	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 8</b>

16-

<b>FECHA</b>	Jueves, 30 de mayo de 2019
--------------	----------------------------

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Extensión Facatativá
------------------------	----------------------

<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
--------------------------	------------------

<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
---	----------


<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Agronómica
---------------------------	-----------------------

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Silva Acero	Jorge Alexander	1022367182

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlin Facatativá - Cundinamarca  
 Teléfono (091) 889 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b> <b>PAGINA: 2 de 8</b>

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Cortes Palacios	William Fernando
Hernández Conterás	Diego Alexander

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO</b>
Establecimiento de un sistema de aprovechamiento y tratamiento de los efluentes del beneficio de café ( <i>Coffea arabica</i> ; L.) en la finca Cachipay, municipio de Oiba Santander

<b>SUBTÍTULO</b> (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)


<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:</b> Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Agrónomo

<b>AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
30/05/2019	42p

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. Efluentes	Effluents
2. Mucilago	Mucilage
3. Beneficio húmedo	Humid benefit
4. Compostaje	Composting
5. Reactor Hidrolítico	Hydrolytic reactor
6. Fito-remediación	Phyto-remediation

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlin Facatativá - Cundinamarca  
 Teléfono (091) 889 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 3 de 8</b>

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

### Resumen

La contaminación derivada del beneficio húmedo del café se convierte en una problemática de importancia medioambiental que se debe mitigar, aprovechando estos efluentes para la producción de abonos orgánicos en el municipio de Oiba, Santander; se pretende establecer un sistema económico pero eficiente de recolección y recirculación de las aguas residuales, donde se separen la mayor cantidad de sólidos a través de: 1. Una fosa de compostaje para el primer y segundo lavado, 2. Un paso del tercer y cuarto lavado por un reactor hidrolítico ácido-génico y 3. Pasar de allí a un proceso de Fito-remediación por lagunas de flujo horizontal con especies de pastos de corte para alimentación bovina, como lo son el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) y Guinea (*Panicum maximun*), por último se analizará la calidad del agua (pH, DBO, OD y coliformes totales) antes, durante y después del proceso de beneficio. Se espera mitigar la contaminación potencial producto de los vertimientos propios de esta actividad agrícola.

### Abstract

The pollution derived from the wet benefit of coffee becomes a problem environmental import that must be mitigated, taking advantage of these effluents for the production of organic fertilizers in the municipality of Oiba, Santander; it is intended to establish an economic but efficient system of collection and recirculation of wastewater, where the largest amount of solids is separated through: 1. A composting pit for the first and second washing, 2. A step of the third and fourth washed by a hydrogen-acid hydrolytic reactor; and 3. Moving from there to a process of phyto-remediation by horizontal flow lagoons with cut grass species for bovine feeding, such as elephant grass (*Pennisetum purpureum*) and Guinea (*Panicum maximun*), finally, water quality (pH, BOD, OD and total coliforms) will be analyzed before, during and after the beficiation process. It is expected to mitigate the potential contamination product of the wastewater typical of this agricultural activity.

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 4 de 8</b>

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlin Facatativá - Cundinamarca  
Teléfono (091) 889 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 8</b>

personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**


Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI \_\_\_ NO \_x\_.**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlin Facatativá - Cundinamarca  
Teléfono (091) 889 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>PAGINA: 6 de 8</b>

características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 7 de 8</b>

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



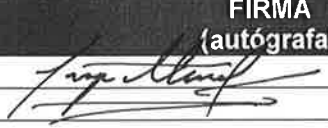
**Nota:**


Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

<b>Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)</b>	<b>Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)</b>
1. Establecimiento de un sistema de aprovechamiento y tratamiento de los efluentes del beneficio de café ( <i>Coffea arabica</i> ; L.) en la finca Cachipay, municipio de Oiba Santander.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

<b>APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>FIRMA (autógrafa)</b>
Jorge Alexander Silva Acero	

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 8 de 8</b>

21.1-40

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlin Facatativá - Cundinamarca  
 Teléfono (091) 889 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



**Establecimiento de un sistema de aprovechamiento y tratamiento de los efluentes del beneficio de café (*Coffea arabica*; L.) en la finca Cachipay, municipio de Oiba Santander**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Agrónomo**

**Modalidad de pasantía**

**Jorge Alexander Silva Acero**

**Universidad de Cundinamarca, seccional Facatativa**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Programa de Ingeniería Agronómica 2019**

**Establecimiento de un sistema de aprovechamiento y tratamiento de efluentes del beneficio de café (*Coffea arabica*; L.) en la finca Cachipay, municipio de Oiba Santander**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Agrónomo**

**Modalidad de pasantía**

**Jorge Alexander Silva Acero**

**Tutores: Externo: William Fernando Cortez Palacios MSc.**

**Interno: Diego Alexander Hernández Contreras. MSc.**

**Empresa: Inversiones Tapias Ltda.**

**Universidad de Cundinamarca, seccional Facatativa**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Programa de Ingeniería Agronómica 2019**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Firma del tutor**

---

**Firma del coordinador**

---

---

---

**Firma del jurado**

Facatativá, 30 de mayo de 2019

## Tabla de contenido

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción .....	8
Planteamiento del problema.....	11
Objetivo.....	12
Objetivos específicos.....	12
Marco Teórico.....	13
Generalidades, botánica y taxonomía.....	13
Fenología.....	14
Condiciones Agroclimáticas. Componentes del clima.....	15
Suelo y fertilidad.....	15
Generalidades del lugar donde se realiza el estudio.....	16
Cosecha .....	16
Marco Conceptual.....	17
Beneficio .....	17
Compostaje.....	18
Reactor Hidrolítico Acido-génico .....	20
Fito-remediación .....	21
Pasto elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> ) .....	23

Pasto Guinea ( <i>Panicum máximum</i> ) .....	24
Metodología .....	24
Lugar del estudio .....	24
Descripción del experimento .....	27
Fosa de compostaje. ....	27
Reactor Hidrolítico Acido-génico de flujo descendente. ....	28
Fito-remediación .....	31
Presupuesto .....	33
Resultados .....	35
Modificaciones Fosa de compostaje. ....	35
Reactor Hidrolítico Acido Génico de Flujo Descendente. ....	36
Humedales de Fito-remediación.....	37
Conclusiones .....	40
Recomendaciones .....	41
Agradecimientos .....	42
Referencias.....	43

## **Establecimiento de un sistema de aprovechamiento y tratamiento de efluentes del beneficio de café (*Coffea arabica*; L.) en la finca Cachipay, municipio de Oiba Santander**

### **Resumen**

La contaminación derivada del beneficio húmedo del café se convierte en una problemática de importancia medioambiental que se debe mitigar, aprovechando estos efluentes para la producción de abonos orgánicos en el municipio de Oiba, Santander; se pretende establecer un sistema económico pero eficiente de recolección y recirculación de las aguas residuales, donde se separen la mayor cantidad de sólidos a través de: 1. Una fosa de compostaje para el primer y segundo lavado, 2. Un paso del tercer y cuarto lavado por un reactor hidrolítico ácido-génico y 3. Pasar de allí a un proceso de Fito-remediación por lagunas de flujo horizontal con especies de pastos de corte para alimentación bovina, como lo son el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) y Guinea (*Panicum maximum*), por último se analizará la calidad del agua (pH, DBO, OD y coliformes totales) antes, durante y después del proceso de beneficio. Se espera mitigar la contaminación potencial producto de los vertimientos propios de esta actividad agrícola.

**Palabras clave:** Efluentes, mucilago, beneficio húmedo, compostaje, reactor hidrolítico, Fito-remediación.

**Establishment of a system for the use and treatment of effluents from the benefit of coffee  
(*Coffea arabica* L.) at the Cachipay farm, municipality of Oiba Santander.**

**Abstract**

The pollution derived from the wet benefit of coffee becomes a problem environmental import that must be mitigated, taking advantage of these effluents for the production of organic fertilizers in the municipality of Oiba, Santander; it is intended to establish an economic but efficient system of collection and recirculation of wastewater, where the largest amount of solids is separated through: 1. A composting pit for the first and second washing, 2. A step of the third and fourth washed by a hydrogen-acid hydrolytic reactor; and 3. Moving from there to a process of phyto-remediation by horizontal flow lagoons with cut grass species for bovine feeding, such as elephant grass (*Pennisetum purpureum*) and Guinea (*Panicum maximum*), finally, water quality (pH, BOD, OD and total coliforms) will be analyzed before, during and after the beficiation process. It is expected to mitigate the potential contamination product of the wastewater typical of this agricultural activity.

**Keywords:** Effluents, mucilage, humid benefit, composting, hydrolytic reactor, phyto-remediation.

## **Introducción**

El café maduro o café cereza, después de ser cosechado, es rápidamente perecedero, por eso mismo debe ser procesado con ligereza para convertirse en café pergamino seco, con rangos de humedad entre el 10 al 12% óptimos para el almacenamiento y así conservar por el mayor tiempo posible sus características organolépticas. Existen tres tipos de beneficio: uno es el beneficio natural, donde el café solamente es recolectado y puesto a secar el fruto completo, el segundo es el beneficio semi-húmedo donde se separa la semilla de la cereza pero no se remueve el mucilago de esta, de esta manera se obtiene el café tipo “Honey”, y por último el beneficio húmedo (por utilizar agua para lavar la semilla), que se usa casi en la totalidad de las regiones cafeteras Colombianas; la complicaciones logísticas del secado, y las elevadas humedades relativas (sanidad) en las zonas cafeteras hacen de las primeras técnicas de beneficio un asunto complicado, por ende se hace necesario un lavado previo antes del secado para aumentar la vida útil del café y por ende su trazabilidad (Rodríguez, 2015).

