zelandia</i>	69

Introducción

El Líbano, es un municipio reconocido en el norte del Departamento del Tolima; por su producción y tradición cafetera, actualmente es el tercer productor a nivel departamental, con un alto potencial para el desarrollo del cultivo, gracias a su gran variedad de pisos térmicos; cuenta con un área amplia en la que se puede desarrollar el cultivo de café, con alturas optimas que van desde los 1.400 a 2.000 msnm. Esto nos permite determinar que es un municipio con alta capacidad de volver a ser productivo en la region, ya que pueden entrar más unidades productoras de café.

En medio de este nuevo aire en la caficultura y la capacidad productiva de nuestro municipio, los estudiantes Wilmer Andres Chisco, Yenny Paola Velásquez y Cristian Camilo Bernal; realizamos el proyecto de grado aplicado en tres fincas Cafeteras del municipio del Líbano, localizadas en las Veredas La Cuna, El Delirio y Zelandia; Con los productores respectivamente Álvaro Sierra, Martha Inés Vargas y Luis Fernando Chisco.

El propósito del proyecto es integrar el actual sistema modular para tratamiento de aguas mieles (SMTA), incorporando el filtro verde con pasto vetiver para lograr un mayor filtrado de aguas residuales del proceso de beneficio de café reduciendo también en vertimiento final. El proyecto incluye la organización de los sistemas modulares SMTA. Integrando un filtro verde con todos los puntos establecidos por cenicafe en el 2018. con el fin de lograr la eliminación de hasta el 90% de los contaminantes presentes en las aguas miel del café.

Esto nos permitirá al final del proyecto corregir los parámetros como DBO y DQO, que finalmente determinaran las pautas de cumplimiento dentro de la normatividad de vertimiento puntuales de aguas en los predios cafeteros, cumpliendo además con el compromiso ambiental y sostenible de la producción cafetera en nuestras fincas de la región.

Planteamiento Del Problema

Los caficultores de las veredas La Cuna, El Delirio y Zelandia; como la mayoría de agricultores productores de café del municipio del Líbano, carecen de un sistema integral para el tratamiento de aguas mieles provenientes del proceso de beneficio del café en cereza, estas aguas residuales contienen altas concentraciones de minerales que contaminan el suelo, el agua, y pueden tener efectos perjudiciales en la salud de las personas al ser consumidos. En las fincas la Polka, Santa Rita y Zelandia el agua residual del beneficio de café se dispone sobre el suelo de la ladera que conducen cuenca abajo a fuentes hídricas importantes para el consumo de otras familias de la region, incluso son utilizadas para el riego y manejo de otros cultivos.

Formulación Del Problema

Contaminación del suelo y fuentes hídricas cuenca abajo en las fincas La Polka, Santa Rita y Zelandia en el municipio del Líbano Tolima Debido a la inadecuada disposición de aguas mieles o residuales producidas durante el beneficio del café.

Justificación

La disposición inadecuada de los residuos resultantes de la labor de beneficio del café es una problemática que se vive en gran cantidad de las fincas dedicadas a su producción en el país, una situación que no es ajena en el departamento del Tolima, donde existen 38 municipios productores que albergan más de 61.849 familias que cultivan 107.027 hectáreas de café arábico de las variedades Castillo, Colombia, Caturra, Típica, Borbón y Tabí. (cafeteros s. c., 2022) donde se encuentra ubicado el Líbano. un municipio de gran tradición cafetera que esta entre los 5 con mayor producción del departamento.

La labor del despulpado de café, se realiza en las fincas cafeteras con el fin de separar el grano de la pulpa, una vez separados, se hace necesario retirar el mucilago que cubre el grano de café en pergamino, esta labor se logra de dos formas, una, dejando fermentar el grano de café para aumentar su temperatura y por la acción de unas enzimas, sea posible la remoción del mucilago o de forma mecánica con el uso de un desmucilagador que retira el mucilago, una vez despulpado omitiendo el periodo de fermentación pero con uso de agua; esta tecnología reduce considerablemente la contaminación del agua, pero aumenta la del suelo al obtener un mucilago de mayor concentración, a su vez también limita la producción de un café de óptima calidad al evitar el proceso de fermentación, es una tecnología costosa de implementar por los pequeños productores que son la gran mayoría de la region. en cualquiera de los dos casos se produce un mucilago que concentra alta cantidad de azucares, minerales como k, ca, mg y p, alto contenido de materia orgánica y acidez (Fernández-Cortés, 2020) éste genera alta contaminación al suelo y el agua cuando se realiza una incorrecta disposición.

En esta ocasión nos inclinamos en el proceso de lavado de café fermentado donde se producen las aguas mieles, el agua que contiene el mucilago retirado del grano de café, estas

aguas contaminan al contener las sustancias minerales y orgánicas anteriormente nombradas, y son dispuestas en el suelo o en fuentes hídricas, contaminando el cauce de los ríos.

Para mitigar esta problemática se utiliza comúnmente el sistema modular de tratamiento anaerobio SMTA, una tecnología que permite eliminar hasta un 80,4 % de la carga contaminante (Fernández-Cortés, 2020), sin embargo, permite que se genere la misma cantidad de agua en flujo hacia la ladera con un 19.6 % de contaminantes.

Nuestro proyecto, busca complementar el sistema de tratamiento de aguas residuales que ofrece el SMTA con la implementación de un filtro verde que será establecido a continuación del sistema modular, con el fin de eliminar de 5 a 10 % más de los contaminantes restantes en el agua. Y por acción de cohesión, evaporación, absorción lograr reducir el flujo de agua en la ladera. El filtro verde está integrado con una serie de elementos en los que se incluye un sistema de filtrado del agua, compuesto por pasto Vetiver que cumple por sus condiciones un valor funcional dentro del sistema de filtro verde, provocando procesos físicos, químicos y biológicos naturales en el ecosistema suelo-agua, estos procesos naturales reducen de forma considerable gran parte de los contaminantes del agua residual como: demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, y microorganismos patógenos. Como resultado del proyecto se espera impactar tres veredas del área rural del municipio del Líbano trabajando con la finca más importante en producción de café para cada una de ellas. Este modelo además estará a disposición de la comunidad para ser replicado y puesto en marcha en otras producciones de la región.

Objetivos

Objetivo General

Mejorar los sistemas modulares para tratamiento de aguas mieles, implementando filtros verdes reduciendo entre 85% - 90% el grado de contaminación, en tres fincas cafeteras del municipio del Libano Tolima.

Objetivos Específicos

Realizar Control de aguas residuales, originadas en los procesos de Beneficio del café, mediante sistema filtro vetiver.

Medir los parámetros (pH- T°C) en los reactores y recamaras del sistema modular (Reactores hidrolíticos, Acidogénicos y Metanogénicos).

Realizar toma de muestras de aguas para laboratorio al inicio del sistema (Recamara trampa de pulpas) y al final Filtro Verde, para los tres sistemas presentes en las fincas seleccionadas.

Evaluar parámetros de las muestras de agua (DBO-DQO-SS-SST-SSF-SSV-AG)

Dictaminar de acuerdo a los resultados de laboratorio las respectivas recomendaciones para el buen uso de los sistemas.

Marco De Referencia

En el marco de un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad, se plantean 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (Unidas, 2023). Se pretende propender para hacer realidad los derechos humanos de todas las personas y alcanzar la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas. En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible, que se llevó a cabo en septiembre de 2015, los Estados Miembros de la ONU (Naciones Unidas, 2023) aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye un conjunto de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático, tales objetivos se enmarcan en los siguientes puntos:

Con el propósito de afianzar el compromiso de las actividades productivas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático, el Plan Nacional de Desarrollo tiene como objetivos y estrategias mejorar la calidad del aire, agua y del suelo para la prevención de los impactos en la salud pública, impulsar la producción agropecuaria sostenible con modelos sostenibles y climáticamente inteligentes, dentro de las estrategias también está las mejores técnicas y prácticas, se definirá una metodología para focalizar y priorizar proyectos de adecuación de tierras que incluya la gestión integral del recurso hídrico, el impulso de las energías renovables no convencionales, se establecerá lineamientos para incorporar sistemas de almacenamiento de energía en el sistema eléctrico. Se acelerará la economía circular como base para la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, así como se implementarán estrategias transectoriales para controlar la deforestación, conservar los ecosistemas y prevenir su degradación, se consolidará el desarrollo de productos y servicios basados en el uso sostenible de

la biodiversidad, se fortalecerá la institucionalidad y la regulación para la sostenibilidad y financiación del sector ambiental.

Por otro lado, la incorporación de los análisis de riesgo en instrumentos de ordenamiento territorial y ambiental responden a una estrategia desarticulada y con bajos niveles de coordinación entre la UNGRD (Desastres, 2023), Min Vivienda y Min Ambiente, así mismo el PND tiene dentro de sus objetivos mejorar la gestión ambiental de la región fortaleciendo el ordenamiento territorial, con énfasis en gestión ambiental y gestión del riesgo, recuperación de las cuencas hidrográficas y pago por servicios ambientales e incentivos a la conservación y preservación de los recursos naturales con énfasis en reducción de gases de efecto invernadero. También tiene como estrategia el diseño e implementación del observatorio de ordenamiento territorial y la implementación de una estrategia integral y diferenciada para la actualización de los planes de ordenamiento territorial, cartografía y catastro municipal que se desarrollara con tres acciones: (1) El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Min Vivienda), en coordinación con las entidades del Consejo Superior para la Administración del Ordenamiento Territorial (COT fortalecida), según competencias, impulsará la actualización e implementación de planes de ordenamiento territorial municipal. (2) Con el liderazgo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se ejecutará el Plan Nacional de Cartografía y se avanzará en la actualización de la información catastral con enfoque multipropósito en los municipios priorizados (dentro de los cuales se incluyen los municipios PDET) y agrupados por regiones funcionales, (3) Con el liderazgo del Consejo Superior para la Administración del Ordenamiento Territorial (COT fortalecida) se realizará una reglamentación / reforma a las Leyes 152 de 1994, 388 de 1997, 1454, y al Decreto 1077 de 2015, para garantizar la convergencia de instrumentos

de planeación en el desarrollo y el ordenamiento, así como la simplificación, estandarización, participación y transparencia en ordenamiento.

