

**ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA FILTRO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES EN UNA FINCA DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, PROMOVRIENDO LOS TRES PILARES DE PRODUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD, (ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL).**

**Autor**

**Yamile García Güiza**

**Informe parcial para optar al Título de Agrónoma**

**Director**

**Francisco José Montealegre Torres**

**Ingeniero Agrónomo**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente**

**Agronomía**

**Ibagué Tolima**

**Octubre de 2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios primeramente por darme la oportunidad de superarme y brindarme fortaleza y sabiduría ya que a pesar de las dificultades presentadas a lo largo de mi proyecto Dios me dio el valor para seguir.

A mis padres Víctor Manuel García Herrera y Cleotilde Güiza Parra (Q.E.P.D), por darme el derecho a la vida y sembrar en mí, semilla de honestidad y buenos valores.

A mis hermanos, a mis hijos Diana Milena, Cristian Andrés, y Sebastián Alfonso Rojas García por el apoyo que me brindan y la alegría que sintieron y me hicieron sentir el día que les comenté que iba a hacer mi proyecto de grado y culminar mi carrera profesional.

A mi compañera y amiga incondicional Yuri Esperanza Aroca Villarreal que ha dedicado parte de su tiempo para apoyarme y colaborar en mi proyecto, Andrés Felipe Rodríguez por su amistad colaboración en mi proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD CEAD Ibagué, Institución que me brindó un aprendizaje exitoso y de esta manera lograr mi título profesional.

Al Ingeniero Agrónomo Francisco José Montealegre Torres quien me guía en los avances del proyecto, y de más colaboradores de la institución.

A don Jaime Serrano propietario y administrador de la finca el Mirador quien amablemente me presto la finca y depositó su confianza en mí para dar inicio y ejecución al proyecto que me conduce hacer profesional.

Dios los bendiga.

## RESUMEN

El proceso de beneficio convencional del café introdujo en la zona cafetera del Tolima prácticas agroindustriales preocupantes para la sostenibilidad de los suelos y agua. El principal efecto de ello, es el vertimiento puntual de efluentes contaminantes a cuerpos de aguas superficiales; la razón de este fenómeno es el uso indiscriminado de agua durante el lavado del grano, es decir, existe un inadecuado aprovechamiento y disposición de las aguas miel y pulpa de café como subproductos del beneficio húmedo; mediante un sondeo de opinión en la vereda San Francisco en la zona rural del municipio de Ibagué se comprobó que el 100% de la población encuestada manifestó realizar la disposición final de los contaminantes por vía húmeda, además indicaron no ejecutar ningún proceso legal para mitigar el daño ocasionado al recurso natural, así como desconocen el volumen de agua utilizada durante el beneficio convencional, aunque un 10% de la población encuestada reconoce aplicar el beneficio ecológico en su finca, esto no es lo suficientemente efectivo para contrarrestar el daño. En vista de lo anterior se planteó en una finca certificada en cafés especiales la instalación de un filtro primario para el tratamiento de las aguas mieles así como aportar a la descontaminación del efluente y a la seguridad y economía de la población. El proceso que se realizó para determinar el índice de contaminación depositada al efluente fue la evaluación de caudal y la carga contaminante en el que se comprobó que teniendo un beneficio convencional se consume 5 lt de agua/ kg de café pergamino seco y teniendo un beneficio ecológico se tiene en promedio un 1 lt de agua/kg de café pergamino seco.

**Palabras claves:** Beneficio Ecológico, Pulpa, Mucilago, lecho filtrante, efluente, Muestreo de agua.

## ABSTRACT

The process of conventional coffee benefit introduced into the coffee zone of Tolima agroindustrial practices of concern for the sustainability of soils and water, the main effect of which is the punctual discharge of polluting effluents to bodies of surface water; the reason for this phenomenon is the indiscriminate use of water during the washing of the grain, that is to say, there is an inadequate use and disposal of the water honey and coffee pulp as by-products of the wet benefit; through a survey of opinion in the San Francisco village in the rural area of the municipality of Ibagué, it was verified that 100% of the population surveyed manifested to make the final disposal of the pollutants by wet way, in addition indicated not to execute any legal process to mitigate the damage to the natural resource, as well as the volume of water used during the conventional benefit, although 10% of the population surveyed recognize that the ecological benefit is applied to their farm, this is not effective enough to counteract the damage. In view of the above, it was proposed in a farm certified in special coffees the installation of a primary filter for the treatment of honey water as well as contributing to the decontamination of the effluent and to the safety and economy of the population. The process that was carried out to determine the contamination index deposited to the effluent was the evaluation of the flow and the pollutant load in which it was verified that with a conventional benefit it consumes 5 lt of water / kg of dry parchment coffee and having an ecological benefit it has on average 1 lt of water / kg of dry parchment coffee.

**Key words:** Ecological Benefit, Pulp, Mucilago, filter bed, effluent, water sampling.

<b>Tema</b>	ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA FILTRO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES EN UNA FINCA DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, PROMOVRIENDO LOS TRES PILARES DE PRODUCCIÓN Y SOSTENIBILIDAD, (ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL).
<b>Autor</b>	Yamile García Güiza
<b>Año</b>	2017
<b>Resumen</b>	<p>El proceso de beneficio convencional del café introdujo en la zona cafetera del Tolima prácticas agroindustriales preocupantes para la sostenibilidad de los suelos y agua. El principal efecto de ello, es el vertimiento puntual de efluentes contaminantes a cuerpos de aguas superficiales; la razón de este fenómeno es el uso indiscriminado de agua durante el lavado del grano, es decir, existe un inadecuado aprovechamiento y disposición de las aguas miel y pulpa de café como subproductos del beneficio húmedo; mediante un sondeo de opinión en la vereda San Francisco en la zona rural del municipio de Ibagué se comprobó que el 100% de la población encuestada manifestó realizar la disposición final de los contaminantes por vía húmeda, además indicaron no ejecutar ningún proceso legal para mitigar el daño ocasionado al recurso natural, así como desconocen el volumen de agua utilizada durante el beneficio convencional, aunque un 10% de la población encuestada reconoce aplicar el beneficio ecológico en su finca, esto no es lo suficientemente efectivo para contrarrestar el daño. En vista de lo anterior se planteó en una finca certificada en cafés especiales la instalación de un filtro primario para el tratamiento de las aguas mieles así como aportar a la descontaminación del efluente y a la seguridad y economía de la población. El proceso que se realizó para determinar el índice de contaminación depositada al efluente fue la evaluación de caudal y la carga contaminante en el que se comprobó que teniendo un beneficio convencional se consume 5 lt de agua/ kg de café pergamino seco y teniendo un beneficio ecológico se tiene en promedio un 1 lt de agua/kg de café pergamino seco.</p>
<b>Palabras clave</b>	<b>Palabras claves:</b> Beneficio Ecológico, Pulpa, Mucilago, lecho filtrante, efluente, Muestreo de agua.
<b>Tipo documento</b>	Trabajo de grado – Proyecto aplicado
<b>Problema de la investigación</b>	