A la infraestructura destinada para este tipo de manejo de la postcosecha del café se le da el nombre de “beneficiadero”, donde su fin último es la obtención de café pergamino seco. El beneficio húmedo, aunque hace más fácil el manejo y la durabilidad del café después de su recolección, además que garantiza el factor diferenciador del café colombiano propio de la fermentación aerobia, se convierte en un problema ambiental al generar un gran volumen de efluentes, que deben ser manejados de manera responsable para no generar contaminación en las microcuencas aledañas a los sistemas productivos (Urquijo, 2016). El sistema de beneficio convencional es el que impera en la mayoría de los minifundios cafeteros del país e investigaciones realizadas por Cenicafé y lo sintetizan de la siguiente manera: “*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 (del fruto, del café despulpado y del café lavado), con un consumo global cercano a los 40 litros de agua por cada kilogramo de Beneficio tradicional de café pergamino seco (cps) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos”. Problemática que deriva en contaminación orgánica superlativa (115 g de DQO por kilogramo de café cereza según Cenicafé) (Rodríguez, 2015).

Por ende, las aguas residuales del beneficio deben ser tratadas, o tener un sistema de manejo de dichos efluentes que no genere vertimientos potencialmente peligrosos, como lo son el compostaje de los sólidos suspendidos, el reactor hidrolítico ácido génico y el sistema de Fito-remediación que se implementará en este proyecto. El compostaje es una técnica donde se pueden controlar procesos de degradación de materia orgánica a través de actividad microbológica por medio del ingreso de oxígeno, manejo de la humedad y monitoreo de la temperatura, para que de manera rápida e inocua se transforme dicha materia orgánica en otras formas químicas para ser utilizadas como base de fertilidad y fuente de fertilización (Suarez, 2012). El reactor hidrolítico ácido-génico es una tecnología sencilla, que consta de un sistema de filtración (trampa pulpa), para separar sólidos de tamaño grande (como cereza de café y cisco) antes de ingresar el agua del lavado a los tanques de reacción propiamente dichos, donde por un flujo lento ingresa el efluente, por un proceso de suspensión de natas y sedimentación de lodos se separan los sólidos del agua (Zambrano, 2006).

Existen diversas metodologías de tratamiento de aguas residuales. Las cuales van desde aquellas que mejoran las características físicas (primarios), hasta los que permiten el reúso del agua en diferentes actividades antrópicas (terciarios), una de las técnicas más usadas son los humedales artificiales donde especies vegetales como *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, *Pistia*

*stratiotes*, *Elodea canadensis* siempre y cuando se tenga control sobre su crecimiento, *Ceratophyllum demersum*, *Alternanthera philoxeroides*, para filtrar de forma natural el agua cargada con compuestos tóxicos para suelos y fuentes hídricas. La opción de utilizar especies de gramíneas disponibles en la región de Oiba como lo son los pastos de corte para alimentación bovina *Pennisetum purpureum* (Elefante o gramalote) y *Panicum maximum* (Guinea), le da una finalidad productiva a la implementación de un sistema de Fito-remediación de las aguas mieles del beneficio húmedo de café (Palta, 2014). Si bien se entiende que la agricultura orgánica no usa agro-insumos de síntesis química, este conocimiento intrínseco de la integración en los conceptos de sostenibilidad y conservación de los servicios ecosistémicos (agua y suelo principalmente) es imperativo, en la búsqueda constante de preservar la biodiversidad de los ecosistemas circundantes a la actividad agrícola (Corantioquia, 2016). Este trabajo busca la integración y articulación de diferentes metodologías: orgánicas, físicas y biológicas para reducir al máximo la contaminación colateral de la actividad cafetera en el momento del beneficio húmedo.

## **Planteamiento del problema**

La finca Cachipay (Propiedad de Inversiones Tapias) en el municipio de Oiba es una empresa cafetera orgánica que busca mejorar su desempeño en el sector, desde la producción de café de calidad, hasta el aprovechamiento máximo de los recursos y subproductos involucrados en el proceso de producción, siempre buscando equilibrio entre lo ambiental, lo social y lo económico. En términos generales, los sistemas cafeteros de Colombia, en su mayoría minifundistas no cuentan con metodologías para el tratamiento y/o remediación de aguas mieles, ya sea por desinterés, desconocimiento, o falta de presupuesto para la implementación de estas técnicas, lo que deriva inevitablemente, sea cual sea el motivo, en contaminación de los recursos hídricos y edáficos; por ende, crear alternativas eficientes, baratas y adaptadas a las características propias de las zonas de producción cafetera, resulta todo un desafío, y más apremiante si aunamos el hecho de que la reglamentación ambiental vigente en el país exige, por un lado, reducir como mínimo el 80% de los efluentes contaminantes en las aguas de lavado, o pagar un tasa retributiva acorde a la cantidad de contaminación que se vierten en las fuentes hídricas, consagrado en el **Decreto 2667 de 2012** “por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones” y la **Resolución 631 de 2015** “por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. De este modo surge el siguiente interrogante: ¿Se puede implementar un sistema económico y

eficiente para el aprovechamiento de efluentes propios del beneficio húmedo de café, donde se mitigue el daño ambiental en esta etapa de la actividad cafetera en la finca Cachipay, vereda palo blanco, municipio de Oiba Santander?

### **Objetivo**

Establecer un sistema de recolección, aprovechamiento y tratamiento de efluentes derivados del beneficio húmedo de café (*Coffea arabica*; L.) para producir abonos orgánicos y reducir vertimientos potenciales.

### **Objetivos específicos**

Reducir la humedad del material primario del compostaje, a través de estrategias que faciliten el proceso, buscando la retención total de los compuestos orgánicos potencialmente contaminantes presentes en el primer y segundo lavado (azúcares fermentados, pectinas y nitrógeno).

Aforar el agua del tercer y cuarto lavado para diseñar un Reactor Hidrolítico Acido-Génico que sea acorde a la topografía aledaña al beneficiadero de la finca Cachipay y que decante estos efluentes.

Neutralizar la carga microbiana potencialmente contaminante de los dos últimos lavados, a través del paso del agua tratada por humedales de Fito-remediación con especies aprovechables en alimentación bovina.

## Marco Teórico

### Generalidades, botánica y taxonomía

El café es una planta arbustiva perenne perteneciente a la familia de las rubiáceas, propia de zonas tropicales del género *Coffea*, originaria de la región de Kaffa, oriente de África. Los granos obtenidos variados morfológicamente, tostados y molidos son preparados como infusión dando origen a la bebida con el mismo nombre. Posee hojas simples, opuestas y estipuladas, variadas en tamaño y textura, dependiendo de la etapa fisiológica, de flores completas, blancas y tubulares y drupas normalmente llamadas cerezas (tipo de fruto) de diferentes colores y tamaños, con dos semillas por lo general en su interior (FNC, 2010).

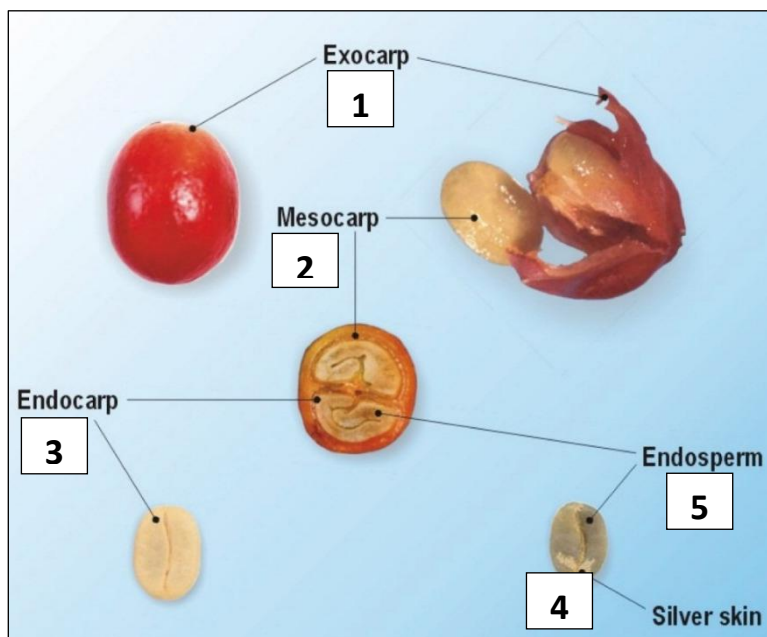


Figura 1. Partes del fruto de café. Fuente: (Café de Colombia, 2010).