El desarrollo técnico de la reforma estará a cargo de las entidades con competencias en cada materia. Mientras tanto el departamento del Tolima propone dentro de su plan de desarrollo estrategias para la conservación de la biodiversidad, educación ambiental y gestión del cambio climático por lo que se adquirirá predios con fines de conservación de ecosistemas estratégicos, se implementarán planes de manejo ambiental en áreas protegidas, se desarrollará las capacidades en las comunidades para la implementación de tecnologías de producción limpia y paneles solares y luz led en parques principales de los municipios y promover estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático, así como promover ferias amigables con el medio ambiente. El departamento cuenta con una estrategia de gestión del ordenamiento territorial y la integración territorial con un proyecto de articulación de lo regional en el ordenamiento territorial; Adicional al Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA cuenta con la adopción de determinantes ambientales para los Planes de Ordenamiento Territorial en los municipios de su jurisdicción bajo los siguientes actos administrativos: Resolución 560 de marzo 20 de 2015 adoptó el documento "Determinantes y Asuntos Ambientales a considerar en los Planes de Ordenamiento Territorial" por parte de los municipios del departamento del Tolima Resolución 2933 de 04 de septiembre de 2017 Por la cual se modifica la Resolución 560 de marzo 20 de 2015 y se adoptan las Determinantes Ambientales, los Asuntos Ambientales y otras disposiciones para los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios ubicados dentro de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional el Tolima El plan de desarrollo "UNIDOS DE NUEVO POR EL DESARROLLO DEL LÍBANO" (Libano, 2022) se articula tanto con el plan de desarrollo nacional como con el plan de desarrollo departamental en el sector ambiental,

pues el municipio también propone dentro de sus metas temas como reforestación de zonas afectadas con el fin de repoblar zonas deforestadas así como también lo propone el Plan Nacional de Desarrollo con 5 acuerdos de cero deforestación, a nivel departamental se propone la siembra de 1 millón de árboles para la restauración y conservación del medio ambiente, adicionalmente el municipio propone estrategias que permitan el reciclaje y nueva utilización de recursos articulándose con el gobierno Nacional que propone aumentar la tasa de reciclaje, por otro lado el municipio se plantea estrategias que permitan la capacitación de funcionarios en el tema de adaptación de cambio climático y formulación del plan de gestión ambiental en coordinación con el departamento que se propone la capacitación a 3.000 personas en gestión ambiental y cambio climático.

En cuanto al PBOT el municipio esta presto a acatar lo dispuesto por los tribunales frente a la acción de nulidad simple que cursa contra este instrumento de ordenamiento territorial del municipio. (Tolima, 2023)

Marco Contextual

Historia Del Café De Colombia

Las condiciones por las cuales llegó el café (*Coffea arabica*) a Colombia no son precisas según los indicios históricos, se cree que los jesuitas trajeron semillas del grano a Colombia en 1730 aunque existen diversas versiones al respecto. Según la tradición las semillas de café llegaron por el oriente del país; el testimonio escrito más antiguo de la presencia del café en nuestro país se le atribuye al sacerdote jesuita José Gumilla. Desde entonces este fruto se convirtió en un cultivo de gran importancia económica para el país y en el mercado internacional este afianzamiento se logró a partir del siglo XIX (Cenicafe, 2013).

Importancia del Café en la Economía de Colombia

Los colombianos no podemos olvidar que el café ha sido uno de nuestros productos de exportación más importantes. Su nivel de producción es tan alto que compromete a 590 municipios y los departamentos andinos del país. El área disponible para el cultivo del café es de cerca de 3,6 millones de hectáreas y se cultiva en 970 mil hectáreas, empleando a las familias propietarias de los predios cafeteros, y a miles de recolectores de café, que conforman el grueso de los trabajadores indirectos e indirectos, situación que determina que ésta sea nuestra industria emblemática.

El café es el segundo producto básico más valioso del mundo, siendo el petróleo el primero. Existen en el mundo más de 20 millones de productores ubicados en 50 países. El área cultivada se estima en 11 millones de hectáreas dedicadas al cultivo del grano. El país productor más grande es Brasil, con 45,9 millones de sacos producidos en el año 2008 de acuerdo con las estadísticas de la OIC, seguido por Vietnam con 18,5 millones de sacos, Indonesia con 9,35 millones de sacos y Colombia con 8,65 millones. La producción mundial para el año cafetero

octubre-septiembre de 2007-08 fue de 128,5 millones de sacos. Estados Unidos efectúa el 26% de las compras mundiales, representando más de 130 millones de consumidores habituales. El 30% de las ventas al detal se efectúan a través de una gran cadena de distribución, y existen más de 10 mil tiendas de café institucionalizadas como empresas que difunden el producto a través de cientos de franquicias en dicho país (U. Tadeo, s.f).

Origen del café

Aunque se desconoce su origen, se cree que las primeras semillas del grano fueron introducidas por los jesuitas, más exactamente hacia la época de 1730 en la antigua nueva granada (FNC, 2010).

Economía cafetera. El café se convirtió en uno de los más importantes detonantes del desarrollo económico de Brasil y de otros países latinoamericanos en los siglos XIX y XX, no solo por su importancia en términos de generación de divisas, sino porque los ingresos derivados del producto y las necesidades de procesamiento del mismo facilitaron la creación de mercados internos que demandaron otro tipo de bienes y servicios (FNC, 2010).

Tipos de café en el mundo. En el mundo solo se cultivan dos tipos de café, por un lado, los cafés arábigos y por el otro los cafés robustos; en Colombia se siembran cafés arábigos porque producen una bebida suave, de mayor aceptación en el mercado mundial y a un mejor precio.

Marco Teorico

Tipos de beneficio en el café

Existen tres tipos de beneficio en Colombia, a continuación, se mencionan las principales características y beneficios otorgados a la caficultura (Rodríguez et al., 2015).

Beneficio Café Húmedo

El beneficio húmedo del café es un proceso en el cual se retiran dos estructuras que cubren las semillas, la pulpa y el mucílago, las cuales en la variedad Colombia representan el 43,58% y 14,85% del peso fresco del fruto, respectivamente (1). El mucílago se remueve utilizando procesos de degradación por fermentación natural, dejando el café despulpado en el tanque durante 14 a 20 h, o aplicando enzimas pectinolíticas (6), y lavándolo con agua limpia. Con fermentación natural, el volumen específico de agua empleado (VEA) varía de 4,17 a 20 L.kg-1 de café pergamino seco (9, 12). Las aguas residuales de lavado (ARL), presentan alta carga orgánica, por lo cual se requiere tratarlas para disminuir el impacto ambiental.

Beneficio convencional

Es el proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para transformar el fruto en semilla y en el cual se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte, con un consumo global cercano a los 40 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino c.p.s. y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos

Beneficio ecológico del café

Es un proceso de beneficio de café amigable con el medio ambiente, que permite obtener cafés con la calidad física y de taza característicos del café de Colombia. Este beneficio se caracteriza por realizar un despulpado y transporte de la pulpa sin agua; la eliminación del mucilago se realiza de forma natural o mecánica, utilizando desmucilagadores, lavaderos

mecánicos o tanques de fermentación. Permite lavar y clasificar el café con consumo específico de agua inferior a 5 L/Kg de c.p.s. La transformación de la pulpa se realiza a través de una fosa techada, así como se realiza el aprovechamiento de los subproductos

Becolsub

La remoción del mucílago también puede realizarse por medios mecánicos, empleando la tecnología desarrollada por Cenicafe denominada BECOLSUB (Beneficio Ecológico con manejo de Subproductos), empleando solamente de 0,7 a 1,0 L.kg-1 de café pergamino seco (c.p.s.). En este caso las Aguas residuales del lavado - ARL se mezclan con la pulpa del café, logrando retener del 60% al 65% de volumen adicionado, y controlar del 90% al 91% de la contaminación generada en el proceso. Esta tecnología se utiliza exitosamente en Colombia y en otros países productores de café suaves lavados, siendo amigable con el medio ambiente. Cenicafe

Ecomil

Cenicafe desarrolló la tecnología ECOMILL®, en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg-1 de c.p.s. Debido al bajo VEA, las ARL altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso. Actualmente, se tienen tres modelos con capacidad para 500, 1.500 y 3.000 kg.h-1 de café lavado. Cenicafe. (Cenicafe, 2013)

Área de influencia

El Proyecto se llevará a cabo en dos veredas (La Cuna – El Delirio) del Municipio del Líbano.

Finca La Polka, Vereda La Cuna con una extensión de 17 Hectáreas, de las cuales 15 están cultivadas en café variedad Castillo, Variedad Colombia y Cenicafe 1. Con una densidad de Siembra de 4.166 plántulas por hectárea, esto quiere decir a una distancia entre árbol y árbol de 1,32 metros y la distancia de calle de 2 metros. Con una producción promedio anual de café cereza de 1.800.000 kilos equivalentes a 300 cargas de (125 kilos de c.p.s.).

Finca Zelandia, vereda Zelandia con una extensión de 20 hectáreas de las cuales 4 están cultivadas en café variedad cenicafe Con una densidad de Siembra de 5.000 plántulas por hectárea, esto quiere decir a una distancia entre árbol y árbol de 1, metros y la distancia de calle de 2 metros. Con una producción promedio anual de café cereza de 52.500 kilos equivalentes a 70 cargas de (125 kilos de c.p.s.)

Finca Santa Rita localizada en la vereda El Delirio, con una extensión de 14 hectáreas, de las cuales 9 se encuentran en café, variedad Castillo – Catimor, con densidad de siembra de 4.629 plántulas por hectárea, esto quiere decir que a una distancia entre árbol y árbol de 1,2 metros y una distancia de calle 1,8 metros. Con una producción promedio de 110.000 kilos de café cereza equivalentes a 180 cargas de (125 kilos de c.p.s.) anuales.

Marco Normativo

Los Sistemas Modulares de tratamiento Anaerobio (SMTA), fueron diseñados en Cenicafé para descontaminar las aguas residuales generadas en el lavado del café y originadas en beneficiaderos húmedos donde se retira el mucílago o baba del café por el método de fermentación natural. Adicionalmente el despulpado y transporte de café en baba y pulpa debe realizarse por gravedad o mecánicamente a las fosas o al tanque de fermentación, respectivamente.

Presentamos una manera fácil y más económica de construir SMTA con el fin de obtener eficiencias acordes con lo exigido por la legislación colombiana en el Decreto 1594 de 1984. Este documento reúne en esencia el Boletín Técnico N°. 20, titulado “Tratamiento de aguas residuales del lavado del café”, publicado por CENICAFE en 1999, referido a los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio SMTA. Para esta nueva publicación, se tuvo en cuenta y se mantuvo toda la base científica de la publicación inicial, y se recomienda el cambio a materiales de construcción más económicos en las componentes del sistema, evaluados en investigaciones durante el período 2002-2003, como es el caso de la utilización de tanques negros de polietileno, en reemplazo de la plastilona IKL, la fibra de vidrio y la mampostería, lo mismo que la utilización de botellas plásticas no retornables (BPNR), utilizadas en el envasado de bebidas refrescantes, como medio de soporte para los microorganismos en reemplazo de la guadua utilizada en la propuesta de construcción de los SMTA.