	<p>En Colombia por cada 10 millones de sacos de 60 kg de café verde que se producen, la pulpa y el mucilago respectivos como subproductos secos del proceso convencional de beneficio húmedo del café PBHC equivalen a 373 mil toneladas, que al no darles una descomposición adecuada son una fuente de contaminación para el medio ambiente, debido a que la pulpa al ser transportada con el agua durante la operación de despulpado, lixivia compuestos que contaminan el agua generando los líquidos residuales de despulpado, y como consecuencia, queda en las fosas una pulpa lavada, que se somete a descomposición. (Moreno, N., &amp; Romero, A. 2016, p.22-23).</p>
<b>Principales conceptos</b>	Beneficio tradicional, beneficio ecológico, beneficio en seco.
<b>Metodología</b>	<p><b>Etapa inicial:</b> Consistió en formular un sondeo de opinión en la comunidad, para identificar el nivel de contaminación y una posible solución.</p> <p><b>Etapa intermedia:</b> Se realizó la instalación del filtro primario, el desarrollo de la actividad se dividió a su vez en tres partes. (Cotización, transporte e instalación).</p> <p><b>Etapa final:</b> Se realizó un muestreo de agua inicial y final en la instalación, para evaluar si los parámetros fisicoquímicos del agua mejoraron o se conservaron iguales.</p>
<b>Objetivo</b>	Instalar un filtro primario para tratamiento de aguas mieles y pulpa en la finca El Mirador zona rural del municipio de Ibagué y socializar sus beneficios agropecuarios y ambientales.
<b>Conclusiones</b>	Al realizar un estudio comparativo de los resultados en los análisis de laboratorio de las aguas mieles antes y después del filtrado, se pudo analizar que la carga orgánica que posee la muestra tanto en demanda química como en demanda biológica de oxígeno disminuyó en más de un 50% a la salida del filtro con lo cual se constata que el dispositivo de filtrado está funcionando y que la carga contaminante que se arroja al cuerpo receptor cumple con un sistema de tratamiento integral.
<b>Fuentes</b>	<p>Cárdenas, C, J. (2000) <i>Evaluación de un sistema para el tratamiento de los lixiviados de pulpa y mucilago producidos en la tecnología becolsub, STL B</i>; Universidad de la sabana, Chía Cundinamarca, p 1-79. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/47068950.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/47068950.pdf</a></p>

	<p>NTC-ISO 5667-10. (1995). Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Muestreo de aguas residuales. Recuperado el 21 de octubre de 2017 de <a href="https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-ISO5667-10.pdf">https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-ISO5667-10.pdf</a></p> <p>Zambrano, D., &amp; et al. (2006). <i>Tratamiento anaeróbico de las aguas mieles del café</i>. Boletín técnico N°29, p.1-28; CENICAFE, Chinchiná-Caldas-Colombia. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <a href="http://www.cenicafe.org/es/publications/bot029.pdf">http://www.cenicafe.org/es/publications/bot029.pdf</a></p>
<p><b>Autor del RAE-Fecha</b></p>	<p>Yamile Garcia Güiza-27 de octubre de 2017.</p>

## TABLA DE CONTENIDO

Etapa inicial .....	7
Etapa intermedia.....	7
Etapa final.....	7
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
<b>JUSTIFICACION.....</b>	<b>22</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>26</b>
Historia del café en Colombia .....	26
Importancia del café en la economía .....	26
Antecedentes beneficio húmedo del café.....	27
Antecedentes del tratamiento de aguas residuales .....	31
<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>32</b>
Origen del café .....	32
Economía cafetera.....	32
Tipos de café en el mundo .....	32
Variedad de café establecida en la zona de estudio.....	32
Tipos de beneficio en el café.....	33
Beneficio convencional .....	33
Beneficio ecológico del café.....	33
Beneficio ecológico del café sin vertimientos .....	34
Sistema modular de tratamiento anaerobio-SMTA.....	34
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
El proyecto se.....	35
<b>Procedimiento .....</b>	<b>39</b>
Etapa inicial .....	39
Etapa intermedia.....	42
Etapa final.....	43
<b>METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>47</b>
<b>PROTOCOLO TOMA DE MUESTRA DE AGUA INICIAL Y FINAL.....</b>	<b>52</b>

<b>Caracterización de la calidad .....</b>	<b>52</b>
<b>Procedimiento de toma muestreo inicial y final:.....</b>	<b>53</b>
<b>Método de muestreo .....</b>	<b>53</b>
<b>Muestreo manual .....</b>	<b>54</b>
<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>56</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>57</b>
<b>ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL MUESTREO INICIAL Y FINAL .....</b>	<b>65</b>
<b>Análisis muestreo 1 .....</b>	<b>65</b>
<b>Análisis muestreo 2 .....</b>	<b>66</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>73</b>

## TABLA DE FIGURAS

Fig. 1. <i>Pozo de aguas residuales</i>	
Fig. 2. <i>Fosa de pulpa descubierta</i> .....	19
Fig. 3. <i>Lavado del café-vía húmeda</i>	
Fig. 4. <i>Despulpe mecánico del café</i> .....	21
Fig. 5. <i>Vertimiento puntual de carga contaminante</i>	
Fig. 6. <i>Filtración de carga contaminante</i> .....	25
Fig. 7. <i>Despulpadora cilindro horizontal</i>	
Fig. 8. <i>Recibido del café cereza</i> .....	27
Fig. 9. <i>Ubicación geográfica de la zona de estudio</i> .....	35
Fig. 11. <i>Uso del suelo-vda San Francisco</i> .....	37
Fig. 10. <i>Zona de estudio-vda San Francisco parte alta</i> .....	37
Fig. 12. <i>Arreglo espacial finca El Mirador</i>	
Fig. 13. <i>Sistema productivo finca El Mirador</i> .....	38
Fig. 14. <i>Capacitación en manejo del filtro y buenas prácticas de beneficio</i> .....	41
Fig. 15. <i>Diseño del filtro primario</i> .....	42
Fig. 16. <i>Manejo de pulpa</i>	
Fig. 17. <i>Prueba de descarga del filtro</i> .....	43
Fig. 18. <i>M1-inicial</i> .....	44
Fig. 19. <i>M2-inicial</i> .....	44
Fig. 20. <i>M3-inicial</i> .....	44
Fig. 21. <i>M3, M2 y M1-finales</i> .....	45
Fig. 22. <i>Formulación de la encuesta finca El Mirador</i> .....	48
Fig. 23. <i>Tacos de guadua para medio cultivo bacteriano</i>	
Fig. 24. <i>Lectura de pH en microorganismos eficientes</i> .....	50
Fig. 25. <i>Aplicación de microorganismos eficientes al filtro</i> .....	51
Fig. 26. <i>Capacitación en BPB e instalación de</i>	
Fig. 27. <i>Diseño del filtro primario</i> .....	68
Fig. 28. <i>Acompañamiento técnico ECOM</i>	
Fig. 29. <i>Beneficio húmedo del café</i> .....	69
Fig. 30. <i>Fermentación natural del café</i>	
Fig. 31. <i>Malla plástica para filtro</i> .....	69
Fig. 32. <i>Tanque de polietileno 500 litros</i>	
Fig. 33. <i>Abertura para tubo de descarga 2''</i> .....	70