Acorde con la figura 1, las drupas están compuestas por una cubierta exterior **1**. Exocarpo que determina el color del fruto, dentro de esta cubierta hay otra serie de capas: **2**. Mesocarpio, una goma rica en sacáridos que está adherida a las semillas conocida como mucilago o baba, **3**. Endocarpio, capa amarilla que recubre cada grano, coloquialmente conocida como pergamino, **4**. Epidermis, capa delgada conocida como película plateada, y el **5**. Endospermo, también llamado café verde, que es el que sufre en última medida de un proceso de industrialización (FNC, 2010).

### Fenología

En el establecimiento de un cultivo de café es necesario conocer el desarrollo de la planta con respecto a su fase vegetativa (formación de estructuras no reproductivas como las raíces, las ramas, los nudos y las hojas) y reproductiva (ocurre la formación y desarrollo de estructuras de reproducción como las flores y los frutos), también los factores que inciden en ellas, suelo, precipitaciones, estrés hídrico, esto con la finalidad de programar labores culturales y hacer de la caficultura un asunto rentable (Arcila, 2007).

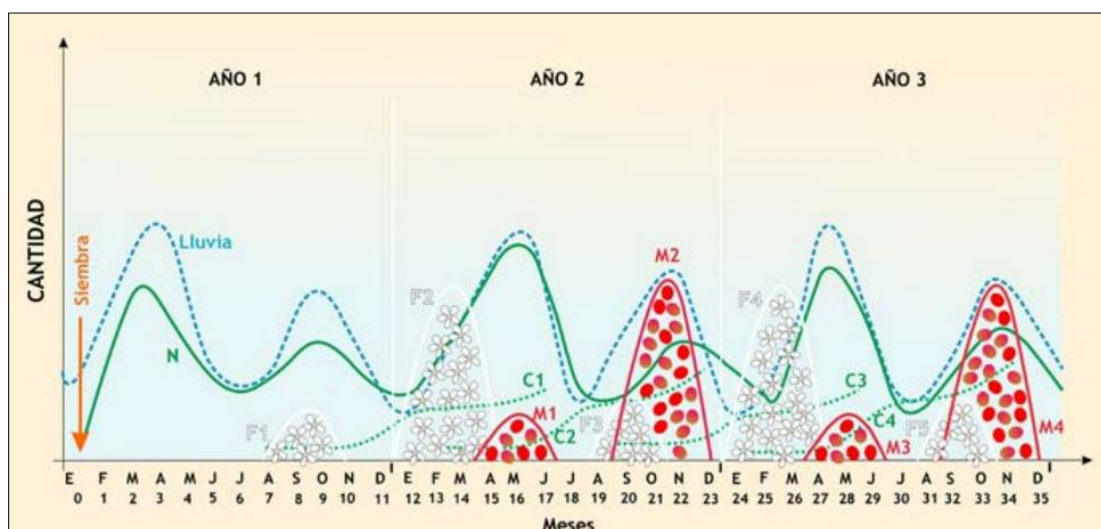


Figura 2. Formación de nudos y hojas (N), floración (F1, F2, F3, F4, F5), cuajado del fruto (C1,

**C2, C3, C4**) maduración de frutos (**M1, M2, M3, M4**) en la planta de café y su relación con la disposición de agua, a través de 3 años desde la siembra. Fuente: (Arcila 2001).

### **Condiciones Agroclimáticas. Componentes del clima**

La zona ideal para el desarrollo del café está entre los 1200 y 1800 msnm, con una temperatura media entre 19°C y 22°C, en climas fríos hay menor producción y la cosecha se distribuye en todo el año, en climas cálidos, la vida productiva del café es más corta, la cosecha es concentrada, el ataque de la roya y las poblaciones de broca son más severas (Arcila, 2007). Se considera adecuada una precipitación anual entre los 1800 y los 2800 milímetros, con buena distribución a lo largo del año, mensualmente se requieren al menos 120 milímetros, periodos de lluvias extendidos estimulan enfermedades como el mal rosado y la gotera, y además en época de floración incide negativamente en dicha etapa fenológica; en las sequías extensas se pueden presentar defoliaciones, y explosión poblacional de plagas como el minador, la arañita roja y la broca (Ramirez, 2010).

Colombia al estar ubicada cerca de la línea del ecuador, tiene abundante luminosidad, las montañas andinas que atraviesan el país de sur a norte, separan la Amazonía de las costas pacífica y atlántica, creando un régimen de lluvias ideal y las condiciones climáticas más favorables para recolectar café durante todos los meses del año, por este motivo Colombia puede ofrecer un suministro constante de café fresco al mercado internacional (FNC, 2015).

### **Suelo y fertilidad**

Los suelos ideales para la producción de café son francos, oscuros, abundantes en materia orgánica, de estructura granular, porosos y de permeabilidad moderada, con buena profundidad efectiva (hasta 80cm) para un óptimo desarrollo radicular; con respecto a parámetros químicos los suelos buenos para café deben tener un pH entre 5 y 5.5 moderadamente

ácidos, rangos diferentes dificultarán la nutrición de las plantaciones (FNC, 2010). Los oligonutrientes que el café requiere en mayor medida son: Nitrógeno, Fosforo y Potasio, y en menor cantidad: Calcio, Magnesio, Azufre, Hierro, Zinc, Manganeso, Boro y Cobre, donde su carencia puede afectar el crecimiento y desarrollo normales de los cafetales, derivando en una merma de producción en términos de calidad y/o cantidad. En términos de materia orgánica se habla de valores superiores al 8%, ya que mejora características físicas, químicas y biológicas necesarias para el desarrollo, incidiendo en la estructura del suelo y su fertilidad (FNC, 2010).

### **Generalidades del lugar donde se realiza el estudio**

El municipio de Oiba hace parte de la provincia comunera en el departamento de Santander, con una extensión total de 287 km<sup>2</sup> localizada aproximadamente a 1420 msnm. Cuenta con temperaturas medias entre los 15.8°C y los 22.6°C, precipitaciones en las zonas altas de 2000 mm a 4000mm y en las zonas bajas de 1300 mm a 2000 mm, topografía variable, suelos arcillosos y franco-arcillosos (Oiba, 2019). Oiba es un Municipio con vocación agropecuaria, donde se destacan los renglones de la Ganadería y los cultivos de café, caña de azúcar y cítricos (Oiba, 2019).

### **Cosecha**

En Colombia al llegar el momento de la cosecha, los agricultores se disponen a recoger solamente granos maduros, que, aunque acarrea un esfuerzo adicional por la accidentada topografía donde se desarrolla la caficultura en el país, representa un factor de calidad para el consumidor final (FNC, 2010).



## **Marco Conceptual**

### **Beneficio**

Es la labor de postcosecha que busca separar el mucilago (rico en agua (91,77%) azúcares (6,43%), pectinas (0,81%) y nitrógeno (0.12%)) de la semilla de café, a través de métodos de fricción mecánica (desmucilagador), o fermentación, para ser lavada posteriormente y puesta a secar hasta alcanzar entre un 10% y 12% de humedad. En la actualidad en Colombia existen tres modalidades de beneficio húmedo para el grano de café, descritos a continuación:

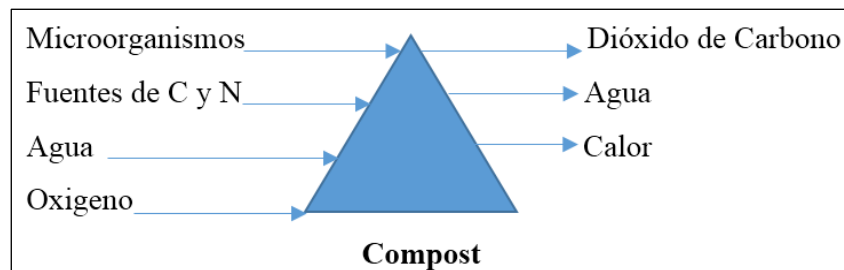
**Beneficio convencional.** Proceso que se ha utilizado de forma tradicional en el país para separar la semilla de las demás partes del fruto de café y en cual se utiliza agua en el despulpado, lavado y transporte con un consumo total de agua aproximado a los 40 litros (Rodríguez, 2015) por cada kilogramo de café pergamino seco (cps), donde además no se realiza manejo a los efluentes producidos. También presenta una alta contaminación orgánica de 115 g de DQO por kilogramo de café cereza (Rodríguez, 2015).

**Beneficio ecológico del café.** Proceso afable con el medio ambiente, donde se lleva el café cereza a café pergamino seco, conservando la calidad exigida por el mercado internacional para el café colombiano, se aprovechan derivados del beneficio generando valor agregado a la actividad cafetera y se utiliza el agua justa en el proceso (Rodríguez, 2015).

**Beneficio ecológico del café sin vertimientos.** Tipo de beneficio que se hace con racionalidad de gasto del recurso hídrico, donde se tratan los subproductos, sean pulpa, mucilago o las aguas residuales, sin generar vertimientos, haciendo una recirculación constante de los lixiviados, y las aguas residuales se utilizan en actividades agrícolas (Rodríguez, 2015).

### **Compostaje**

Proceso aerobio de degradación de materia orgánica, con aumento de temperatura controlada; se realiza por acción de microorganismos en presencia de aire para generar abono orgánico. El compost mejora las propiedades físicas (agregación, porosidad, estructura, textura, retención de humedad), químicas (Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), fertilidad) y biológicas (fauna, microorganismos) del suelo (UN, 2016).