Resolución 631 de 2015 Ministerio Medio Ambiente: No hay Vertimientos a cuerpos de agua.

Decreto 2667 de 2012 Ministerio Medio Ambiente: No hay cobro de tasa retributiva.

Decreto 50 de 2018 Ministerio Medio Ambiente: No hay vertimientos al suelo.

Resolución 1207 de 2015 Ministerio Medio Ambiente: Reúso adecuado de aguas residuales tratadas.

Decreto 3930 de 2015 Ministerio Medio Ambiente: No es necesario tramitar permiso de vertimiento.

Metodología

Como proceso inicial se desarrolla la socialización en las veredas (La Cuna, El delirio y Zelandia), a los caficultores, para ello se utilizará la encuesta donde se recopilarán datos primordiales concernientes a la problemática del sector cafetero en cuanto a manejo de aguas residuales y problemas de erosión.

Socialización y transferencia de la información relacionado con el pasto Vetiver

Implementación de los Reactores (Hidrolisis – Acidogenico), incorporando Filtro a base Pasto Vetiver. Implementación del proyecto sobre el área específica de las Fincas La Polka de propiedad del productor Álvaro Sierra Soler y Finca Santa Rita de propiedad de la productora Martha Vargas. Ubicadas en el municipio del Líbano

Monitoreo del comportamiento del Pasto Vetiver sobre las fincas seleccionados, áreas con problemas de erosión y manejo de aguas residuales, implementado fórmulas que nos permitan evaluar parámetros técnicos.

La tecnología SMTA continúa recomendándose para remover la contaminación presente en las aguas residuales del lavado del mucílago fermentado del café, generada en canalones de clasificación y correteo operados con recirculación de agua, o la resultante del lavado en los tanques de fermentación, como es el caso de la tecnología denominada tanque tina, en los cuales se consumen entre 4,0 y 5,0 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco.

El pH de estos residuos oscila entre 4,0 y 4,5 unidades y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, la cual expresa el déficit de oxígeno ocasionado por la contaminación presente en el agua, y que tiene un valor cercano a 27.400 mg/L.

Para optimizar los costos del SMTA se evaluaron tanques de polietileno que sirvieran de reactores metanogénicos, y se les realizó monitoreo de temperatura, por medio de una termocupla que permitió lecturas a lo largo y ancho del reactor.

La temperatura promedio en este tipo de reactor durante el día fue de 26°C y en horas de la tarde alcanzó 31°C. Lo anterior permitió hacer más funcional la operación y el mantenimiento de esta nueva propuesta de construcción del SMTA, contemplada para una finca con una producción anual de 1.500 @ cps, y reducir el 54,2% de los costos unitarios de inversión, desde \$ 3.004/@ cps hasta \$1.376/@ cps. El Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio fue desarrollado inicialmente en Cenicafé en la década de los 90s.

Esta nueva versión del SMTA es más económica, y sigue siendo efectiva para el tratamiento anaerobio de las aguas mieles o aguas residuales del lavado del mucílago fermentado del café, ARL, que se generan en una finca cuya producción anual es de 1.500 arrobas de café pergamino seco (@ de cps), y posibilita el escalamiento de cada una de las unidades que lo componen, para fincas con producciones mayores o menores de café. Además de la adopción del despulpado y el transporte de la pulpa sin agua, que evita el 73,7% de la contaminación que producen los subproductos del proceso convencional, para su diseño se continúa teniendo en cuenta la distribución anual de la cosecha de café registrada por Uribe y Laverde, para la zona rural de Chinchiná en la semana de máxima producción, equivalente al 8,3% de la cosecha anual.

Igualmente, esta versión de SMTA está compuesta por unidades que permiten la separación de las fases Hidrolítica- Acidogénica (RHA) de la Metanogénica (RM), lo que ha permitido el incremento de carga orgánica por día desde 1,5 hasta 10 kg de DQO por metro cúbico de reactor metanogénico, manteniendo una remoción de contaminación superior al 80%, expresada como DQO.

En esta propuesta actualizada de SMTA, se contempla el uso de cal y orina humana o animal, para neutralizar el pH y ajustar el nitrógeno en las aguas residuales del lavado respectivamente, a falta de NaOH y urea utilizados convencionalmente, además de ajustarse a los requisitos de certificación orgánica del café producido.

Tanques de polietileno donados por la empresa Colombit de la ciudad de Manizales, se adaptaron como reactores Hidrolíticos Acidogénicos y Metanogénicos, en el desarrollo de la investigación, cuyo material negro permitió aumentar la temperatura interna de los reactores a un valor cercano a los 30°C como ocurre con los tanques fabricados en fibra de vidrio de los reactores metanogénicos propuestos inicialmente.

Son componentes esenciales de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio S M T A : los Reactores Hidrolíticos-Acidogénicos RHA, la recámara de dosificación RD y el Reactor Metanogénico RM.

La Figura 1 muestra un esquema del nuevo SMTA, diseñado para una finca con una producción de 1.500 arrobas de café pergamino seco y una semana pico de 8,3%, donde pueden observarse las diferencias o cotas de nivel que deben tenerse en cuenta al seleccionar el terreno para su instalación y garantizar el flujo libre del líquido por gravedad. Al final se detalla la lista de los materiales para su construcción. Todos los componentes están conectados con mangueras de polietileno reciclado de 1½", de baja densidad (0,925 g/cm³), de bajo costo y de fácil consecución en el mercado. A la salida del tanque de lavado en el beneficiadero se debe instalar un tanque cilíndrico de 105 litros de polietileno, o construir una recámara en mampostería de 40 cm de altura y lados de 50x50 cm, que permita recibir las aguas residuales del lavado y los drenados de la fosa de pulpas (Figura 1).

Figura 1

Reactor acidogénico finca Zelandia



Fuente: Autores

Esta recámara contiene en su interior un codo de PVC, provisto de un tramo de tubo de PVC de 20 cm con tapón y con perforaciones de 7/32", que evita el ingreso de granos y pulpa al interior de la primera unidad o reactor hidrolítico/acidogénico. Sobre una "T" se instala un tapón roscado o una válvula de 1½" a un lado del RHA1, para purgar el gas que se genera y el aire que se acumula en el interior de la manguera de 1½" que comunica el SMTA con el beneficiadero (Figura 2 y 3).

Figura 2

Recamara – Trampa de pulpas finca Zelandia



Fuente: Autores

Figura 3

Recamara y salientes finca Zelandia



Fuente: Autores

Metodología

Reactores Hidrolíticos-Aci- Dogénicos – RHA

Dentro del concepto de biodegradabilidad anaerobia de residuos, los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio contemplan la separación de las fases Hidrolítica-Acidogénica y Metanogénica. Por tal razón, en los tanques que conforman los reactores para dichas fases, se experimentan reacciones bioquímicas diferentes.

Para llevar a cabo la fase Hidrolítica-Acidogénica de las aguas mieles para la finca del caso de estudio, se estableció en serie una batería de reactores RHA1, RHA2, RHA3, utilizando tres tanques de polietileno negro en tronco de cono, Multiusos Acuaviva Colombit u otro con características iguales, de $2 m^3$ de capacidad cada uno, con una altura de 156 cm (sin tapa), un diámetro superior de 146 cm y un diámetro inferior de 115 cm (Figura 4). Las aguas residuales procedentes del lavado del mucílago fermentado del café entran al RHA1 por el fondo y salen a través de un dispositivo de 52 cm de altura total, ensamblado sin utilizar pegante de PVC en las uniones entre los tramos de tubería y los codos de $1\frac{1}{2}$ " , con una perforación en la parte superior de $\frac{3}{8}$ " , que evita que se suspenda eventualmente el flujo líquido por acumulación de gas (Figura 4). Las aguas continúan su recorrido a través de los dos reactores restantes, en igual forma como se explica para el RHA1 y con los mismos dispositivos internos de salida del líquido.

Además de la posibilidad de almacenar agua residual del lavado por encima del nivel de salida (> 52 cm), durante la mayor parte del año queda establecido como mínimo un tiempo de retención hidráulico de dos días, por debajo del nivel de operación del líquido, buscando la máxima formación de ácidos posibles en esta etapa, para favorecer posteriormente las reacciones que hacen parte de la metanogénesis.

Figura 4

Reactores interconectados, finca La Polka



Fuente: Autores

Para intercomunicar los tanques RHA se perfora y se instala tubería de diámetro de 1 ½ " a 7 cm del fondo.

El tanque RHA3 se perfora a 7 cm del borde superior, (Figura 6), para efectos de canalizar los posibles excedentes de agua residual de lavado que se puedan presentar, a través de un codo interno en PVC de 1½" y hacia una excavación de 1 m x 1 m x 1 m, a la cual se le adiciona en el fondo 40 litros de estiércol (vacuno, caballar, porcino) para facilitar la descomposición de los residuos allí dispuestos y se llena con trozos intercalados de tallos de café de un metro de longitud provenientes de zoqueo.

Recámara De Dosificación - RD

El sistema de dosificación de las aguas residuales del lavado de café por gravedad, se estudio mediante el acondicionamiento de un tanque de polietileno Multiusos, Acuaviva Junior x 250 litros con tapa, alturade 65 cm; fabricado por la empresa Colombit de Manizales . Dentro del

mismo se estableció un flujo constante mediante el uso de una válvula de flotador, y orificios de diámetro predeterminado practicado en las tuberías de salida, que permiten garantizar un caudal uniforme a través de una cabeza hidrostática permanente (Figura 5).

Figura 5

Recamara dosificadora finca Santa Rita



Fuente: Autores

En el fondo se instaló un marco colector de 50,5 x 35,5 cm, fabricado en tubería de PVC de 1/2", el cual va acoplado al tubo de salida del tanque. Este tubo de salida está provisto con dos tapones de PVC con un orificio de 5/64", que permiten la salida del líquido por gravedad con un caudal previamente ajustado a 550 ml/min por tapón correspondiente a cada RM . En todos los lados del marco colector se hacen orificios inferiores de 5/32", espaciados a una distancia de 1 cm, lo que equivale a realizar alrededor de 124 agujeros que permiten la salida del líquido por el fondo del tanque. Para facilitar una eventual limpieza del marco colector, se deben ensamblar sus componentes sin utilizar pegante de PVC en las uniones; sólo se fija el tubo que comunica con el

exterior, utilizando un adaptador macho, un adaptador hembra dos arandelas de PVC y dos arandelas de neumático. Después de instalar el tanque de dosificación se debe establecer el lecho filtrante, ubicando piedras de unos 10 cm de diámetro cerca a los orificios de salida, para impedir el contacto entre el material del lecho y los orificios del marco. Luego se termina de llenar el interior con gravilla de río o piedra caliza (diámetro 2,5 cm) hasta una altura de 20 cm del fondo. Sobre la parte superior del lecho se ubica una malla plástica mosquitera de 1 mm de distancia entre fibras, cuyos extremos se pisan con un aro en manguera de polietileno de ½". Para instalar la válvula de flotador se perfora el borde superior del tanque y se coloca un adaptador macho PVC presión con diámetro de 1", a 6 cm. Para el drenaje del tanque de dosificación se instala una tubería de 1½" a 7 cm del fondo, a la cual se le acondiciona un tapón roscado para evitar la salida del líquido (Figura 6).