Fig. 34. <i>Corte de tubo pvc 2"</i>	
Fig. 35. <i>Instalación llave de paso</i> .....	70
Fig. 36. <i>Capa de piedra de 150 a 200 gramos</i>	
Fig. 37. <i>Aro de malla plástica</i> .....	71
Fig. 38. <i>Lectura de pH en cultivo</i>	
Fig. 39. <i>Lectura de pH en el efluente</i> .....	72
Fig. 40. <i>Lectura de acidez de microorganismos eficientes</i>	
Fig. 41. <i>Aplicación de carbón activado al filtro</i> .....	72

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Resultados análisis fisicoquímicos de aguas mieles iniciales</i> .....	45
Tabla 2. <i>Resultados análisis fisicoquímicos de aguas mieles finales</i> .....	46
Tabla 3. <i>Tipo de beneficio aplicado</i> .....	57
Tabla 4. <i>Disposición final de subproductos</i> .....	58
Tabla 5. <i>Manejo de pulpa</i> .....	58
Tabla 6. <i>Caudal de beneficio utilizado</i> .....	59
Tabla 7. <i>Interés de instalación del filtro en las fincas</i> .....	59
Tabla 8. <i>Desinterés de la instalación del filtro en las fincas</i> .....	60
Tabla 9. <i>Capacitación por entidad pública</i> .....	60
Tabla 10. <i>Conocimiento tasa retributiva</i> .....	61
Tabla 11. <i>Recibe asistencia técnica</i> .....	62
Tabla 12. <i>Tipo de asistencia técnica recibida</i> .....	63
Tabla 13. <i>Sello de calidad o certificación</i> .....	63
Tabla 14. <i>Tipo de sello o certificado preferente</i> .....	64
Tabla 15. <i>Reconocimiento de contaminación a suelo y agua</i> .....	64

## TABLA DE GRAFICOS

Grafico N° 1. <i>Frecuencia en el tipo de beneficio aplicado</i> .....	57
Grafico N° 2. <i>Frecuencia en la disposición final de subproductos del café</i> .....	58
Grafico N° 3. <i>Frecuencia en el manejo de la pulpa</i> .....	58
Grafico N° 4. <i>Frecuencia en el volumen de agua utilizada</i> .....	59
Grafico N° 5. <i>Frecuencia en el interés de la instalación</i> .....	59
Grafico N° 6. <i>Frecuencia en el desinterés de la instalación</i> .....	60
Grafico N° 7. <i>Frecuencia en la capacitación por entidad publica</i> .....	60
Grafico N° 8. <i>Frecuencia tasa retributiva por vertimiento</i> .....	61
Grafico N° 9. <i>Frecuencia en asistencia técnica</i> .....	62
Grafico N° 10. <i>Tipo de asistencia técnica recibida</i> .....	63

Grafico N° 11. <i>Frecuencia en el tipo de sello o certificado</i> .....	63
Grafico N° 12. <i>Tipo de sello o certificado preferente</i> .....	64
Grafico N° 13. <i>Contaminación agua y suelo</i> .....	64

## INTRODUCCIÓN

El beneficio del café en Colombia es rentable siempre y cuando considere la implementación del beneficio ecológico como mecanismo de sostenibilidad para productores y en segundo plano se concienticen sobre la contaminación que están generando a los efluentes naturales a través del beneficio convencional, es decir, con esta temática se busca que el caficultor inicie un cuestionamiento sobre el vertimiento puntual de agentes contaminantes a cuerpos de agua y reconozca los perjuicios que esto implica al ambiente y la salud humana, teniendo en mente estos conceptos se quiere dar una solución oportuna a esta problemática con la mayor eficiencia y a un costo asequible.

Para empezar con el desarrollo del proyecto es importante conocer algunas de las características que comprende el beneficio tradicional en la caficultura colombiana, a este proceso se le puede definir según estudios realizados por Rodríguez, N., & et al. (2015) como:

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 seco (cps) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos (p.5).

Asimismo, Velasco, V., & et al. (1997) afirman lo siguiente respecto al beneficio convencional:

En el procesamiento del café por vía húmeda se generan residuos líquidos altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenido de sólidos y demanda química de oxígeno (DQO), lo cual genera graves desequilibrios en el ecosistema receptor y en sus componentes (p.235)

Sumado a esta situación la Federación Nacional de Cafeteros (2013) citado por Moreno, N., & Romero, A. (2016) comenta al caso lo siguiente: “ En el proceso del beneficio del café se utilizaban más de 40 litros de agua para producir 1,0 kg de café pergamino seco (cps), y el agua residual era vertida sobre las fuentes de agua, afectando su disponibilidad para el uso posterior del recurso y acabando con la vida acuática presente en los cuerpos de agua” (p.17)

A raíz de esta problemática ambiental Valencia, N., & et al. (2015). Proponen alternativas sostenibles y económicas para el caficultor entre las cuales está:

El despulpado y transporte de la pulpa sin agua, la producción de abonos orgánicos mediante la disposición del mucilago en mezcla con la pulpa de café actuando como un filtro biológico, también en el uso en la alimentación animal o su tratamiento en sistemas biológicos como los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico (SMTA) (p. 15)

Para complementar esta información Velasco, V., & et al. (1997) postularon lo siguiente respecto a la implementación de los SMTA en el beneficio seco del café:

Gracias a estas investigaciones y avances tecnológicos la reducción del consumo de agua durante el procesamiento del café fue de un 75% para el despulpado en seco y de igual forma la transformación de la pulpa y mucilago del café utilizado como fuente de abono en el proceso del lombricompostaje (p.235)

Finalmente, investigadores de Fedecafé Tolima, actualmente están desarrollando un sistema de filtros primarios para beneficio húmedo del café, los cuales son una alternativa sostenible una vez el caficultor examine la importancia de instalar un modelo de beneficio ecológico en su plan de negocio, la articulación y adopción de esta tecnología tiene un costo admisible y de mayor funcionalidad, debido a que evita menor contaminación y mayor economía.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Instalar un filtro primario para tratamiento de aguas mieles y pulpa como subproductos del beneficio del café, en la finca El Mirador zona rural del municipio de Ibagué y socializar sus beneficios agropecuarios y ambientales.