*Figura 3.* Dinámica del proceso de degradación en compostaje. Fuente: (UN, 2016).

En el proceso de compostaje ocurren una serie de fases de degradación de la materia orgánica: **Fase mesófila.** El material primario inicia su proceso de compostaje, a temperatura ambiente y sube de temperatura (40°-45°C) debido a la actividad microbiológica, esta fase dura entre dos y ocho días (UN, 2016). **Fase termófila o de higienización.** El material alcanza temperaturas aún mayores (55°-60°C) entran a actuar microorganismos más resistentes a altas temperaturas, donde se destruyen bacterias y contaminantes y se higieniza la mezcla. Puede durar desde días hasta unos meses, dependiendo del material de partida, las condiciones climáticas y el manejo antrópico del compostaje (UN, 2016). **Fase de enfriamiento.** Se reduce la

temperatura (40°-45°C) continuando el proceso de degradación de las moléculas más complejas, como lignina y celulosa, requiere de varias semanas (UN, 2016). **Fase de maduración.** Es un periodo de estabilización que puede durar meses a temperatura ambiente donde por procesos de condensación y polimerización de los compuestos carbónicos se generan ácidos húmicos y fúlvicos (UN, 2016).

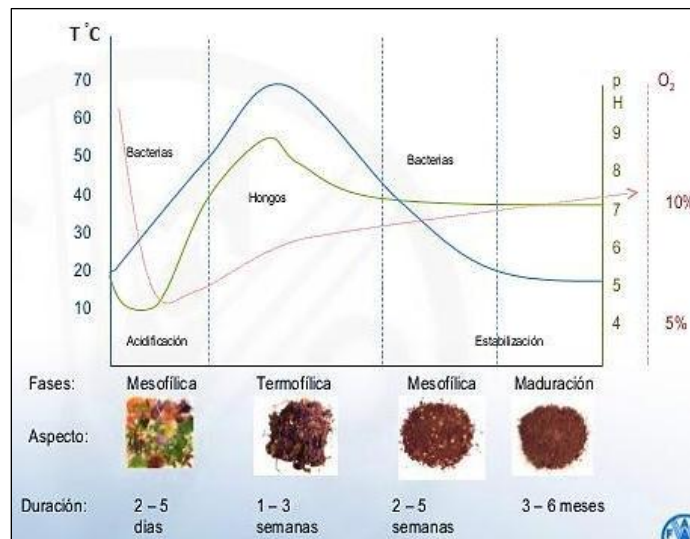


Figura 4. Dinámica de degradación del proceso de compostaje. Fuente: (Roman, FAO, 2013).

Tabla 1. Fases de degradación de la materia orgánica en el compostaje.

Mesofílica	Termofílica	Mesofílica II o de enfriamiento	Maduración
Temperatura ambiente hasta 40°C	40 a 70°C o mas	Descenso de la temperatura hasta los 40-45°C	18 a 22°C
Hongos mesofílicos y termo-tolerantes	Bacterias Actinomicetos Hongos	Bacterias Hongos Invertebrados	Bacterias Actinomicetos Hongos

---

Bacterias

mesofílicas

pH 5-5.5

pH 8-9

pH 8.5

pH 7-8

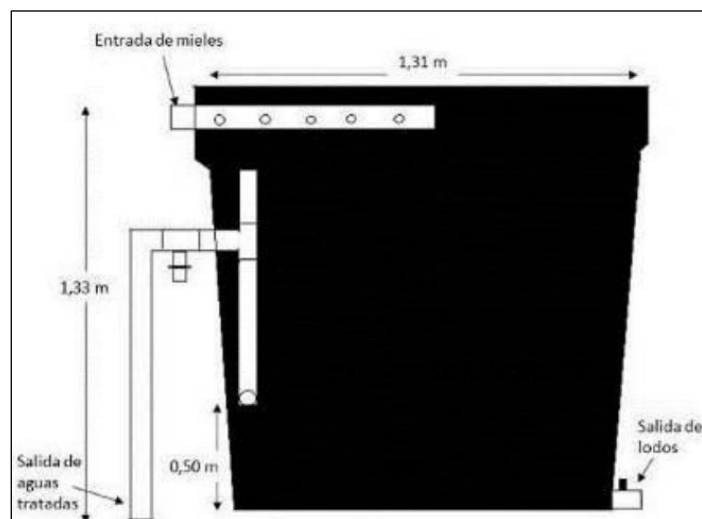
---

Fuente: (UN 2016).

El compostaje tiene como objetivos aprovechar los residuos orgánicos producidos en las actividades agrícolas, destruir microorganismos patógenos para humanos, animales y plantas, evitar que los recursos agua y suelo sean fuente de inóculo para estos, limitar la capacidad germinativa de arvenses, y aumentar la fertilidad potencial y efectiva de los suelos (UN, 2016).

### **Reactor Hidrolítico Acido-génico**

El reactor hidrolítico ácido-génico de flujo descendente (RHAGFD), es una tecnología de separación de insolubles procedentes del beneficio húmedo del café, donde, por un ingreso lento al tanque de recepción dichos efluentes se separan del agua que se usó para el lavado del café previamente fermentado sea vía flotación o sedimentación (Cerquera, 2017).



*Figura 5.* Reactor Hidrolítico Acido-génico de Flujo Descendente. Fuente: (Cerquera, 2017).

## **Fito-remediación**

Es una estrategia de filtración física y biológica donde se descomponen compuestos orgánicos y estabilizan metales presentes en los efluentes de actividades agrícolas o industriales, a través de la rizosfera para fijarlos en los órganos de las plantas del sistema, convirtiéndolos en compuestos más manejables desde el punto de vista ambiental, verbigracia CO<sub>2</sub>, agua y sales minerales (Arias, 2010). En la Fito-remediación se identifican varios tipos, que varían según las partes de la planta que participan o los microorganismos que contribuyen con la degradación, algunos de los cuales se presentan en la Tabla 2 que describe los procesos involucrados y los contaminantes que se pueden tratar.

*Tabla 2. Tipos de Fito-remediación*

<b>Tipo</b>	<b>Proceso involucrado</b>
<b>Fito extracción</b>	Las plantas se usan para concentrar los contaminantes en las partes cosechables (principalmente la parte aérea).
<b>Rizo filtración</b>	El sistema radicular de las plantas usadas absorbe y concentra las partículas contaminantes y las degrada en compuestos estables.
<b>Fito estabilización</b>	Restricción en la movilidad de partículas contaminantes, evitando su lixiviación o volatilización en el aire.
<b>Fito estimulación</b>	Se induce a las plantas a generar exudados, que sirven de caldo de cultivo de microorganismos que a su vez ayudaran en el proceso de degradación.
<b>Fito volatilización</b>	Las plantas capturan y transforman los contaminantes, y los

liberan en la atmosfera a través de su metabolismo.

**Fito degradación**

Las plantas capturan, guardan y descomponen compuestos contaminantes, y dan lugar a otros menos tóxicos.

---

Fuente: (Arias, 2010).

**Vertido de las aguas residuales del beneficiado de café a los cuerpos receptores.** Los efluentes del beneficio húmedo del café, están compuestos por grandes concentraciones de materia orgánica que, al no manejarse responsablemente, terminaran afectando potencialmente los cuerpos receptores y su área circundante a través de:

Aumento de la demanda bioquímica de oxígeno en el agua, disminución del oxígeno disuelto en el agua, disminución del pH en el agua, acidificación del suelo aledaño a los cuerpos receptores, afectaciones a la flora y fauna acuática, erosión potencial debido a cárcavas, modificaciones en el paisaje acuático y terrestre, aumento exagerado de sólidos en suspensión en el agua, imposibilidad del uso del agua para consumo humano y/o animal (Molina, 2006).

**Humedal artificial de flujo subsuperficial.** Es una metodología de filtración biológica, donde sobre un medio poroso, se siembran especies macrófitas con la capacidad de remover a través de sus raíces componentes potencialmente tóxicos (orgánicos o sintéticos) para los recursos suelo y agua, donde el lecho es atravesado de forma lenta por los efluentes sin superar el nivel del medio filtrante (rizosfera) (Arias, 2010).