Figura 6

Conexión recmara y reactores finca La Polka



Fuente: Autores

Antes de la recámara de dosificación se conecta una válvula de 1" en PVC, que permite suspender el flujo de agua residual, en caso que se necesite atender cualquier eventualidad durante la operación del SMTA, tal como puede ser la obstrucción de la tubería por lodo y otros elementos extraños o para su respectivo mantenimiento.

Se recomienda instalar una recámara dosificadora de 250 litros por cada 5 reactores metanogénicos de $2 m^3$

Reactores Metanogénicos- RM

Durante las evaluaciones para la nueva propuesta de SMTA, para la finca, caso de estudio, los reactores metanogénicos se acondicionaron utilizando dos tanques Multiusos Acuaviva Colombit de polietileno negro, en tronco de cono de $2 m^3$ de capacidad, con una altura neta de 156 cm, un diámetro superior de 145 cm y un diámetro inferior de 115 cm.

Permite que se alcancen temperaturas promedio en el día entre 24 y 26°C a lo largo y ancho del reactor. Los RM de la tecnología SMTA propuesta, están constituidos por filtros anaeróbicos de flujo ascendente empacados al azar con relleno inerte reciclado de botellas plásticas.

Como soporte para los microorganismos se llena al azar su interior con trozos de botellas plásticas no retornables de 2 y 3 litros de capacidad, obtenidos mediante el corte transversal de la botella en tres partes:

- a. base de la botella equivalente a un cilindro con tapa al que se le hace un agujero en el centro o se le quita la base,
- b. parte central equivalente a un cilindro sin tapas, y c) parte superior o cono de botella. Se requieren trozos provenientes de 980 botellas para llenar los 2 RM (4 metros cúbicos) (Figura 7).

No obstante, la guadua puede continuar utilizándose en este tipo de Cada tanque viene provisto de una tapa con sistema de cerrado que involucra guías y topes que permiten mantenerlo cubierto. La tubería de entrada del agua residual al reactor está provista de una "T" con tramo de tubería y tapón roscado de PVC de 1½", la cual permite que se retire para limpiar internamente la tubería en caso de obstrucción.

Figura 7

Reactor metanogénico (RM)



Fuente: Autores

Inmediatamente antes de la entrada a los reactores y sobre la "T", que comunica además el tapón roscado y la tubería de acceso de agua residual, se instala un disco previamente construido en PVC y perforado con 38 orificios de 7/32". Internamente la entrada del agua residual se realiza

en el fondo por medio de un dispositivo cuadrado de 45 cm de lado, construido en tubería de PVC de 1" y perforado lateralmente con 4 orificios de 7/32", uno en el centro de cada lado.

La salida del efluente se realiza en forma axial, utilizando una tubería de PVC de 1½" y 20 cm con un corte transversal de 45°, conectada por medio de un semi codo a una tubería PVC de 50 cm que comunica con el exterior.

Inoculación de los Reactores Metanogénicos

A diferencia de los Reactores Hidrolíticos-Acidogénicos, es necesario inocular los reactores metanogénicos con bacterias anaeróbicas que se obtienen del estiércol de ganado vacuno. Para llevar a cabo la inoculación de cada uno de los reactores de 2 m³ de capacidad durante las primeras tres semanas se realizan los siguientes pasos:

Se Preparo 700 litros de inóculo metanogénico por cada reactor de 2 m³ así: Mezcle estiércol de ganado vacuno y agua corriente en proporción 3:1 (tres baldes de agua por un balde de estiércol). La mezcla se almacena en canecas plásticas y se deja reposar durante una semana. Filtramos luego, utilizando un costal de fibra plástica (o de fertilizante) o un cedazo de malla mosquitera, similar al utilizado en la recámara de dosificación, con el fin de retirar la mayor cantidad de material grueso e insoluble. Así, se deja pasar sólo la fase líquida que se desprende del estiércol y que constituye el inóculo metanogénico.

Simultáneamente con lo anterior, adicionamos a cada reactor metanogénico, 1.100 litros de aguas residuales procedentes del tercero y cuarto enjuague del lavado del café en el tanque de fermentación y 1,5 kg de cal masilla blanca. Mezcle bien. Adicione a cada reactor 15 litros de orina animal o humana ó 250 g de urea previamente disuelta en 1 litro de agua corriente, y 300 litros del inóculo. De esta forma los reactores quedan inoculados con una proporción aproximada de 2 kg de sólidos suspendidos volátiles por m³ de reactor, y una relación cercana a 1,33 g

DQO/g de sólidos suspendidos volátiles. (Figura 8).

Debe tenerse en cuenta guardar las proporciones de ARL, orina, urea y cal, para reactores de capacidad inferior a 2.000 litros. Por ninguna razón los tanques que constituyen los RM deben sobrepasar los 2.000 litros de capacidad.

Figura 8

Inoculación cal reactor metanogénico



Fuente: Autores

Se establece el medio de soporte para las bacterias metanogénicas, llenando cada reactor metanogénico con los pedazos de botellas. Adicionamos agua corriente hasta cubrir totalmente los trozos de BPNR. Los reactores han quedado inoculados, y dos semanas después se procede a la aclimatación, arranque y operación del SMTA.

Durante el período de inoculación, en cada RHA deben adicionarse 500 litros de agua corriente, mezclados con 4 litros de orina animal o humana, ó 60 g de urea. Después de lo

anterior es necesario dejar llenar los RHA con las aguas residuales de lavado del café procedentes de los cuatro enjuagues realizados en el tanque tina. De esta manera queda lista una “solución de aclimatación”. Adicionalmente y sin agitar, debe adicionarse un kilogramo de “cal masilla blanca” en el interior de cada uno de los RHA, la cual se deposita en el fondo de los tanques.

Aclimatación Y Arranque De Los Reactores Metanogénicos

Para iniciar con la aclimatación de los microorganismos, el día 1 se debe abrir la llave de paso instalada a la entrada de la recámara de dosificación, e inundarla con la “solución de aclimatación” que sale a través de la válvula de flotador, hasta que alcance su nivel máximo (Figura 10).

Figura 9

Aclimatación microorganismos



Fuente: Autores

Verifique el asentamiento de la malla mosquitera mediante el desalojo del aire que queda atrapado sobre el lecho de la recámara.

Verificamos que el caudal en cada uno de los tapones sea de 550 ml/min.

Se debe conservar un caudal de alimentación entre 500 y 600 ml/min para cualquier RM, ya que por debajo de este valor fácilmente ocurre obstrucción del orificio en el tapón. En el estado estable del sistema se deben tener en cuenta las proporciones cuando los RM tienen dimensiones diferentes a 2.000 litros. Se abrió la válvula de paso de agua residual hacia la recámara de distribución, así: 24 horas para tanques de 2.000 litros, 12 horas para tanques de 1.000 litros y 6 horas para tanques de 500 litros; de esta manera se obtiene una alimentación de 0,4 m³ARL/m³ RM. Existen en el mercado tanques de polietileno negro de 5.000 litros, que pueden ser utilizados como RHA, pero de los cuales no se conoce su respuesta como RM.

Comunicamos la recámara de dosificación con los reactores metanogénicos, introduciendo libremente una manguera de polietileno en el tubo de PVC (mirilla) que sale del tanque. En este punto la presión es igual a la presión atmosférica.

Operar la válvula de paso de ARL en la recámara de dosificación, para reactores metanogénicos de 2.000 litros en el siguiente orden1:

Día 1 a 14. Abrir válvula 52 minutos diarios.

Día 15 a 22. Abrir válvula 2 horas diarias.

Día 23 a 30. Abrir válvula

4 horas y 40 minutos diarios.

Día 31 a 44. Abrir válvula 8 horas diarias.

Día 45 a 59. Abrir válvula 12 horas diarias.

Día 60 en adelante, para este caso del RM de 2.000 litros abrir indefinidamente la válvula todo el día.

Hay que tener en cuenta que al lavar el café en el tanque tina, los cuatro enjuagues producen cerca de 0,9 litros de aguas residuales por cada kilogramo de café en cereza (Figura 11).

Después de realizar los pasos anteriores de arranque, el sistema inicia una fase de estabilización que se caracteriza por alcanzar eficiencias de remoción de DBO5 superiores al 80% y no requiere productos químicos para balancear o neutralizar las ARL.

El buen desempeño del sistema se manifiesta, de manera práctica, por un olor característico a estiércol vacuno en el líquido tratado en esta unidad.

Figura 10

Reactores funcionando 60 días, finca Santa Rita



Fuente: Autores

Acidificación De Los Reactores Metanogénicos

La correcta inoculación, aclimatación y arranque de un SMTA permiten mantener un buen funcionamiento del sistema. No obstante durante su operación pueden ocurrir períodos de funcionamiento deficiente o “acidificación” en la fase metanogénica, caracterizados porque el líquido de salida alcanza un valor de pH menor que 5, y desprende un olor a «cebolla picante» o a "queso rancio". Entre las causas conocidas más comunes que lo pueden acidificar están:

Que al RHA esté llegando otro tipo de residuos, tales como detergentes, jabones o insecticidas procedentes del lavado de las máquinas fumigadoras dentro del tanque de fermentación del café. No hay que olvidar que en los tanques de fermentación con canal de correteo sólo se debe lavar café.

Tecnología SMTA

Sin Químicos

El SMTA no requiere la adición de reactivos químicos para neutralizar ni para balancear la composición química de las aguas residuales.

El pH del líquido a la entrada y salida del reactor presenta valores cercanos a 4,5 y 6,5 respectivamente. La carga máxima se alcanzó después de 7,5 meses de la inoculación, equivale a 8,75 kg DQO/m³d y una eficiencia de remoción del 77% en términos de la DQO.

Sin Bombas

El flujo del líquido ocurre por gravedad y no se requieren sistemas de bombeo.