### **Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico de la zona de estudio, mediante un sondeo de opinión para identificar la problemática y su respectiva solución.
- Proponer las condiciones del filtro y sus características frente al tratamiento de aguas mieles como subproducto de beneficio húmedo del café.
- Promover en la población beneficiaria, las buenas prácticas de beneficio BPB para control en el consumo de agua y mejor calidad de taza.
- Comprobar la eficacia del filtro, a través de análisis fisicoquímicos de agua.

- Reducir el porcentaje de contaminación, ocasionado por el vertimiento puntual a cuerpos de aguas superficiales, así como su beneficio al sector agropecuario y ambiental.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A partir de estudios realizados por Moreno, N., & Romero, A. (2016) en torno a los efectos que genera un mal aprovechamiento de residuos líquidos y sólidos en el beneficio del café, afirma lo siguiente:

En Colombia por cada 10 millones de sacos de 60 kg de café verde que se producen, la pulpa y el mucilago como subproductos secos del proceso convencional de beneficio húmedo del café PBHC, equivalen a 373 mil toneladas, que al no darles una descomposición adecuada son una fuente de contaminación para el medio ambiente, porque la pulpa al ser transportada con el agua durante la operación de despulpado, lixivia compuestos que contaminan el agua generando los líquidos residuales de despulpado, y como consecuencia, queda en las fosas una pulpa lavada, que se somete a descomposición. Tradicionalmente, el mucilago se remueve del grano mediante la fermentación natural y se lava con agua limpia generando las aguas residuales del lavado del café. (P.22-23)

Según reportes estadísticos del IDEAM (2015) citado por Moreno, N., & Romero, A. (2016)

“La carga neta de contaminantes por vertimientos puntuales que potencialmente llega a los sistemas hídricos del país provenientes de los sectores industria, domestico (incluye sacrificio de animales) y beneficio del café” (p.16)

A esta situación se le suma que la pulpa de café, es un residuo que significa una fuente contaminante de aguas superficiales y suelos, esto a pesar de las múltiples investigaciones realizadas por Cenicafé, que han generado nuevas tecnologías y al uso de ellas por parte de muchos caficultores en diferentes zonas del país, sin embargo estas tecnologías no son admisibles para todos los caficultores pues están los pequeños productores con menos de 5 hectáreas de café, que por falta de recursos económicos, desconocimiento u otras causas, no hacen uso de estas tecnologías.

Tal y como lo afirma Moreno, N., & Romero, A. (2016) en su investigación:

En el departamento del Tolima cerca de 96.673 hectáreas representan el 84,1% del total de área en café del departamento, estas pertenecen a 59.595 caficultores agrupados como pequeños productores, es decir esto es el 96% del total de cafeteros registrados en el Sistema de Información Cafetera (SICA) (p.17)

Este indicador estadístico fue el que alerto al sector ambiental y genero una fuerte demanda respecto a la creación de otros sistemas de beneficio para protección del medio ambiente ante la apertura de nuevos conocimientos para el tratamiento de aguas.

A razón de esta difícil circunstancia Zambrano, D., & et al. (1999). Refiere lo siguiente:

Una de las posibles soluciones para mitigar el impacto ambiental es la implementación de las plantas residuales, ya que las aguas mieles al ser vertidas a fuentes hídricas presentan un alto grado de contaminación por su gran contenido de materia orgánica que las bacterias metabolizan o son descompuestas por un organismo para proporcionar energía. Cuando la demanda de oxígeno disuelto (OD) es mayor que el oxígeno disuelto en agua, empieza a morir la vida bacteriana; para evitar que esto suceda se debe proporcionar

aireación de alguna manera, la descarga de contaminantes del café altera tajantemente la acidez natural del agua (pH 2,5) a consecuencia del aporte de los ácidos orgánicos (acético, butírico, propiónico). Asimismo, con este sistema se remueve la contaminación que se encuentra actualmente en las aguas residuales ocasionada por el mucilago fermentado durante el lavado del café en los tanques de fermentación denominados TANQUES TINA, en el proceso el consumo de agua es de 4,1 litros/kg cps. El pH de estos residuos oscila entre 4,0 y 4,5 unidades y la demanda química de Oxígeno (DQO) que demuestra el déficit de oxígeno resultado de la contaminación presente en el agua, tiene un valor cercano a 27400mg/l (p. 6).

A causa de esta problemática, el organismo ambiental (Minambiente) contempla la imperiosa necesidad de crear un decreto de ley que reglamente el impacto ambiental generado por el vertimiento puntual de contaminantes a recursos hídricos y es así como se constituye el Decreto 2811 de 1974 el cual ha sido sometido a varias modificaciones entre estas la puesta en marcha del Decreto 2667 de 2012 (parr.4)

Una de las principales disposiciones para cumplimiento de esta norma, se encuentra en la contaminación que realiza un sector de desarrollo sobre el recurso hídrico mediante vertimientos puntuales de agentes contaminantes, como medida de subsanación a la problemática ambiental se establece la tasa retributiva entendiéndose está en el capítulo II del Artículo 7 como:

El cobro que realiza la autoridad ambiental competente a los usuarios por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos o indirectos y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, asimismo el cobro se efectuara por la totalidad de la carga

contaminante descargada al recurso hídrico, de esta manera esta también se aplicará incluso a la contaminación causada por encima de los límites permisibles(p.4)

De acuerdo a la Resolución 0631 de 2015 en el capítulo VI Artículo 9 se explica sobre los límites permisibles estipulados para el sector de la agroindustria, entre estos el beneficio del café donde se lleva a cabo la disposición final de subproductos contaminantes a cuerpos de agua, de esta manera un límite se comprende como : “los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas-ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería”. (p.8)

Sin manifestar oposición a la norma el pequeño, mediano y gran caficultor debe incurrir en la ejecución de la misma y dar una solución rápida y sostenible para continuar con su labor de cultivo, pues de lo contrario la contaminación es permanente y el perjuicio es legal y social porque no solo se afecta a una familia sino un sin número de ecosistemas.



**Fig. 1.** Pozo de aguas residuales  
Fuente: El Autor



**Fig. 2.** Fosa de pulpa descubierta  
Fuente: El Autor

Esta situación ha causado en el caficultor preocupación e incertidumbre económica, social y ambiental, pues en el momento de realizar la disposición final de los residuos líquidos y la pulpa estos deben tener el consentimiento y la aprobación de la comunidad y la autoridad ambiental

competente así como del comité de cafeteros regional Tolima quienes como requisito para certificar las fincas en cafés especiales tipo exportación deben exigir el tratamiento de residuos líquidos y sólidos como subproductos del beneficio convencional o ecológico, esta problemática ha obligado al caficultor a ser más consciente sobre el daño ambiental ocasionado ya que, al no efectuarse una adecuada disposición de estos subproductos, el recurso económico se redirecciona a otros programas, tal y como lo afirma el ministerio del medio ambiente (s.f) ‘‘Sirve como beneficio y medio de garantía en la inversión de proyectos de descontaminación hídrica y monitoreo de los afluentes’’ (parr.9)

Por otro lado es desconcertante conocer que la mayor parte de la población en estudio corresponde a pequeños productores (1 a 5 hectáreas), quienes son susceptibles de acceder a recurso financiero y educativo para fomentar en sus fincas practicas sostenibles con el medio ambiente, por ende se continúan desarrollando el beneficio por vía húmeda donde se desconoce el caudal del efluente contaminante.