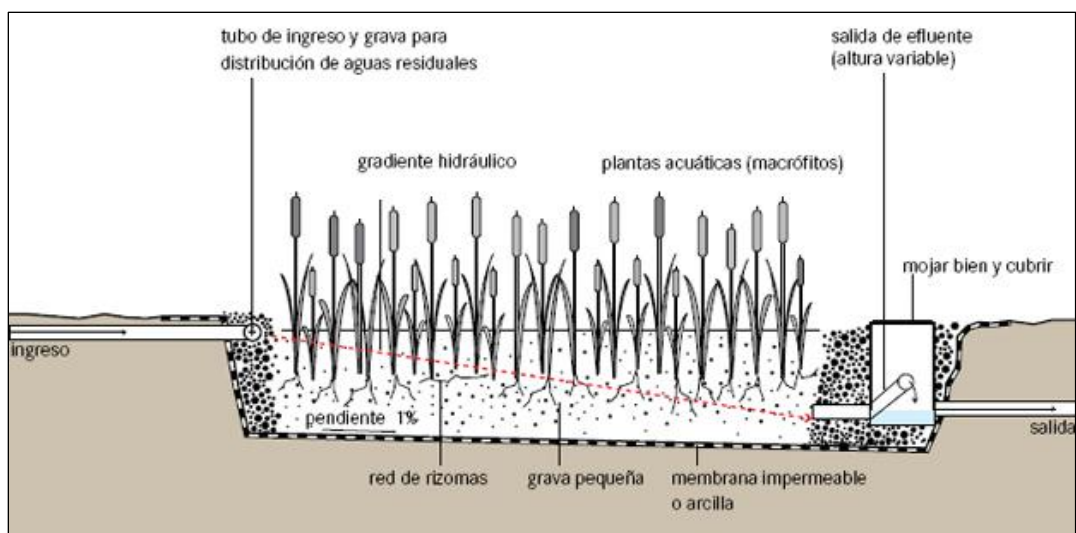


Figura 6. Humedal de Flujo de Horizontal Subsuperficial. Fuente: (Alianza por el agua, 2019).

### **Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*)**

Pasto perenne de buen macollaje, que se puede usar como pasto de corte o en el pastoreo abierto, se adapta bien al trópico bajo y medio (0-1800 msnm), de buena adaptación a suelos húmedos pero con buen drenaje, sus rangos óptimos de temperatura van de 17-27°C y la precipitación ideal oscila entre 1200-2200 mm año (Suárez, 2016).

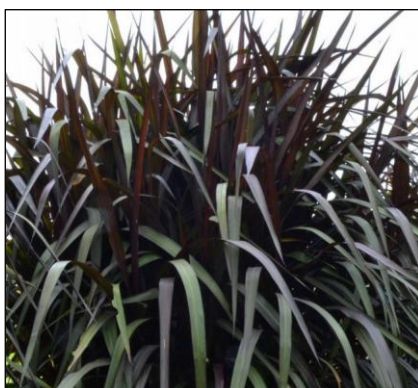


Figura 7. Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). Fuente: (Plantvine, 2019).

### **Pasto Guinea (*Panicum máximum*)**

Pasto de corte de una altura cercana a los 2 metros, crecimiento erecto, buen macollaje y una excelente capacidad de rebrote, tiene necesidades de fertilidad media-alta del suelo, con una eficiente absorción del fosforo presente en el suelo, requiere precipitaciones cercanas a los 1300-2300 mm año, con altitudes de 0-1100 msnm y temperaturas medias entre 20-35° (Carrillo, 2000).



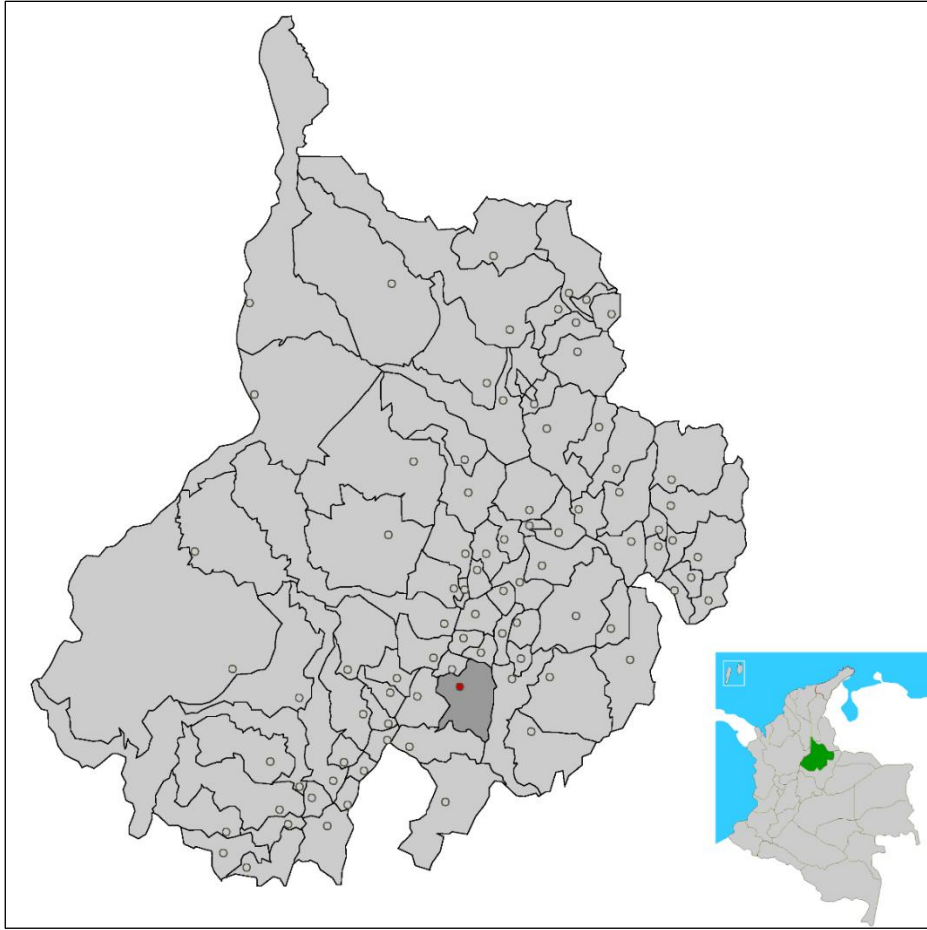
*Figura 8.* Pasto Guinea (*Panicum máximum*). Fuente: (Tropical forage, 2017).

## **Metodología**

### **Lugar del estudio**

El proyecto se lleva a cabo en la finca Cachipay, productora de café orgánico (9,2 hectáreas), propiedad de la empresa Inversiones Tapias. Ubicada en la vereda Palo Blanco del municipio de Oiba, parte de la provincia comunera departamento de Santander. El sitio está localizado en las coordenadas 6°29'44.0"N-73°27'60"O, a una altitud de 1470 msnm, con una precipitación promedio cercana a los 2300 mm año, con temperaturas que oscilan entre 15,8 a 22,6 °C. El sitio donde se establecerá el proyecto es el correspondiente al beneficiadero,





*Figura 9.* Ubicación espacial del municipio de Oiba, departamento de Santander Fuente:

(Esacademic, 2019).



*Figura 10.* Área sembrada (9,2 Ha) en café en la finca Cachipay (boreado en dorado), beneficiadero húmedo ★ de la finca Cachipay. Fuente: (Google Maps, 2019).



*Figura 11.* Beneficiadero húmedo de la finca Cachipay. Fuente: (Silva, 2019).

## Descripción del experimento

Se estableció un sistema de recepción y aprovechamiento de aguas mieles procedentes del beneficio húmedo, que consta de tres fases: La primera es una fosa compostaje donde se recolecta el agua procedente del primer y segundo lavado, con la mayor carga de mucilago fermentado, la segunda fase es un Reactor hidrolítico Acido-génico donde se trata el agua del tercer y cuarto lavado con menor carga orgánica, y la última fase es un paso del agua tratada en el reactor por un par de humedales de flujo horizontal.

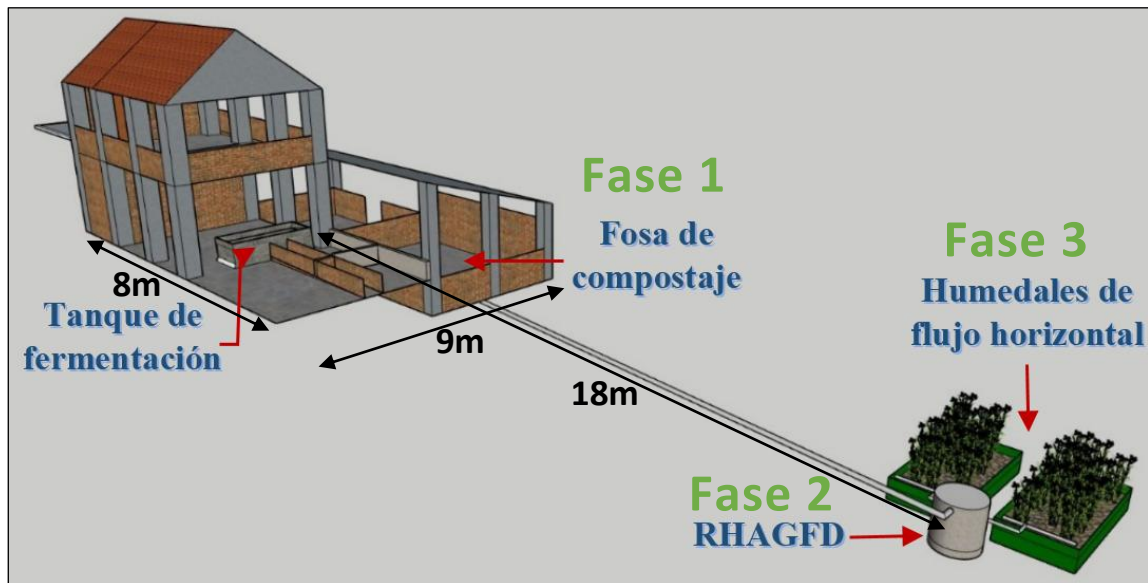


Figura 12. Diseño 3D, sistema de aprovechamiento de aguas residuales. Fuente: (Silva, 2019).