Sin Calentamiento

Las aguas residuales a ser tratadas no requieren calentamiento adicional, ya que el material negro de sus unidades y la alta concentración de las aguas residuales conllevan al uso de bajos caudales, que permiten a la energía solar incrementar la temperatura desde 23 hasta 30-

32°C. Por otro lado no consumen energía eléctrica y las unidades que conforman el sistema son cerradas, lo que permite reducir drásticamente los malos olores. Su operación se limita a la inspección y eventual limpieza de los dosificadores.

Que el flujo del agua residual de la recámara de dosificación hacia uno de los RM esté por encima del valor establecido, lo que hace necesario cambiar el tapón por otro con un orificio de diámetro menor que permita ajustar el flujo al caudal de operación de 500 a 600ml/min. Que se estén adicionando sólo los dos o tres primeros enjuagues del lavado del café y esto ocasiona una reducción en volumen pero un incremento en la concentración de las aguas residuales, lo que se traduce en una sobrecarga orgánica en la fase metanogénica. Hay que tener en cuenta que la tecnología de lavado en los tanques de fermentación se efectúa utilizando cuatro enjuagues que permiten tener una concentración global de 27.400 ppm de DQO (concentración de diseño).

Que se esté beneficiando diariamente una cantidad superior a 1.700 kg de café en cereza, que corresponden a un día pico del 1,9% de la cosecha anual. Para efectos de cálculo, antes de determinar las características de la construcción de un SMTA, es necesario tener en cuenta si se beneficia café de fincas vecinas con el fin de dimensionar adecuadamente las unidades del sistema. Cuando la acidificación del RM es leve (pH entre 5 y 5,9 y moderado mal olor), su recuperación se consigue con sólo suspender el paso de las aguas residuales durante 24 horas o también, dejando pasar agua limpia durante este mismo tiempo. Cuando la acidificación del RM es crítica (pH entre 4 y 4,9 y un olor picante y rancio fuerte, mal olor), es necesario suspender el flujo del líquido, cerrando la válvula de paso instalada antes de la recámara de dosificación y luego «lavar los ácidos» pasando lentamente 1 m³ de solución de orina animal o humana (50

litros/m³) ó 1 m³ de solución de urea al 0,1% (1 kg de urea/m³), a través de la manguera que comunica la recámara dosificadora y el reactor metanogénico.

Después de esta operación se debe interrumpir el paso de aguas hasta el día siguiente, cuando se verifique que el pH del líquido presenta valores por encima de 6 unidades, momento en el cual debe restablecerse el flujo. Si esto no ocurre, es necesario esperar más tiempo para su recuperación. La tecnología SMTA ha permitido reducir 34 veces, la capacidad requerida para el tratamiento con respecto a un beneficiadero tradicional, donde se consumen entre 40 y 50 litros de agua/kg cps.

Figura 11

Adición del filtro verde con pasto vetiver al sistema SMTA



Fuente: Autores

Pasto Vetiver (*Vetiver zizanioides*) es una planta originaria de la India, familia de las gramíneas, con una vida útil de más de 100 años, de rápido crecimiento. muy resistente a plagas y extremadamente resistente a sequías, anegamiento permanente a la contaminación y alta salinidad, soporta temperaturas que van desde -9°C hasta 45°C y tolerante a diferentes niveles de pH. Sus raíces pueden llegar a profundizar en forma vertical hasta 7 metros y su resistencia de

tracción es de 75 MPa (mega pascales), equivalente a 1/6 de la resistencia del acero suave.

Tal y como se observa en la figura 13 y 14:

Armamos el marco flotante con el dispositivo filtrador, con las patas estabilizadoras y finalmente acoplamos la manguera en la parte de abajo del DRON, esta manguera será por donde se evacuará el agua miel filtrada y estará conectada en la parte de abajo del tanque de 250 litros.

Figura 12

Dispositivo Dron



Fuente: Autores

Figura 13

Dispositivo Dron terminado



Fuente: Autores

Instalacion Filtro Verde

Se procede a cavar una fosa de 3 metros de ancho por 3 metros de largo por 40 centímetros de profundidad, luego forramos el suelo de la fosa con el plástico negro y volvemos a llenar la fosa con la tierra extraída, instalamos un miple de tubo de 1 pulgada por 20 centímetros de largo en la esquina más baja de la fosa para evacuar agua sobrante cuando algunas pocas veces se llene.

Cubrimos la zona con una enramada en guadua o madera y techamos con el plástico transparente. Templamos el plástico con cuidado, utilizando pedacitos de caucho o manguera para clavarlo.

Dejamos la altura de las columnas 1,80 metros a una sola agua se dejando dos columnas

de 2 metros y dos columnas de 1,80 metros, el propósito es que el plástico eleve la temperatura al interior del filtro verde y buena parte del agua residual se evapore antes de infiltrarse. Es decir que se genera un microclima dentro el filtro verde que en pocas palabras deshidrata las gotas de mucilago que se desprenden del emparrillado.

Las gotas de mucilago que no se evaporan sufren un efecto físico al hacer contacto con las hojas del pasto vetiver (Rompimiento de tensión), el restante buena parte es absorbida por las raíces y transpirada por las hojas del pasto vetiver, al final también esta agua se evapora.

Modelo De Sistema De Riego Por Goteo Lento Ensamblado

Unimos las piezas como se ve en la imagen, los brazos quedarán de 2 metros con 60 centímetros de largo. A estos brazos se les abrimos pequeñas perforaciones cada 15 centímetros, teniendo especial cuidado de que las perforaciones sean muy pequeñas, casi que no se vean, por estos pequeños orificios saldrá el agua por gotas lentamente, si las perforaciones son muy grandes el agua saldrá a chorros y el sistema no funcionará.

Se puede con segueta o con una broca de 3/64”.

Figura 14

Sistema de riego por goteo



Fuente: Autores

Ensamble

Instalamos el DRON dentro del tanque de 250 litros, conectamos la manguera del DRON a la salida de abajo del tanque, Conectamos salida del tanque con el sistema de riego por goteo lento, puede ser con manguera o con tubería, esto depende de la distancia y del terreno. Conectamos los tanque tinas de lavado de café al tanque de 250 litros para comenzar a utilizar el sistema.

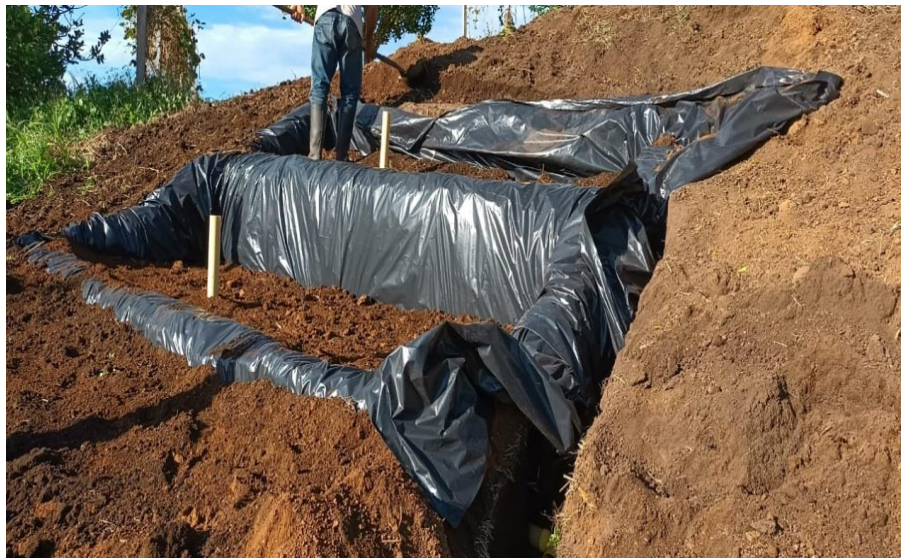
Retiramos las natas del tanque cada 2 días y las ubicamos sobre la fosa sobre la cereza fresca. Si hay excedentes en el filtro verde por rebose de agua en la fosa, instalamos tubo de 1 pulgada en una de las esquinas inferiores de la fosa, recojemos estos excedentes en una caneca de 20 litros y los retornamos al sistema.

Realizamos inspección mensual del todo el sistema, verificando buen funcionamiento.

Realizamos mantenimiento semestral y limpieza general después de cada cosecha.

Figura 15

Preparacion del terreno 4x3 metros finca Zelandia



Fuente: Autores

Figura 16

Sistema de riego por goteo 1



Fuente: Autores

Figura 17

Sistema de riego por goteo 2



Fuente: Autores

Figura 18

Siembra de pasto vetiver



Fuente: Autores

Figura 19*Filtro verde finca Zelandia*

Fuente: Autores

Trascurrido 60 días de funcionamiento de los tres sistemas de tratamiento de aguas mieles con filtros verdes incorporados, se procede con la toma de aguas para el respectivo análisis físico químico, en todos los casos; se toman muestras al inicio del sistema (Caneca trampa de pulpa), y al final en el drenaje del Filtro verde, como resultado se toman 3 muestras al inicio de los sistemas y 3 al final. Las muestras fueron enviadas el mismo día de recolección al laboratorio para sus respectivos análisis (Figura 21).

Figura 20

Toma de muestra agua residual trampa de pulpa finca la Polka



Fuente: Autores

Figura 21

Embalaje de muestras de agua para laboratorio



Fuente: Autores

Recoleccion De Datos

Para el caso en ejercicio se realizo el muestreo y toma de variables en los tres sistemas implementados, Finca La Polka, Finca Zelandia y Finca Santa Rita, a partir del día 60 de funcionamiento; lo que permitió tomar los parámetros de pH y Temperatura en cada uno de los reactores, y poder con ello determinar el comportamiento de las aguas residuales en cada sistema de acuerdo la productividad, agua y condiciones ambientales.

Lo muestreos de se realizaron utilizando Phmetros Marca Nikimore Digital, de precisión, Termometro Digital marca TP101. Las mediciones se realizaron utilizando un tiempo de 1 minutos por toma en cada uno de los reactores. (Figura 23).

Figura 22

Medicion pH y T°c, reactores RA-RM- finca la Polka



Fuente: Autores

Tabla 1*Medicion pH y T°c reactores metanogénicos y acidogénicos Finca La Polka*

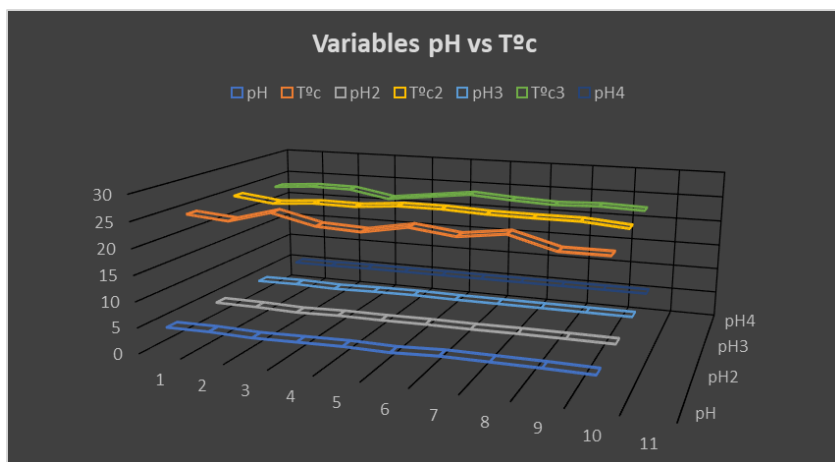
Medicion datos pH y T°c posfuncionamiento SMTA finca la Polka.