Ramírez, C., Oliveros, C., & Sanz, J. (2015). Refiere al tema lo siguiente: ‘‘con este proceso el menor consumo específico de agua en fermentación natural es de 4.17 litros/cps, se obtiene lavando el café en el tanque con cuatro enjuagues, generando efluentes con un promedio de contaminación cercana de 26500 ppm de DQO/kg cps’’

Es menester resaltar que la adopción de tecnologías apropiadas para tratamiento de subproductos del café (Belcosub, Ecomill) estos equipos inicialmente fueron propuestos por Cenicafé como solución al proceso beneficio húmedo del café (PBHC); durante la introducción resulto ser eficiente, prestando una alta rentabilidad al caficultor por medio de la recirculación del agua y la mezcla entre la pulpa y el mucilago, sin embargo la problemática continuo, porque a pesar que se redujo el volumen de agua utilizada durante el lavado mecánico del café

fermentado, la carga contaminante seguirá activa en los lixiviados que se generan durante el proceso de beneficio. Tal y como lo expresa en su investigación Ramírez, C., Oliveros, C., & Sanz, J. (2015).

Con la tecnología Belcosub aunque se reduce el consumo específico de agua hasta 0.7 litros/kg de cps y se controla el 90% de la contaminación potencial del café, se generan lixiviados con una contaminación cercana a 110000 ppm de DQO por kilogramo de cps. El potencial contaminante de la mezcla pulpa y mucilago presenta un valor de DQO de 115100 mg.kg de cc. (p.47)



**Fig. 3.** *Lavado del café-vía húmeda*  
**Fuente:** El Autor



**Fig. 4.** *Despulpe mecánico del café*  
**Fuente:** El Autor

## JUSTIFICACION

La razón de este proyecto surge a partir de la contaminación de las fuentes hídricas superficiales como receptor de agentes contaminantes subproductos del proceso de beneficio húmedo del café visto en gran parte del territorio colombiano, y de especial interés en la zona cafetera del municipio de Ibagué Tolima, dado que es una actividad agrícola histórica que ha venido ocasionando graves daños, algunos de estos son la disminución de la calidad del agua y baja en el abastecimiento a las comunidades, esto ha perjudicado el consumo, la salud humana, las actividades de recreación, la pesca, la industria, la agricultura entre otros aspectos. Se sabe que la contaminación del agua en ocasiones se presenta de forma natural, pero el hombre ha venido incrementando esta problemática ya que diferentes desechos de tipo orgánico o sus subproductos como en el caso del café son arrojados a las fuentes hídricas, entre ellos la pulpa y el mucilago con un alto grado de contaminación; Cárdenas, J. (2000) refiere lo siguiente respecto a la contaminación:

Dentro de los inconvenientes principales producidos al ensuciar las aguas con aguas residuales, se tienen:

- Cuando el pH de los residuos es muy bajo, es decir, cuando los desechos son muy ácidos, se puede ocasionar la muerte de animales acuáticos y peces
- La materia orgánica presente en estos residuos ocasiona empobrecimiento del oxígeno disuelto, el cual es indispensable para la vida de la flora y de la fauna normales de las fuentes de agua, ocurre que la descomposición de los residuos obedece a la acción o

trabajo de multitud de bacterias y otros microorganismos, que atacan a los desechos oxidándolos con el concurso del oxígeno disuelto, para transformarlos finalmente en gas carbónico, nitrógeno y agua. Como resultado de estos procesos las aguas empobrecen de oxígeno.

- Los residuos producen malos olores, sabores y colores en las aguas.
- La turbiedad ocasionada por los contaminantes suspendidos en las aguas obstaculiza el paso de la luz, interfiriendo en la actividad fotosintética de las algas y otras plantas, afectando la vida acuática. (p.19)

No obstante, al estudiar estos dos contaminantes (pulpa y mucilago) desde otro punto de vista estos son elementos que al ser debidamente tratados representan un producto reversible y reutilizable, convirtiéndose en un abono orgánico de beneficio para el cultivo de café, contribuyendo a la economía del agricultor por el valor agregado que adquiere durante la venta del mismo, pues el caficultor va obtener una mejor taza indicador de un buen sabor y calidad del grano así como su ingreso a mercados especiales con una mejor generación de divisas.

Basados en estos resultados uno de los aportes al problema de contaminación, es el desarrollo de la tecnología BECOLSUB por parte de Cenicafé, la cual combina, en un mismo módulo, los procesos de despulpado sin agua, desmucilaginado mecánico y lavado de café en contracorriente con una cantidad de agua de 0,5 a 1 litro/kg cps logrando una reducción del consumo de agua en el proceso de beneficio del café.

Por otra parte la finca El Mirador gracias a sus buenas técnicas de manejo agronómico ha logrado un gran avance en la comercialización de su producto, la certificación del grano por el código de conducta lo que a su vez es el código común para la comunidad cafetera 4C, le ha permitido al caficultor promover y fomentar la sostenibilidad en la cadena verde, donde los

participantes en la iniciativa cooperan para lograr la sostenibilidad en la producción, procesamiento después de la cosecha y comercialización del café verde de corriente dominante a largo plazo, dicha alternativa tiene estrecha relación con los objetivos de desarrollo del milenio de las Naciones Unidas, las cuales persiguen calidades de vida sostenibles, y posee una dimensión social, ambiental y económica. (Nestlé, 2004. P.1)

Del mismo modo es beneficiario del certificado Rainforest Alliance el cual le permite al caficultor tener un sobreprecio en el producto terminado en mercados especializados donde se garantiza la compra del mismo por su calidad y por la contribución que este realiza a la conservación del medio ambiente, la educación, la salud y la comunicación entre las comunidades, a través de la puesta en marcha de técnicas a favor de la protección de suelos, bosques y fuentes hídricas entre otras, que finalmente garantizan la calidad del grano.