### Fosa de compostaje.

Espacio de recepción de agua del primer y segundo lavado, con un área de  $20 \text{ m}^2$ , donde, por medio de materia seca (hojarasca, pasto de poda) y volteos, se busca retener sólidos potencialmente contaminantes, manejando porcentajes de humedad entre el 45 y 60% (UN, 2016). También se recomendó el cambio del techo de la fosa; pasar de tejado en zinc a un

plástico UV, que conserve el calor y estimule la actividad microbiológica y la evaporación en la fosa.

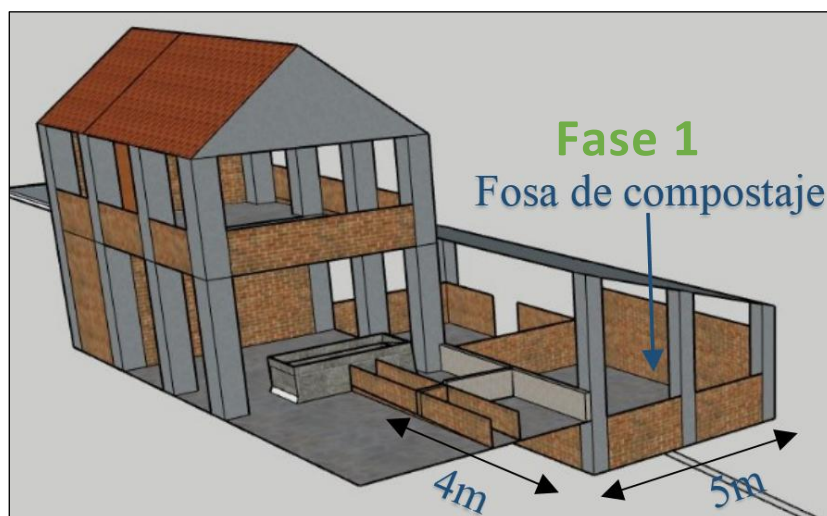


Figura 13. Fosa de compostaje con respecto a la estructura del beneficiadero

### Reactor Hidrolítico Acido-génico de flujo descendente.

Se estima la capacidad idónea del tanque para 48 horas de retención con los datos suministrados por la empresa de la semana pico de producción en la cosecha del año 2018.

Tabla 3. Kg. de café cereza cosechados finca Cachipay año 2018, cosecha principal.

Fecha	Recolección de cereza (kilos)	Café pergamino seco (kilos)
3-8 de septiembre del 2018	749,5	149,9
10-15 de septiembre del 2018	797	159,4
17-22 de septiembre del 2018	1986,5	397,3
24-29 de septiembre del 2018	1570	314
1-6 de octubre del 2018	1505	301
8 al 13 de octubre del 2018	3247,5	649,5



Fecha	Recolección de cereza (kilos)	Café pergamino seco (kilos)
22 de oct. al 27 oct. del 2018	3006,5	601,3
29 de oct. al 3 de nov. del 2018	3573	714,6
<b>5 al 10 de noviembre del 2018</b>	<b>6837</b>	<b>1367,4</b>
12 al 17 de noviembre del 2018	1837,5	367,5
19-al 24de noviembre del 2018	2670,5	534,1
26 de nov. al 1 de dic. del 2018	2106	421,2

Fuente: (Tapias 2018).

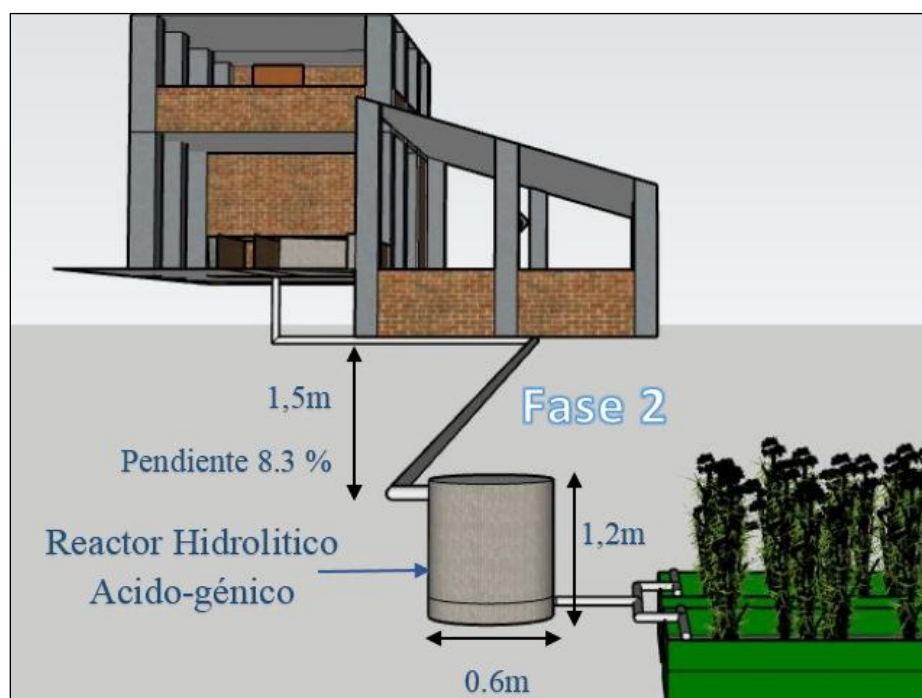


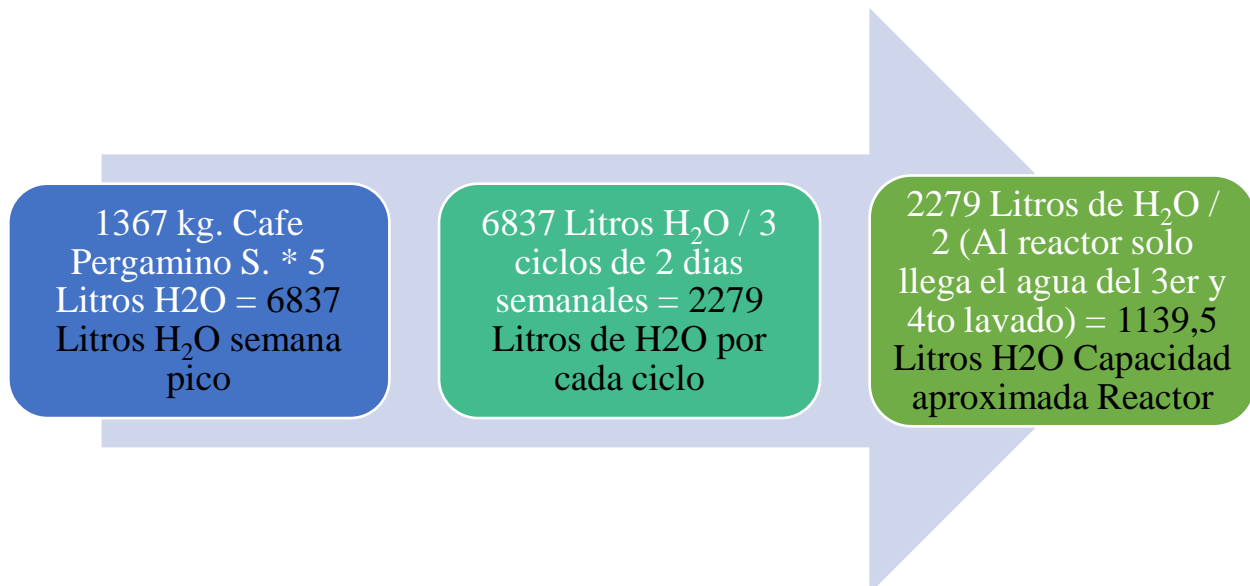
Figura 14. Reactor Hidrolítico Acido-Génico de Flujo Descendente. Fuente: (Silva, 2019).

El reactor cuenta con una tubería de descarga, en la parte superior, donde llega el agua del tercer y cuarto lavado; una barrera para la reducción de la velocidad de llegada del agua de

descarga; una tubería de salida para el agua tratada, que está ubicada a 0,6 metros de la base del tanque; y una tubería de salida de lodos en la base del reactor.

**Cálculos para el Reactor Hidrolítico Acido-Génico de Flujo Descendente.** Se estimó la cantidad máxima posible de agua para 48 horas de beneficio, que es el tiempo límite que debe dejarse los efluentes del tercer y cuarto lavado en el reactor (Cerquera, 2017).