Dia	R1		R2		R3		R4	
-	pH	T°c	pH	T°c	pH	T°c	pH	T°c
1	4,8	24,5	4,8	25	4,9	24	4,9	22
2	4,9	23,8	4,78	24	5	24,6	4,9	23,2
3	4,7	26	4,56	24,6	4,8	24,5	5	22
4	4,9	24,1	4,81	24,5	5	23	5	22,6
5	5,1	23,7	4,81	25,2	5,1	24	5	22,7
6	5	25,2	4,92	25,2	5	25	5	22,8
7	5,4	24,2	4,91	24,8	5	24,4	5	22
8	5,4	25,3	5,01	24,7	5	24	5	22
9	5,4	23	5,03	24,7	5	24,3	5	22,4
10	5,3	23	5,02	24	5	24	5	22,2

Nota. Recoleccion datos pH y Temperatura recatores Finca la Polka primeros 10 diasPosfuncionamiento sistema SMTA. *Fuente:* Autores

Figura 23

Variable pH – T°C. Reactores Finca La Polka



Fuente: Autores

Revisando el comportamiento de las variables se puede concluir que al transcurrir de los días, la temperatura dentro de los reactores disminuye de manera considerable en proporción directa al valor del pH en los reactores, el cual tiende a subir el indicador, lo que arroja un adecuado comportamiento del sistema iniciando su proceso.

Durante esta fase (10 días), la finca La Polka proceso 13,540 kilos de café cereza, equivalente a 3000 kilos de café pergamino seco (c.p.s); empleando para ello un volumen de agua aproximada de 9017 litros.

Tabla 2*Medicion pH y T°c reactores metanogénicos y acidogénicos finca Santa Rita*

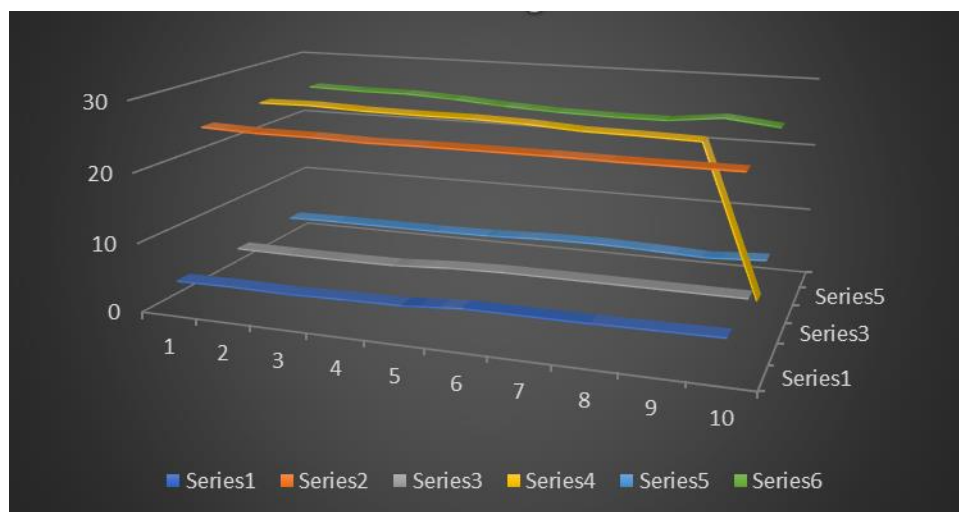
Medicion datos pH y T°c posfuncionamiento SMTA finca la Polka						
Dia	R1		R2		R3	
-	pH	T°	pH	T°	pH	T°
1	4,2	24,6	4,3	25,3	4,89	25,2
2	4,3	24,3	4,23	25,4	5	25
3	4,2	24,3	4,24	25,1	5	25
4	4,4	24,1	4,3	25	5	24,6
5	4,5	24,2	4,78	25	5,1	24
6	5,1	24,2	5	24,8	5,4	23,6
7	5,1	24,2	5	24,3	5,5	23,4
8	5,1	24,1	5	24,2	5,3	23,4
9	5,2	24,1	5	24	5	24,3
10	5,3	24,1	5	2	5,5	23,4

Nota. Recoleccion datos pH y Temperatura recatores Finca Santa Rita primeros 10 dias

Posfuncionamiento sistema SMTA. (tres reactores). *Fuente:* Autores

Figura 24

Variable pH – T°c. Reactores finca Santa Rita



Fuente: Autores

Revisando el comportamiento de las variables se puede concluir que al transcurrir de los días, la temperatura dentro de los reactores (3) disminuye de manera considerable en proporción directa al valor del pH en los reactores, en cada caso los reactores se comportaron de manera similar en los indicadores de T° y pH, si notamos el pH inicial del proceso con el del Reactor 3 al día 10 el valor disminuye en 1 punto y la temperatura se reduce en 1°, lo que arroja un adecuado comportamiento del sistema iniciando su proceso.

Durante esta fase (10 días), la finca Santa Rita procesó 6745 kilos de café cereza, equivalente a 1497 kilos de café pergamino seco (c.p.s); empleando para ello un volumen de agua aproximada de 4500 litros.

Tabla 3*Medicion pH y T°c reactores metanogénicos y acidogénicos finca Zelandia*

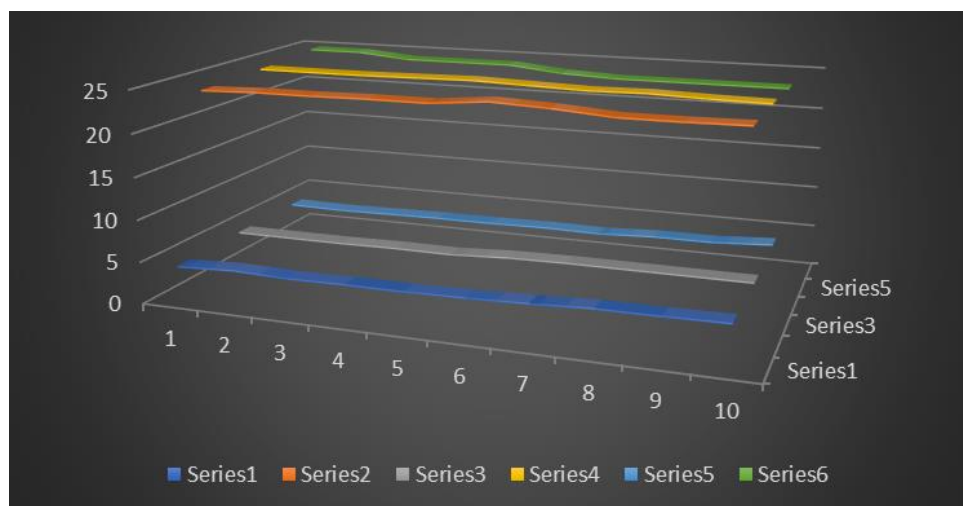
Medicion datos pH y T°c posfuncionamiento SMTA finca Zelandia						
Dia	R1		R2		R3	
-	pH	T°	pH	T°	pH	T°
1	4,2	23,6	4,5	24	4,6	24,6
2	4,5	23,8	4,5	24	4,5	24,6
3	4,3	23,8	4,5	24	4,6	24
4	4,4	23,9	4,6	24,1	4,7	24
5	4,4	23,9	4,57	24,2	4,7	24
6	4,5	24,5	4,9	24	4,8	23,3
7	4,7	24,2	5	23,8	4,7	23
8	5	23,7	5	23,9	5	23
9	5	23,7	5	23,7	5	23
10	5,1	23,8	5	23,6	5,4	23

Nota. Recoleccion datos pH y Temperatura reactores, Finca Zelandia primeros 10 dias

Posfuncionamiento sistema SMTA. (tres reactores). *Fuente:* Autores

Figura 25

Variable pH – T°c. Reactores finca Zelandia



Fuente: Autores

Revisando el comportamiento de las variables se puede concluir que al transcurrir de los días, la temperatura dentro de los reactores (3) disminuye de manera considerable en proporción directa al valor del pH en los reactores, en cada caso los reactores se comportaron de manera similar en los indicadores de pH, si notamos el pH inicial del proceso con el del Reactor 3 al día 10 el valor disminuye en 1,1 punto, en el caso de la temperatura hay una leve reducción, teniendo en cuenta el clima lluvioso y la temperatura ambiente que se presentó durante los días de muestreo; así el comportamiento del sistema SMTA es adecuado iniciando su proceso. Durante esta fase (10 días), la finca Zelandia procesó 2360 kilos de café cereza, equivalente a 523 kilos de café pergamino seco (c.p.s); empleando para ello un volumen de agua aproximado de 1571 litros.

Resultados de análisis de agua en trampa de pulpas y luego de procedimiento de filtrado.

Figura 26

Muestra Laboratorio aguas mieles reactor trampa pulpa finca La Polka

Dirección de Laboratorios
Vicerrectoría de Sede
Sede Manizales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Manizales, 17 de agosto de 2023

Estudiantes
WILMER ANDRÉS CHISCO
 Email: Wchiscociro@gmail.com
CRISTIAN CAMILO BERNAL
 Email: cristiancamilobernalmarin@gmail.com
YENNY PAOLA VELÁSQUEZ
 Email: ypvelasquezz@gmail.com
 UNAD
 calle 4 N 2-12 Barrio El Carmen
 Líbano Tolima

INFORME DE ENSAYO LQIE - 0250 - 2023

N°. de muestra : 21322
Tipo de muestra : Agua Residual - Agua Mieles.
Identificación : Reactor # 1 Trampa de pulpas.
Sitio o Procedencia de la muestra : Vereda la Cuna - Finca La Polka.
Toma de la muestra : Cliente
Fecha de recepción : 11 de agosto de 2023

DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
DBO ₅	Inicial: 2023/08/11	mg O ₂ /L	3.824,07	Incubación a 5 días en Winkler
	Final: 2023/08/16			
Sólidos Sedimentables	2023/08/11	mL/L-h	500*	Volumétrico
Sólidos Suspendidos Totales	2023/08/11	mg/L	980,00	Filtración y secado a 105 °C
Sólidos Suspendidos Fijos	2023/08/11	mg/L	46,67	Calcínación a 550 °C
Sólidos Suspendidos Volátiles	2023/08/11	mg/L	933,33	Calcínación a 550 °C
Grasas y/o Aceites	2023/08/14	mg/L	31,26	Extracción Soxhlet
DQO	2023/08/15	mg O ₂ /L	6.554,99	Reflujo Con Dicromato

* Sólidos Sedimentables de baja densidad.