Para conquistar una unidad sostenible como la mencionada se requiere el cumplimiento de tres pilares para el desarrollo:

- la producción del café solo puede ser sostenible si permite condiciones decentes de trabajo y vida para los agricultores y demás sociedad.
- Protegiendo el medio tal como un bosque primario y conservar los recursos naturales tales como el agua, la tierra, biodiversidad y energía.
- Viabilidad económica es la base para la sostenibilidad social y ambiental, es decir tener un libre acceso al mercado. (Nestlé, 2004, p.1)

Lo anterior afianza estrategias de negocio para el caficultor, pues es una manera de adquirir una vida justa y recompensable a través de la producción y beneficio del café, se busca que el mismo individuo aprenda a llevar un buen proceso cultural en poscosecha a fin de evitar un impacto negativo como el vertimiento de aguas mieles directamente a las fuentes hídricas provocando

una grave contaminación, por ejemplo cambios de acidez, deficiente demanda química de oxígeno (DBO), altos índices de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) entre otros parámetros evaluados durante la interpretación de un análisis de aguas residuales.



**Fig. 5.** *Vertimiento puntual de carga contaminante*  
**Fuente:** El Autor



**Fig. 6.** *Filtración de carga contaminante*  
**Fuente:** El Autor

El planteamiento de este proyecto inicia con la sensibilización al propietario sobre el manejo y las tecnologías a aplicar durante el beneficio seco del café, esto con el objeto de bajar el volumen de agua durante el despulpado y transporte, así como los índices de contaminación en las fuentes hidrográficas y suelo, la propuesta también se difunde a la comunidad para informar y crear un espacio de conocimientos que complemente su educación y capacidad de análisis respecto a la resolución de problemáticas vistas durante el proceso, una vez sensibilizado y trasferido información de interés para la comunidad, se programa un día de campo en el cual se capacitara acerca de la mejor manera de aprovechar los subproductos del café, teniendo en cuenta la importancia de mantener un beneficio ecológico en sus fincas; respecto a la fase práctica, se acude a capacitación por parte del coordinador de beneficio de la Federación Nacional de Cafeteros regional Tolima, quien formalmente da a conocer el funcionamiento del diseño y sus

aportes a la reducción de la contaminación, el filtro primario como alternativa para tratamiento de aguas mieles, es una novedosa propuesta apoyada en fuentes bibliográficas de CENICAFE y bajo la dirección de conocimientos propios del autor, así como del interés del profesional en implementar esta tecnología en el procesamiento del producto en el municipio de residencia.

## **MARCO TEORICO**

### **Historia del café en Colombia**

Las condiciones por las cuales llegó el café (*Coffea arábica*) 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, parr.1).

### **Importancia del café en la economía**

En Colombia el café es uno de los productos de exportación y ha logrado gran importancia dado su gran nivel de producción; su cultivo involucra a 590 municipios en varios departamentos andinos del país, el área disponible para el cultivo de café es más o menos de 3,6 millones de hectáreas y se cultivan 970 mil hectáreas, disponiendo de los propietarios de los predios y sus familias; el cultivo de café es una fuente de empleo de miles de recolectores y otras actividades de beneficio del grano, esta práctica reúne a trabajadores directos e indirectos y define el símbolo

representativo de Colombia y de muchos países del mundo ya que es el segundo producto básico después del petróleo (UTADEO, p.15).

Brasil ha logrado un buen desarrollo económico debido a la importancia que ha tenido el café al igual que otros países latinoamericanos entre los siglos XIX y XX y no es exclusivamente por la trascendencia de generación de divisas sino también a la entrada de derivados del producto y las cuales favorecen la creación de mercados internos que exigen otro tipo de servicios. (CENICAFE, párr. 2).



**Fig. 7.** *Despulpadora cilindro horizontal*

**Fuente:** El Autor



**Fig. 8.** *Recibido del café cereza*

**Fuente:** El Autor

### **Antecedentes beneficio húmedo del café**

El proceso de beneficio húmedo convencional se lleva a cabo utilizando un consumo de agua variable y que oscila entre 40 y 50 l/kg cps, el cual es utilizado para el despulpado y transporte de pulpa con agua y el lavado realizado tradicionalmente en canales de correteo (Cárdenas, C, J.,2000, p.25).

El despulpado permite realizar la primera transformación física del café en un proceso de conversión de cereza a pergamino, quitándole el epicarpio (pulpa) con el propósito de

obtener granos cuyo endocarpio (pergamino) está rodeado por una serie de capas celulares llamadas mucilagos. La pulpa descompuesta es utilizada como fuente de materia orgánica, abono para los cafetales establecidos y desarrollo de almácigos (Cárdenas, C, J., 2000, p.26).

La creciente demanda de café suave lavado para el mundo pasó de ser una ventaja económica a ser una desventaja ambiental, pues el incremento de las densidades y modalidades de siembra hizo que cada vez este cultivo fuera más intensivo.

Tal y como lo indica Arango, M. (1999) en su investigación sobre el beneficio ecológico en Colombia “Para el periodo 1980-1985, la producción llegó a 12,4 millones de sacos de café trillado; pero lo más grave era que el 67% de dicha producción correspondía a café tecnificado, muy intensivo, de 3500 a 4800 cafetos por hectárea” (p.121)

Con esto se puede decir que hubo un alto rendimiento de producción en la zona cafetera de Colombia, pero lo realmente cuestionable es conocer el costo de su inversión, basado en uno de los recursos naturales más valiosos para el hombre el agua, se convirtió en un problema de investigación, pues la tecnificación del cultivo a libre exposición hizo que las fuentes hídricas de las altas montañas se fueran secando, así como el surgimiento de la contaminación sobre las microcuencas, para este tiempo el agua se volvió escasa y de mala calidad en la zona cafetera, al tiempo que creció la conciencia ecológica.

Según Cenicafe la contaminación por el beneficio del café en Colombia, fue estimada en 1992, como el equivalente a una ciudad de 840.000 habitantes durante un año.

La pulpa y el mucilago contenidos en un kilogramo de café cereza pueden retirarles todo el oxígeno a 7,4 metros cúbicos de agua pura, propiciando su putrefacción. La pulpa

representa el 72% de la contaminación posible y el mucilago el 28% restante. La producción anual de pulpa fresca, en Colombia, en 1992, fue del orden de 2,5 millones de toneladas y 1,3 millones de toneladas de mucilago.

Para complementar lo anteriormente dicho Zambrano, D & Rodríguez N. (2010). Exprese lo siguiente:

La pulpa representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. Asimismo indica que por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se genera 162.900 toneladas de pulpa fresca, que al no utilizarse adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 868.736 habitantes. También menciona que el mucilago del café representa alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco; la producción media es de 768 kg/ha-año. Por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 toneladas de mucilago fresco, que si no se utiliza adecuadamente puede llevar a causar una contaminación por año de 310.000 habitantes (p.3)

Es así como la instalación de procesadores de pulpa son una alternativa ecológica para recuperación de suelos y mejor calidad de aguas, de acuerdo a lo establecido por CENICAFE (2005) se entiende por un procesador:

“Un depósito cubierto donde se almacena la pulpa para transformarla en abono, en este proceso de descomposición se requiere muy buena ventilación o circulación del aire”  
(p.162).