**La semana del 5 al 10 de noviembre** presenta una recolección de **6837 kilogramos de café cereza**, ósea **1367,4 kilogramos en café Pergamino Seco** siendo esta la semana pico de producción, con este dato y el valor de gasto hídrico de 4-5 litros por cada Kilogramo de Café Pergamino Seco, para un sistema de beneficio Ecológico (Rodríguez, 2015) se calculó el tamaño que debe tener el reactor:



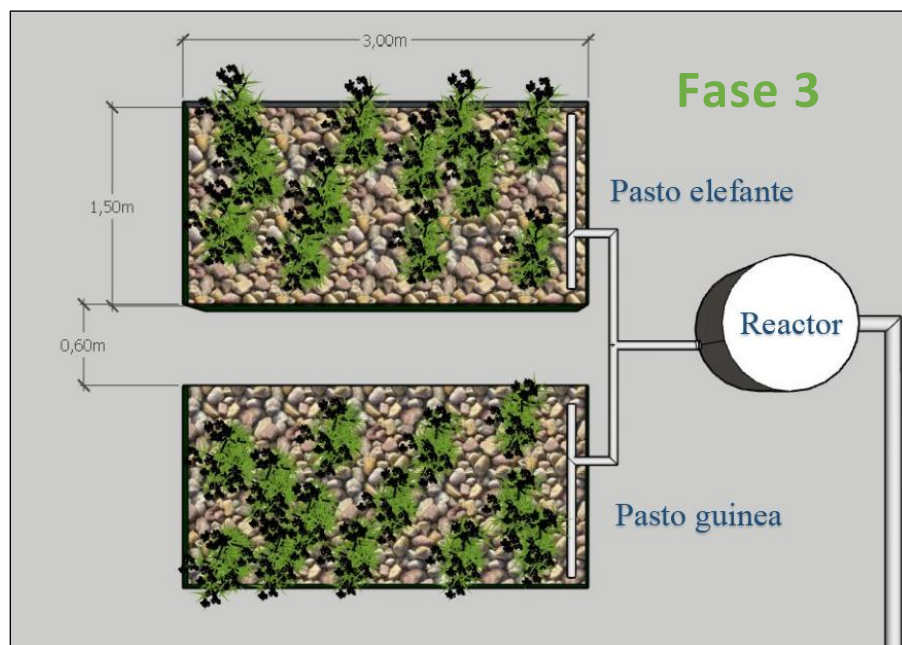
*Figura 15.* Cálculos para determinar el tamaño del Reactor Hidrolítico Acido-Génico.

Con respecto a los cálculos de la semana pico de producción suministrados por la empresa, y teniendo en cuenta que en la finca Cachipay se realiza un proceso de beneficio húmedo ecológico donde por cada kg de Café Pergamino Seco se gastan entre 4 a 5 litros de

agua, sé que determina el tamaño del tanque de almacenamiento del tercer y cuarto lavado debe ser por lo menos de 1000 litros.

### Fito-remediación

Después del paso de las aguas del tercer y cuarto lavado por el Reactor Hidrolítico, el agua tratada que ha perdido una gran cantidad de sólidos suspendidos pasa por un sistema de Fito-remediación, compuesto 2 por lagunas de flujo lento horizontal (*figura 16.*) con las siguientes medidas: 0,9 m profundidad \* 3 m largo \* 1,5 m ancho, una para especie de pasto de corte (Elefante (*Pennisetum purpureum*) y Guinea (*Panicum maximun*) sembradas a 0,3 m \* 0,3 m para un total de 50 plantas por laguna) que harán el proceso de Fito-remediación. Los humedales tienen una capa inferior de gravilla de 0,5 metros<sup>3</sup>, con un grosor aproximado de 10 cm sobre el fondo del humedal, posteriormente fueron rellenados con una mezcla de suelo, franco-arcilloso y compost a razón de 3:1.



*Figura 16.* Humedales con pasto Elefante y guinea como especies Fito-remediadoras. Fuente: (Silva, 2019).

La última etapa es la toma de muestras de agua en cada fase de tratamiento, para determinar la calidad del agua que sale al terminar tanto el proceso de compostaje, el paso por el Reactor Hidrolítico y los humedales de Fito-remediación.

Los indicadores a considerar son pH, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y número más probable en 100 mL para coliformes totales. Para cada indicador se calculará el porcentaje de remoción así:

$$\% \text{ Remoción} = \text{Valor Indicador Inicial (T0)} / \text{Valor Indicador Final}$$

La toma de muestras se hará en todas las etapas de lavado y tratamiento de efluentes:

*Tabla 4. Toma de muestras en el ensayo*

<b>Tratamiento</b>	<b>Fase de Beneficio</b>
T0-testigo	Agua antes del beneficio húmedo
T1	Agua después del primer lavado
T2	Agua después del segundo lavado
T3	Agua después del tercer lavado
T4	Agua después del cuarto lavado
T5	Agua del RHAGFD
T6	Fito-remediación pasto elefante
T7	Fito-remediación pasto guinea



## Presupuesto

Tabla 5. Insumos.

INSUMOS O MATERIALES				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo \$	Total
Tanque Agua Cónico 1000 Litros	1	Varios	255.500	255.500
Tubería Sanitaria - PVC 2"	4	Tubo de 6 m	25.000	100.000
RDE 21 - 200 psi - PVC ¾"	2	Tubo de 6 m	11.000	22.000
Válvula Bola - PVC Soldada 2"	2	Varios	5.000	10.000
Válvula Bola - PVC Soldada ¾"	2	Varios	3.000	6.000
Codo - PVC 90° 2"	3	Varios	1.200	3.600
Codo - PVC 45° ¾"	1	Varios	900	900
Te - PVC 2"	2	Varios	2.500	5.000
Te - PVC ¾"	1	Varios	1.100	1.100
Unión - PVC 2"	4	Varios	2.500	5.000
Tapón - PVC soldado 2"	3	Varios	1.000	3.000
Tapón - PVC soldado ¾"	2	Varios	1.000	1.000
Plástico UV calibre 14	28	Metros <sup>2</sup>	9.500	266.000
Gravilla	1	Metros <sup>3</sup>	70.000	70.000
			<b>Total</b>	<b>749.100</b>

Fuente: (Tapias, 2019)

Tabla 6. Recurso Humano.

<b>Labor</b>	<b>Numero de jornales</b>	<b>Costo Unitario \$</b>	<b>Total</b>
Adecuación terreno	8	40.000	320.000
Instalación de tubería	2	40.000	80.000
Reformas techo de la fosa	8	70.000	560.000
			<b>960.000</b>

Fuente: (Tapias, 2019)

Tabla 7. Análisis de aguas

<b>Ensayo</b>	<b>Costo por muestra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
pH	12.600	7	88.200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	67.900	7	475.300
Oxígeno Disuelto	38.300	7	268.100
Solidos suspendidos Totales	35.400	7	247.800
		<b>Total</b>	<b>1.079.400</b>

Fuente: (Universidad Javeriana, 2018)

Tabla 8. Costo total.

<b>Recurso</b>	<b>Costo \$</b>
Insumos	749.100
Recurso humano	960.000
Análisis de aguas	1.079.400

---

<b>Total</b>	<b>2.788.500</b>
--------------	------------------

---

## Resultados

### Modificaciones Fosa de compostaje.

Cambio de la cobertura para el techo de la fosa de compostaje, teja de zinc, por plástico UV calibre 14, para Marquesina, que permitirá la entrada libre de luz solar y por ende el aumento de la temperatura que en días soleados puede ser de hasta 50°C (Oliveros, 2006), incrementando la pérdida de humedad y acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica.

Se espera reducir la cantidad de efluentes vertidos en los cuerpos de agua cercanos, mitigando la contaminación colateral propia del beneficio húmedo de café. Aprovechando la concentración de mieles del primer y segundo lavado a través de un proceso de compostaje, donde se utiliza una gran cantidad de materia seca, propia de actividades agrícolas adyacentes a la labor cafetera, tales como residuos de poda y/o hojarasca, que posteriormente se mezcla con la cereza procedente del despulpado y se convierte en abono orgánico.



*Figura 17.* Izquierda. Fosa de compostaje techo en zinc. *Figura 18.* Derecha. Fosa de compostaje con techo el plástico UV. Fuente: (Silva, 2019).

### **Reactor Hidrolítico Acido Génico de Flujo Descendente.**

El Reactor Hidrolítico Acido-Génico de flujo descendente fue ubicado a 18 metros de distancia del tanque de fermentación, de donde proceden los efluentes del tercer y cuarto lavado (**figura 19**), se dejó a 1,5 metros de desnivel, por lo que la inclinación de la tubería de descarga es cercana al 8%, el caudal de llegada es aproximadamente de 0,7 litros/segundo, esto implica una gran cantidad de agua que debe reducir su velocidad de entrada en el tanque, para esta finalidad se usaron entrenudos de guadua, que mitigan el impacto que las nuevas descargas de efluentes puedan causar, volviendo turbia el agua que ya está en un proceso de purificación física (**figura 20**).

Se ubicaron las salidas tanto de lodos como de aguas tratadas, a 0,05 y 0,6 metros respectivamente, los subproductos de la primera evacuación irán a parar a la fosa de compostaje, y los de la segunda pasan a los humedales de Fito-remediación (**figura 21**).



*Figura 19.* Izquierda. Tubería de descarga al reactor . *Figura 20.* Centro. Entrenudos de guadua para la reducción de la velocidad de llegada de efluentes★. *Figura 21.* Derecha. Salida de efluentes separados a. Agua tratada▲ b. Lodos sedimentados⊘. Fuente: (Silva, 2019).

### **Humedales de Fito-remediación.**

Se quiere obtener un beneficio alternativo en los humedales de flujo horizontal al utilizar especies vegetales aprovechables en ganadería, como lo son los pastos de corte Elefante



(*Pennisetum purpureum*) y Guinea (*Panicum maximum*) ya que la finca Cachipay también desarrolla de forma paralela a la caficultura este tipo de explotación agropecuaria.