NOTAS

- Métodos de ensayo basados en las normas de la APHA-AWWA-WEF/edición 23/2017.
- Los resultados de este informe sólo son aplicables a la muestra sometida a ensayo.
- Este informe de ensayo no deberá ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de la muestra, cuando no está a su cargo la toma de la misma.



HÉCTOR JAIRO OSORIO ZULUAGA
Coordinador
Laboratorio de Química



JOHN EDWAR ALZATE BETANCUR
Coordinador Técnico
Laboratorio de Química

N° de informe LQIE - 0250 - 2023

Elaboró: María Offir Londoño G

Laboratorio de Química
Kilómetro 7 Vía al Aeropuerto La Nubia
Campus La Nubia, Bloque L, Piso 1
(57) 606 887 93 00 Ext. 55118-53196-55318
Manizales, Colombia
lquimica_man@unal.edu.co

PROYECTO
CULTURAL,
CIENTÍFICO Y
COLECTIVO
DE NACIÓN

Fuente: Autores

Figura 27

Muestra Laboratorio filtro verde fase final finca La Polka

DETERMINACIÓN		FECHA DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
DBO ₅	Inicial: 2023/08/11	mg O ₂ /L	85,45	Incubación a 5 días en Winkler	
	Final: 2023/08/16				
Sólidos Sedimentables	2023/08/11	mL/L-h	0,3	Volumétrico	
Sólidos Suspendidos Totales	2023/08/11	mg/L	98,67	Filtración y secado a 105 °C	
Sólidos Suspendidos Fijos	2023/08/11	mg/L	9,33	Calcinación a 550 °C	
Sólidos Suspendidos Volátiles	2023/08/11	mg/L	89,34	Calcinación a 550 °C	
Grasas y/o Aceites	2023/08/14	mg/L	6,11	Extracción Soxhlet	
DQO	2023/08/15	mg O ₂ /L	1.585,90	Reflujo Con Dicromato	

NOTAS

- Métodos de ensayo basados en las normas de la APHA-AWWA-WEF/edición 23/2017.
- Los resultados de este informe sólo son aplicables a la muestra sometida a ensayo.
- Este informe de ensayo no deberá ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de la muestra, cuando no está a su cargo la toma de la misma.

Héctor Jairo Osorio Zuluaga
HÉCTOR JAIRO OSORIO ZULUAGA
 Coordinador
 Laboratorio de Química

John Edwer Alzate Betancur
JOHN EDWER ALZATE BETANCUR
 Coordinador Técnico
 Laboratorio de Química

N° de informe LQIE - 0251 - 2023

Elaboró: María Offir Londoño G

Laboratorio de Química
 Kilómetro 7 Vía al Aeropuerto La Nubia
 Campus La Nubia, Bloque L, Piso 1
 (57) 606 887 93 00 Ext. 55118-55196-55318
 Manizales, Colombia
 lquimica_man@unal.edu.co

PROYECTO
 CULTURAL,
 CIENTÍFICO Y
 COLECTIVO
 DE NACIÓN

Fuente: Autores

Figura 28

Muestra Laboratorio aguas mieles reactor trampa de pulpa finca Santa Rita

Dirección de Laboratorios
Vicerrectoría de Sede
Sede Manizales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Manizales, 17 de agosto de 2023

Estudiantes
WILMER ANDRÉS CHISCO
 Email: Wchiscociro@gmail.com
CRISTIAN CAMILO BERNAL
 Email: cristiancamilobernalmarin@gmail.com
YENNY PAOLA VELÁSQUEZ
 Email: ypvelasquezz@gmail.com
 UNAD
 calle 4 N 2-12 Barrio El Carmen
 Líbano Tolima

INFORME DE ENSAYO LQIE - 0252 - 2023

N°. de muestra : 21324.
 Tipo de muestra : Agua Residual - Agua Mielés.
 Identificación : Reactor # 1 Trampa de pulpas.
 Sitio o Procedencia de la muestra : Vereda el Delirio - Finca Santa Rita.
 Toma de la muestra : Cliente
 Fecha de recepción : 11 de agosto de 2023

DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
DBO ₅	Inicial: 2023/08/11	mg O ₂ /L	3.624,07	Incubación a 5 días en Winkler
	Final: 2023/08/16			
Sólidos Sedimentables	2023/08/11	mL/L-h	485*	Volumétrico
Sólidos Suspendidos Totales	2023/08/11	mg/L	856,00	Filtración y secado a 105 °C
Sólidos Suspendidos Fijos	2023/08/11	mg/L	47,58	Calcinación a 550 °C
Sólidos Suspendidos Volátiles	2023/08/11	mg/L	978,41	Calcinación a 550°C
Grasas y/o Aceites	2023/08/14	mg/L	36,73	Extracción Soxhlet
DQO	2023/08/15	mg O ₂ /L	6.232,67	Reflujo Con Dicromato

* Sólidos Sedimentables de baja densidad.

NOTAS

- Métodos de ensayo basados en las normas de la APHA-AWWA-WEF/edición 23/2017.
- Los resultados de este informe sólo son aplicables a la muestra sometida a ensayo.
- Este informe de ensayo no deberá ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de la muestra, cuando no está a su cargo la toma de la misma.



HÉCTOR JAIRO OSORIO ZULUAGA
Coordinador
Laboratorio de Química



JOHN EDWAR ALZATE BETANCUR
Coordinador Técnico
Laboratorio de Química

N° de informe LQIE - 0252 - 2023

Elaboró: María Offir Londoño G

Laboratorio de Química
Kilómetro 7 Vía al Aeropuerto La Nubia
Campus La Nubia, Bloque L, Piso 1
(57) 606 887 93 00 Ext. 55118-55196-55318
Manizales, Colombia
lquimica_man@unal.edu.co


PROYECTO
CULTURAL,
CIENTÍFICO Y
COLECTIVO
DE NACIÓN

Fuente: Autores

Figura 29

Muestra Laboratorio filtro verde fase final finca Santa Rita

Dirección de Laboratorios
 Vicerrectoría de Sede
 Sede Manizales


**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA**

Manizales, 17 de agosto de 2023

Estudiantes
WILMER ANDRÉS CHISCO
 Email: wchiscociro@gmail.com
CRISTIAN CAMILO BERNAL
 Email: cristiancamilobernalmarin@gmail.com
YENNY PAOLA VELÁSQUEZ
 Email: ypvelasquezz@gmail.com
 UNAD
 calle 4 N 2-12 Barrio El Carmen
 Líbano Tolima


INFORME DE ENSAYO LQIE - 0253 - 2023

N°. de muestra : 21325
 Tipo de muestra : Agua Residual - Agua Mieles.
 Identificación : Drenaje - Filtro Verde.
 Sitio o Procedencia de la muestra : Vereda el Delirio - Finca Santa Rita.
 Toma de la muestra : Cliente
 Fecha de recepción : 11 de agosto de 2023

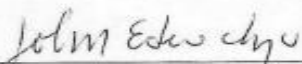
DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
DBO ₅	Inicial: 2023/08/11	mg O ₂ /L	84,23	Incubación a 5 días en Winkler
	Final: 2023/08/16			
Sólidos Sedimentables	2023/08/11	ml/L-h	0,2	Volumétrico
Sólidos Suspendidos Totales	2023/08/11	mg/L	89,43	Filtración y secado a 105 °C
Sólidos Suspendidos Fijos	2023/08/11	mg/L	9,17	Calcinación a 550 °C
Sólidos Suspendidos Volátiles	2023/08/11	mg/L	80,59	Calcinación a 550°C
Grasas y/o Aceites	2023/08/14	mg/L	6,23	Extracción Soxhlet
DQO	2023/08/15	mg O ₂ /L	1. 613,77	Reflujo Con Dicromato

NOTAS

- Métodos de ensayo basados en las normas de la APHA-AWWA-WEF/edición 23/2017.
- Los resultados de este informe sólo son aplicables a la muestra sometida a ensayo.
- Este informe de ensayo no deberá ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de la muestra, cuando no está a su cargo la toma de la misma.



HÉCTOR JAIRO OSORIO ZULUAGA
 Coordinador
 Laboratorio de Química



JOHN EDWER ALZATE BETANCUR
 Coordinador Técnico
 Laboratorio de Química

N° de informe LQIE - 0253 - 2023

Elaboró: María Ofir Londoño G

Laboratorio de Química
 Kilómetro 7 Vía al Aeropuerto La Nubia
 Campus La Nubia, Bloque L, Piso 1
 (57) 606 887 93 00 Ext. 55118-55196-55318
 Manizales, Colombia
 lquimica_man@unal.edu.co

PROYECTO
 CULTURAL,
 CIENTÍFICO Y
 COLECTIVO
 DE NACIÓN

Fuente: Autores

Figura 30

Muestra Laboratorio aguas mieles reactor trampa de pulpa finca Zelandia

DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
DBO ₅	Inicial: 2023/08/11	mg O ₂ /L	3.217,03	Incubación a 5 días en Winkler
	Final: 2023/08/16			
Sólidos Sedimentables	2023/08/11	mL/L-h	453*	Volumétrico
Sólidos Suspendidos Totales	2023/08/11	mg/L	675,00	Filtración y secado a 105 °C
Sólidos Suspendidos Fijos	2023/08/11	mg/L	52,23	Calcinación a 550 °C
Sólidos Suspendidos Volátiles	2023/08/11	mg/L	784,51	Calcinación a 550°C
Grasas y/o Aceites	2023/08/14	mg/L	27,08	Extracción Soxhlet
DQO	2023/08/15	mg O ₂ /L	5.315,76	Reflujo Con Dicromato

* Sólidos Sedimentables de baja densidad.

NOTAS

- Métodos de ensayo basados en las normas de la APHA-AWWA-WEF/edición 23/2017.
- Los resultados de este informe sólo son aplicables a la muestra sometida a ensayo.
- Este informe de ensayo no deberá ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de la muestra, cuando no está a su cargo la toma de la misma.