En relación con esta cuestión, Zambrano, D & et al. (1999) han analizado en el laboratorio diferentes tecnologías:

Filtros anaerobios de flujo ascendente UAF, empacados con anillos de bambú asimismo con anillos de polietileno de baja densidad reciclado, manto anaerobio de lodo de flujo ascendente UASB (p. 5), expresando que la función de esta nueva tecnología es:

Remover la carga orgánica superior al 80% de la demanda bioquímica de oxígeno según lo requerido por la Legislación Colombiana en el Decreto 1594 de 1984 sobre la utilización del agua y Residuos líquidos para así lograr disminuir el pago de Tasas Contributivas por el uso indebido directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales relacionado en el decreto 901 del Ministerio del medio ambiente 1997 (p. 6).

A raíz de esta problemática ambiental y su constante necesidad Cenicafé diseño hacia el año de 1994 reglamento el programa de beneficio ecológico, con una meta de reducir la contaminación solo en el 72%.

La tecnología BECOLSUB (Beneficio Ecológico del café y de los subproductos) se desarrolló en Cenicafé, para obtener cafés de alta calidad física y de la bebida, además, controlar la contaminación potencial de las fuentes de agua ocasionada por la pulpa y el mucilago, manteniendo o aumentándolo los ingresos del caficultor.

Algunas de las características de la tecnología BECOLSUB se integran desarrollos de investigación como el despulpado sin agua, el desmucilaginado mecánico con bajo consumo específico de agua en desmucilaginadores de flujo ascendente DESLIM y el manejo de los subproductos pulpa y mucilago con tornillo sinfín (p.2).

## **Antecedentes del tratamiento de aguas residuales**

La microbiología como disciplina científica determinó que las corrientes de aguas son un medio de supervivencia e interacción de organismos vivos que pueden alterar o beneficiar su ecología (virus, hongos, bacterias), la salud del hombre y la sostenibilidad del medio ambiente, por consiguiente, es fundamental conocer sobre los efectos que se pueden crear en los distintos ecosistemas que conforman la vida microbiana que habita en el agua.

Por ello algunos de los procesos biológicos que se emplean para el tratamiento de las aguas residuales son: la remoción de la materia orgánica carbonosa del agua residual, medida como DBO, COT O DQO; la nitrificación, la denitrificación, la eliminación de fosforo y la estabilización de los fangos producidos por sedimentación. (Merli, F & Ricciuti, N. 2009).

Desde el punto de vista histórico el primer objetivo del tratamiento de aguas era disminuir el contenido de materia orgánica que se disuelve o queda en suspensión en el agua a menos de 30 mg y la demanda biológica de oxígeno a menos de 20mg las aguas a tratar pueden ser domesticas (compuestas de aguas negras, restos de animales, patógenos y parásitos), y aguas industriales (contaminadas principalmente por combinaciones xenobióticos y metales pesados. los objetivos del tratamiento biológico son tres: reducir la capacidad en materia orgánica de las aguas, disminuir su contenido en nutrientes, y eliminar los patógenos y parásitos. (Unavarra, 2008, parr.1)

## MARCO CONCEPTUAL

### **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 arábigo y por el otro los cafés robustas; en Colombia se siembran cafés arábigos porque producen una bebida suave, de mayor aceptación en el mercado mundial y a un mejor precio.

### **Variedad de café establecida en la zona de estudio**

Mediante un sondeo de opinión se determinó que la variedad de café con mayor frecuencia en la zona de estudio es castillo regional, este tipo de café tiene un rendimiento de producción de 7,89kg cc/planta/año aproximadamente; respecto a las densidades de siembra se recomienda utilizar densidades mayores a 7.500 plantas/ha, asimismo el número de cosechas depende de la localización de la finca y la distancia de siembra, con distancias amplias se pueden recolectar entre 4 y 5 cosechas antes de su primera renovación. (Cortina, H., Moncada, M., & Herrera, J. 2012)

## **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, N., & et al (2015)

### **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 cps 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 desmucilaginosos, lavaderos mecánicos o tanques de fermentación. Permite lavar y clasificar el café con consumo específico de agua inferior a 5 L/Kg de cps.

La transformación de la pulpa se realiza a través de una fosa techada, así como se realiza el aprovechamiento de los subproductos.

### **Beneficio ecológico del café sin vertimientos**

En este sistema se realiza un uso racional del agua y se tratan los subproductos como pulpa, mucilago y aguas residuales, de forma que no se generen vertimientos en el proceso.

La tecnología Ecomill es la nueva propuesta de Fedecafé para realizar el beneficio de café más amigable con los recursos naturales.

La operatividad de este equipo consiste en realizar un despulpado sin agua, transporte de café despulpado y de la pulpa sin agua, proceso de fermentación natural en tanques cilíndricos que no necesitan agua para el vaciado del café, sistema mecánico de lavado con mínima cantidad de agua menos de 0.5L.kg de cps y manejo de las aguas residuales con cero vertimientos.

### **Sistema modular de tratamiento anaerobio-SMTA**

Los sistemas modulares de tratamiento anaerobio SMTA son las plantas de tratamiento de aguas residuales del lavado del café desarrolladas por Cenicafe. Desde 1994 los SMTA han sido aprobados con éxito en beneficiaderos de pequeñas fincas, que contemplan el despulpado y transporte de pulpa sin agua y que han adoptado la tecnología de lavado de café en tanques de fermentación, cuyo consumo de agua para lavar es máximo 5L/kg cps, mostrando remociones de contaminación superiores al 80% exigido por la legislación colombiana en el Decreto 1594 de 1984.

La contaminación producida por los lixiviados efluentes de la utilización de la tecnología Belcosub, serán tratados biológicamente utilizando sistemas anaerobios con separación de fases, los cuales trabajan independientemente la fase hidrolítica de la fase metanogénica.



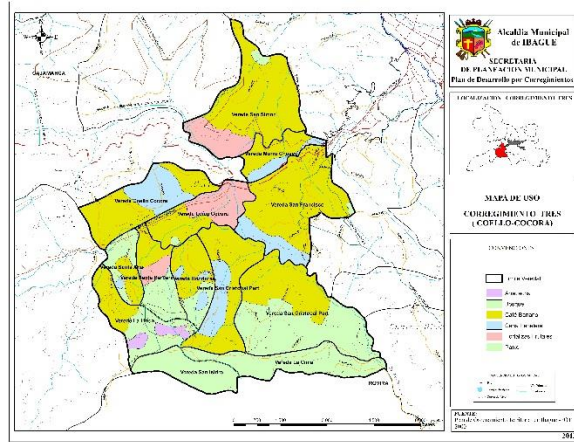
de divisas, comprendido como el región productivo con mayores índices de participación en la economía colombiana, según un estudio de Muñoz, L. (2014). ‘‘El sector cafetero tiene mayor relevancia sobre otras actividades productivas (arroz, maíz, papa, palma africana y caucho) dicha importancia se evaluó desde indicadores básicos: empleo, exportaciones, valor de la producción y costos especialmente’’ (p. 5).