*Figura 22.* Arriba izquierda. Excavación de humedales de flujo horizontal. *Figura 23.* Arriba derecha. Manto de gravilla sobre tubería de salida de efluentes. *Figura 24.* Abajo izquierda Especies Fito-remediadoras: pastos Elefante (*Pennisetum purpureum*) y Guinea (*Panicum maximum*). *Figura 25.* Abajo derecha, Tubería de descarga: agua tratada del reactor hidrolítico

Acido-génico de flujo descendente. Fuente: (Silva, 2019).

**Ahorro en futuro en pago de tasa retributiva**

Se tomó como ejemplo el cobro de tasa retributiva del año 2014 para vertimientos puntuales aplicado por Corantioquia, donde por cada kilogramo de Café Pergamino Seco se cobra un valor de \$47,76 (valor ajustado a 2019 con el IPC) (Corantioquia, 2016).

En el año 2018 la empresa Inversiones Tapias, en tiempo de la cosecha principal recolectó 6765.2 kg de café pergamino seco, lo que habría representado un pago de tasa retributiva por valor de \$323.105; ahora bien, el costo de instalación del sistema de aprovechamiento y tratamiento de efluentes fue de \$1.709.100, por ende, el costo de la inversión, solamente desde el punto de vista económico se recuperaría en un aproximado de 5 años.

### **Análisis de aguas**

Los análisis de aguas con los que se buscaba medir la reducción neta de compuestos contaminantes en los efluentes del beneficio húmedo del café en cada una de las etapas de lavado y purificación, en la finca Cachipay, propiedad de Inversiones Tapias, no fue posible realizar por falta de presupuesto para estos, ya que el sector cafetero no se encuentra en el mejor momento con respecto a su rentabilidad conforme al precio del grano, y se debe ser austero en el manejo de los recursos, aun así se espera que con el montaje de este sistema de tratamiento de efluentes se mitigue el impacto medioambiental generado por parte de las labores del beneficio, y se evite el pago de una tasa retributiva por vertimientos potencialmente peligrosos para las fuentes hídricas cercanas.

## Conclusiones

El beneficio ambiental del proyecto es notable ya que se puede reducir en un 100% los efluentes vertidos en los cuerpos de agua cercanos al beneficiadero, siempre y cuando se haga una recirculación del agua al culminar el proceso de Fito-remediación. Aunque en el caso contrario se asegura que el 80% (presente en los dos primeros lavados del beneficio ecológico) de la carga contaminante sea atrapada y aprovechada para la producción de compostaje.

El manejo ecológico dado a las aguas mieles en este montaje evitara la pérdida de la certificación “Rainforest-Alliance” con la que cuenta la empresa al ser productora de café orgánico (que otorga un sobreprecio de **\$225.000** por carga de Café Pergamino Seco) ya que en su normativa exige el cuidado del medio ambiente, más puntualmente las microcuencas aledañas a los sistemas cafeteros.

La implementación del sistema de aprovechamiento y tratamiento de efluentes del beneficio húmedo generó un impacto económico positivo a futuro, ya que con respecto a los datos de café recolectados solamente en tiempo de cosecha se ahorra la empresa un pago de tasa retributiva de **\$323.105**.

El montaje del sistema cumplió con las expectativas de la empresa Inversiones Tapias, ya que se ciñó a parámetros de eficiencia en términos de ahorro de costos, utilidad, y flexibilidad para modificaciones; aprovechando la infraestructura presente, la topografía del terreno, el uso de residuos procedentes de labores culturales, sin afectar la importancia del beneficio en la calidad del café en tasa.



## **Recomendaciones**

Realizar volteos continuos a las pilas de compostaje de la fosa, para mejorar la aireación de la mezcla y permitir la reducción de la humedad de la misma.

Reincorporar los lixiviados generados por la fosa a la misma para garantizar la concentración total de sólidos provenientes de los primeros dos lavados.

Revisar periódicamente la concentración de natas y lodos en el Reactor Hidrolítico Acido Génico para ser llevados a la fosa de compostaje y así evitar un excedente de los mismos y que por ende estos terminen en los humedales de Fito-remediación.

Si es posible utilizar los microorganismos eficientes producidos en la finca para reducir la carga orgánica contaminante en el reactor.

Realizar el corte de las pasturas cada 45 días y suministrar a los semovientes de la explotación ganadera paralela a la actividad cafetera.

Cambiar el sustrato de los humedales de Fito-remediación, cada que sea necesario hacer siembra nueva de las especies de pastos de corte, y enviarlo a la fosa de compostaje.

## **Agradecimientos**

A Yolanda Tapias, Gerente de la finca Cachipay, por facilitar el espacio, los recursos económicos y humanos, además la logística para el desarrollo de mi pasantía; a mi tutor interno, el docente de la Universidad de Cundinamarca, Diego Alexander Hernández Contreras, que gracias a sus recomendaciones y correcciones fue posible la construcción de este documento, a mi tutor externo, el Ingeniero Agrónomo William Fernando Cortes Palacios, MSc. en desarrollo rural, que de forma afable hizo seguimiento al desarrollo del proyecto; a los trabajadores de Inversiones Tapias, que hicieron parte del proceso de diseño, montaje, y puesta en marcha de este sistema de tratamiento de efluentes, que pusieron su disposición, esfuerzo y trabajo para la construcción del mismo; y finalmente a mis padres, ya que sin su apoyo constante e incondicional no hubiese llegado a esta etapa en mi proceso de formación.

## Referencias

- Arcila, J. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchina, Caldas: FNC-Cenicafe.
- Arias, S. (2010). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. SENA.
- Carrillo, O. (2000). *Pasto Mombaza (Panicum maximum)*. Oficina Nacional de Semillas.
- Cerquera, E. (2017). *Evaluación de desempeño del reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente como tratamiento primario de las aguas mieles del café en el departamento del Valle del Cauca*. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.
- Corantioquia. (2016). *Manual de Producción y Consumo Sostenible, Gestión del Recurso Hídrico, Sector Cafetero*. Corantioquia.
- FNC. (2010). *El árbol y el entorno del café*. Federación Nacional de Cafeteros:  
[http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/el\\_arbol\\_y\\_el\\_entorno/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/).
- FNC. (2010). *Postcosecha del café*. Federación Nacional de Cafeteros:  
[http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/post-cosecha/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/post-cosecha/).
- FNC. (2015). ¿Qué hace único al Café de Colombia? *Al grano. Noticias e información que lo acercan al mundo cafetero* / [www.federaciondecafeteros.org](http://www.federaciondecafeteros.org), 1.
- Minjusticia. (2012). *DECRETO 2667 DE 2012*. Ministerio de Justicia. Sistema Unico de Información Normativa. [www.suin-juriscol.gov.co](http://www.suin-juriscol.gov.co). DIARIO OFICIAL. AÑO CXLVIII. N. 48651. 21, DICIEMBRE, 2012. PAG. 187.
- Molina, E. (2006). *Propuesta de tratamientos de aguas residuales en beneficios humedos del café*. San Salvador: Universidad de El Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil.
- Oiba, A. (2019). *Portal Web, Alcaldía de Oiba, Santander*. Oiba: <http://www.oiba-santander.gov.co/informacion-general>.
- Palta, H. (2014). *FITODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS CON POACEAS: Brachiaria mutica, Pennisetum purpureum y Panicum maximum EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA*. Popayan Cauca: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Exactas Naturales y de la Educación.
- Peñuela, A. (2013). *MÉTODO FERMAESTRO: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucílago de café*. Manizales, Caldas: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.
- Ramirez, H. (2010). *Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia*. Chinchina, Caldas: Cenicafe / Federación Nacional de Cafeteros.
- Rodriguez, N. (2015). *Beneficio del café en Colombia. Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café*. Cenicafe.

- Roman, FAO. (2013). *Manual del compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Sanz, R. (2007). *Paleta plastica para lavar cafe con menor esfuerzo*. Manizales: Centro Nacional de Investigación de Café.
- Suárez, A. (2016). *Evaluación agronómica y nutricional del pasto elefante (Pennisetum purpureum) a partir de diferentes biofertilizantes en la finca los robles de la fundación universitaria de Popayan*. Popayan, Cauca: Universidad de Manizales.
- Suarez, J. (2012). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DEL BENEFICIO DEL CAFÉ, EN EL MUNICIPIO DE BETANIA ANTIOQUIA: USOS Y APLICACIONES*. Caldas Antioquia: CORPORACION UNIVERSITARIA LASALLISTA FACULTAD DE INGENIERIAS.
- UN. (2016). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos organicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura en Bogota D.C*. Bogotá D.C: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Facultad de ciencias agrarias grupo de Investigación Sistemas Integrales de Producción Agrícola y Forestal-SIPAF.
- Urquijo, Y. (2016). *IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ EN LA VEREDA DE TRES ESQUINAS - HUILA - COLOMBIA*. Bogota: Universidad Militar Nueva Granada.
- Zambrano, D. (2006). *Tratamiento anaerobio de aguas mieles del cafe*. Chinchina Caldas: Cenicafe.