Héctor Jairo Osorio Zuluaga
HÉCTOR JAIRO OSORIO ZULUAGA
 Coordinador
 Laboratorio de Química

John Edwar Alzate Betancur
JOHN EDWAR ALZATE BETANCUR
 Coordinador Técnico
 Laboratorio de Química

Nº de informe LQIE - 0254 - 2023

Elaboró: María Offir Londoño G

Laboratorio de Química
 Kilómetro 7 Vía al Aeropuerto La Nubia
 Campus La Nubia, Bloque L, Piso 1
 (57) 606 887 93 00 Ext. 55118-55196-55318
 Manizales, Colombia
 lquimica_man@unal.edu.co

PROYECTO
 CULTURAL,
 CIENTÍFICO Y
 COLECTIVO
 DE NACIÓN

Fuente: Autores

Figura 31

Muestra filtro verde, fase final finca Zelandia

DETERMINACIÓN	FECHA DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO
DBO ₅	Inicial: 2023/08/11	mg O ₂ /L	68,21	Incubación a 5 días en Winkler
	Final: 2023/08/16			
Sólidos Sedimentables	2023/08/11	mL/L-h	0,2	Volumétrico
Sólidos Suspendedos Totales	2023/08/11	mg/L	79,88	Filtración y secado a 105 °C
Sólidos Suspendedos Fijos	2023/08/11	mg/L	7,45	Calcinación a 550 °C
Sólidos Suspendedos Volátiles	2023/08/11	mg/L	68,74	Calcinación a 550°C
Grasas y/o Aceites	2023/08/14	mg/L	5,08	Extracción Soxhlet
DQO	2023/08/15	mg O ₂ /L	1. 278,65	Reflujo Con Dicromato

NOTAS

- Métodos de ensayo basados en las normas de la APHA-AWWA-WEF/edición 23/2017.
- Los resultados de este informe sólo son aplicables a la muestra sometida a ensayo.
- Este informe de ensayo no deberá ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del laboratorio.
- El laboratorio no se hace responsable por la representatividad de la muestra, cuando no está a su cargo la toma de la misma.

HÉCTOR JAIRO OSORIO ZULUAGA
Coordinador
Laboratorio de Química

JOHN EDWER ALZATE BETANCUR
Coordinador Técnico
Laboratorio de Química

N° de informe LQIE - 0255 - 2023

Elaboró: María Offir Londoño G

Laboratorio de Química
Kilómetro 7 Vía al Aeropuerto La Nubia
Campus La Nubia, Bloque L, Piso 1
(57) 606 887 93 00 Ext. 55 118-55196-55318
Manizales, Colombia
lquimica_man@unal.edu.co

PROYECTO
CULTURAL,
CIENTÍFICO Y
COLECTIVO
DE NACIÓN

Fuente: Autores

Conclusiones

Evaluando el sistema de filtro integrado instalado en finca la Polka siendo ésta la de mayor área en café y producción, se obtiene un valor DBO de 3.824 mg-O/Lit, y un la DQO que presento un valor de 6.656 mg-o/lit. en el agua miel al llegar al sistema, un indicador de alta carga de contaminante es decir previo a la instalación de filtrado se tiene alta descarga de vertimientos puntuales y se estaría contaminando de manera severa los suelos y fuentes hídricas, deteriorando la fauna acuática y flora del suelo.

Luego de pasar el agua miel por el sistema de filtrado integrado para la finca la polka observamos que los valores de DBO y DQO se redujeron de manera considerable, respectivamente (85,45 – 1.585) mg-O/Lit. Esto significa que la DBO cantidad de oxígeno requerida en el sistema para degradar la materia orgánica presente en el mucilago se redujo en 97,80 % y que la DQO cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O, se redujo en 76 %. Mientras que los sólidos sedimentables (SS) se redujeron en un 99,94 %, en cuanto a los Solidos Suspendidos totales (SST), se redujo en 89,93 %; Los Solidos Suspendidos Fijos (SSF), se redujeron en 80%, Los Solidos Suspendidos Volátiles (SSV), se redujeron en 90,42 %. sí revisamos el valor de las Grasas y Aceites se obtuvo una reducción del 80,48 %.

Esto Significa que el Sistema Modular SMTA con Filtro Verde Pasto Vetiver realizo una función adecuada similar a la esperada en descontaminación de las aguas mieles de la finca la Polka. Equivalente al 87,80 %.

En el caso de la finca Santa Rita, la muestra obtenida en la trampa de pulpas y luego de analizada, arrojo un valor DBO de 3.624 mg-O/Lit, y DQO que presento un valor de 6.632,57

mg-o/lit, un indicador alto en carga de contaminación. Incumpliendo así la descarga de vertimiento puntuales. la finca Santa Rita, pese a tener una producción media en café comparada con la finca la polka, estaría contaminando de manera severa los suelos y fuentes hídricas, deteriorando la fauna acuática y flora del suelo.

Luego del paso del agua contaminada por el sistema integrado de filtrado (SMTA y filtro verde). en la finca Santa Rita, observamos que los valores de DBO y DQO se redujeron de manera considerable, respectivamente (84,23 – 1.613) mg-O/Lit. Esto significa que la DBO cantidad de oxígeno requerida en el sistema para degradar la materia orgánica presente en el mucilago se redujo en 98 % y que la DQO cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O, se redujo en 74 %. Mientras que los sólidos sedimentables (SS) se redujeron en un 99,96 %, en cuanto a los Solidos Suspendidos totales (SST), se redujo en 89,55 %; Los Solidos Suspendidos Fijos (SSF), se redujeron en 80,7 %, Los Solidos Suspendidos Volátiles (SSV), se redujeron en 91,76 %, y si revisamos el valor de las Grasas y Aceites se obtuvo una reducción del 83,31 %.

Esto Significa que el sistema de filtro integrado (Sistema Modular SMTA con Filtro Verde Pasto Vetiver). realizo una función adecuada similar a la encontrada en los estudios analizados previo a ejecución del proyecto. En la descontaminación de las aguas mieles de la finca Santa Rita equivalente en la medición al 88,18 %.

Recomendaciones

El proyecto ejecutado sistema integrado de filtrado para aguas mieles que incluye (sistema modular – filtro verde pasto vetiver) se recomienda como una opción aplicable a fincas cafeteras de pequeña, mediana, y grande área como una solución al vertimiento puntual exigido por las autoridades ambientales competentes de cada región de Colombia. Es una solución aplicable y económica que puede ser replicada en cualquier producción y ajustada a las necesidades económicas de cada agricultor, este sistema permite reutilizar materiales presentes en las fincas como una opción de aplicabilidad.

Todo el contenido del proyecto está desarrollado en 3 fincas totalmente diferentes, con diferentes características de producción, es decir que cada modelo puede tener una similitud a la finca del agricultor que se encuentre analizando el presente trabajo.

Es importante tener en cuenta, para que el sistema de filtrado integrado sea exitoso, se deben lograr cada una de las reacciones presentes en el SMTA (sistema modular de tratamiento anaerobio) para ello se deben tener diferentes tanques donde se garanticen las fases Hidrolítica-Acido génica (RHA) de la Metanogénica (RM), para efectos de separación de carga contaminante previa.

La instalación del filtro verde, se debe establecer bajo el análisis productivo de cada finca teniendo en cuenta el área de producción y los picos más altos que se pueden lograr de cosecha. es importante la construcción de la recamara tipo invernadero donde se establece el pasto tipo vetiver, para lograr garantizar la evaporación del agua, así como la cámara hermética de filtrado donde se retenga el agua y sea absorbida de forma efectiva por las raíces del pasto.

Instalar el SMTA lo más lejano de fuentes de agua limpia. En términos generales, el afluente de un sistema de tratamiento de aguas residuales cualquiera, no es apto para consumo humano y requiere para ello postratamiento.

Evitar acumulación de pulpa y granos dentro de la trampa de pulpa, lo cual podría ocasionar obstrucciones, derrames y olores muy desagradables en los alrededores. Realizar mantenimiento periódico del sistema integrado para garantizar el correcto funcionamiento, y evitar taponamiento de los conductos de filtrado del sistema.

Cada una de las acciones realizadas en el presente proyecto, fueron adaptadas a las condiciones de cada sistema productivo, teniendo en cuenta los estudios realizados por centros de investigación como cenicafe, ahora se encuentran ejecutados y en funcionamiento en las fincas estudiadas, disponibles para ser visitados y replicados por la comunidad en general.

Referencias

- Álvarez G. J. (1991). Despulpado de café sin agua. Avances Técnicos Cenicafe N° 164: 1-6.
- Cenicafe. (2013). ECOMILL. Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/500/1/Avt0432.pdf>
- Dávila A. M. T., Ramírez G. C. A. (1996). Lombricultura en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafe N° 225: 1-11.
- Desastres, U. N. (2023). Gestión del riesgo. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>
- Libano, A. D. (2022). Plan de Desarrollo. <https://www.libano-tolima.gov.co/PlanDeDesarrollo1/DECRETO%20092%20DE%202020.pdf>
- Naciones Unidas. (2023). Objetivos de desarrollo sostenible.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- 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 de café. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. (Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Química). Cenicafe. Disciplina de Química Industrial. 93 p.
- República De Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto Número 3440. Bogotá (Colombia). 2004. 4 p.
- República De Colombia. Ministerio de Salud. Decreto Número 1594. Santafé de Bogotá (Colombia). 1984. 48 p.
- República De Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Decreto Número 901. Santafé de Bogotá (Colombia). 1997. 14 p
- Rodríguez V. N. (2005). Tratamiento de residuos líquidos y sólidos de los procesos del café. Diseño y evaluación de un sistema de depuración de las aguas residuales del beneficio del

- café, con base en postratamientos con plantas acuáticas de aguas tratadas anaerobiamente. In: Resumen del Informe anual de Actividades. Cenicafé 2004- 2005, p 157-158. Chinchiná (Colombia). 183 p.
- Tolima, A. M. (2023). Libano. <https://www.libano-tolima.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Uribe, A., Laverde, B. (1972). Distribución anual de la cosecha de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 16: 1-4.
- Zambrano F. D. A. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Utilización de botellas no retornables en los reactores metanogénico de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio, SMTA. In: Resumen del Informe anual de Actividades. Cenicafé 2002- 2003, p 118-119. Chinchiná (Colombia)173
- Zambrano F.D.A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. Avances Técnicos Cenicafé No 197: 1-8.
- Zambrano F.D.A., Isaza H.J.D. (1994). Lavado del café en los tanques de fermentación. Revista Cenicafé (Colombia) 45(3):106-118.
- Zambrano F.D.A., Isaza H.J.D. (1998). Demanda química de Oxígeno y Nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Cenicafé 49(4):279-289. 1998.
- Zambrano F.D.A., Isaza H.J.D., Rodríguez V. N. López P. U. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 20:1- 26.
- Zambrano F.D.A., Zuluaga V.J. (1993). Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. Cenicafé 44(2): 45-55.