Sin embargo esta actividad comercial no ha sido del todo sobresaliente sobre otros sectores pues, en las últimas dos décadas ha proporcionado altos índices de contaminación sobre recursos hídricos superficiales, es decir, esta problemática llevo a pensar a diversos investigadores nacionales a buscar tecnologías de fácil adopción para remediar dicho problema y es así como entre los años 2002 y 2003 se crea una nueva versión del sistema modular tratamiento anaeróbico SMTA, del cual se obtiene información válida para iniciar con la propuesta denominada ‘‘Instalación de un filtro primario para tratamiento de aguas mieles como subproducto del beneficio húmedo del café en una finca cafetera del municipio de Ibagué; primero subsanando una problemática ambiental, segundo mejorando la calidad de vida de la población, a través de la capacitación en buenas prácticas de beneficio (BPB), y finalmente motivando al caficultor para que ingrese a nuevos mercados y certificaciones, para que garantice el posicionamiento de su producto, y adquiera un mejor precio de venta.

### **Área de estudio e influencia**



**Fig. 10.** Zona de estudio-vda San Francisco parte alta  
Fuente: El Autor

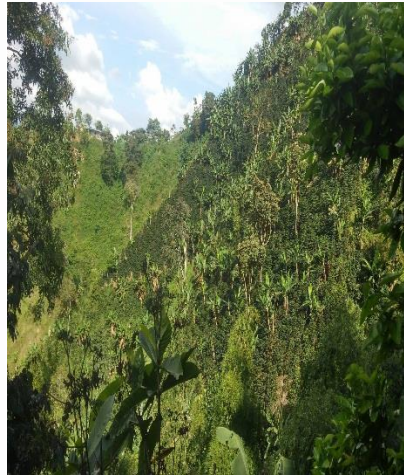


**Fig. 11.** Uso del suelo-vda San Francisco  
Fuente: Planeación municipal-Alcaldía de Ibagué

La finca El Mirador tiene una extensión de 3.5 hectáreas de las cuales 2 hectáreas se encuentran sembradas en café var. Castillo regional; las distancias de siembra corresponden a 1.20m entre plantas y 1.30m entre surcos para una densidad de 6410 plantas/ha. Este cultivo está asociado a plátano var. Dominico hartón (*Musa paradisiaca*) cuya población establecida como barrera contra vientos es de 156 plantas y también árboles forestales como Nogal cafetero (*Cordia alliodora*) y chachafruto (*Erythrina edulis*) los cuales tienen una población de 100 y 16 árboles respectivamente establecidos para generación de sombrío y aporte de biomasa al suelo.



**Fig. 12.** Arreglo espacial finca El Mirador  
Fuente: El Autor



**Fig. 13.** Sistema productivo finca El Mirador  
Fuente: El Autor

Durante las visitas de acompañamiento técnico a la zona de estudio, se identificó presencia del helecho común (*Pteridium aquilinum*) como un indicador de acidez en el suelo; continuando con la densidad de siembra del café, esta disminuye a una población de 6138 árboles/ha de las cuales se obtiene un rendimiento de producción promedio de 38 cargas/ cps/anuales en tres repases; por otro lado mediante una pequeña entrevista el propietario da a conocer que la finca produce café de alta calidad (café verde), reconoce el daño que causa a las fuentes hídricas y suelos, pero no cuenta con ningún método que atenúe el impacto biológico que causa en las actividades de fermentación, lavado y enjuague aplicadas en el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC), utiliza cantidades inapropiadas de agua y no cuenta con un sitio adecuado para los subproductos del café (pulpa y mucilago) generando una contaminación directa a cuerpos de aguas superficiales próximos a la finca, además de esta difícil, es menester indicar que la población no disponible de alcantarillado público y pozos sépticos que atenúen el daño, sino que a raíz de la situación se ven obligados a realizar descargas inminentes en los cuerpos de agua más cercanos; estos aspectos fueron motivo suficiente para que el propietario aceptara este proyecto dentro de las instalaciones de su finca,

además porque le es un requisito prioritario para mantener los sellos de calidad en cafés especiales, es decir, el productor indica que su propiedad está certificada en Rainforest Alliance y acreditado con el sello *4C Aroma de café*, estos garantizan el cumplimiento total de la cadena de valor con un código de conducta común, que debe vincular tres elementos de desarrollo sostenible los cuales son el económico, social y medioambiental.

## **Procedimiento**

La instalación de un filtro primario para tratamiento de aguas mieles como mecanismo alternativo para controlar la contaminación en cuerpos de agua superficiales producto del beneficio húmedo del café se desarrolló en tres etapas distribuidas de la siguiente manera:

**Etapas iniciales:** Consistió en formular un sondeo de opinión sobre la comunidad en estudio para identificar algunos parámetros (ambiental, social, económico y legal) y la relación existente con el beneficio húmedo del café respecto al tratamiento de subproductos (mucilago y pulpa).

Para el diagnóstico de la zona de estudio, se planteó un sondeo de opinión en la población de San Francisco parte alta; la muestra se determinó de acuerdo al número total de posibles encuestados, como no se obtuvo información exacta de este dato, se procedió a sacar un promedio de acuerdo a indicadores estadísticos, así:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + K^2 * p * q}$$

Donde:

N: es el número total de posibles encuestados

K: El nivel de confianza de un 95,5

e: es el error muestral deseado de 5%

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio, 0.5 es la opción más cercana

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir,  $1-p'$

n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos hacer)

Al finalizar la operación matemática se comprobó que la muestra representativa para aplicar la encuesta era 10; luego de formular el cuestionario, se aplicó al azar en diez familias cafeteras, con el análisis de datos se identificó la situación actual de la zona, la importancia de establecer un filtro primario, así como darle un buen manejo a la pulpa, a través de la elaboración de compostaje bajo cubierta. Antes de aplicar el cuestionario a la comunidad se contó con la aprobación del propietario de la finca para la implementación del proyecto.

Posteriormente, se realizó una convocatoria a la comunidad, con el fin de informar a la comunidad los objetivos del proyecto, así como capacitar a los productores acerca del funcionamiento del filtro para tratamiento de aguas mieles, también socializar una buena disposición de los subproductos obtenidos durante el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC), al igual que darle a conocer a la comunidad, la importancia de alcanzar sellos de calidad frente a nuevos retos comerciales; el material utilizado durante la actividad fueron marcadores, lapiceros, papel periódico y refrigerio para motivar la participación de los invitados, los asistentes fueron 10 personas de la comunidad.



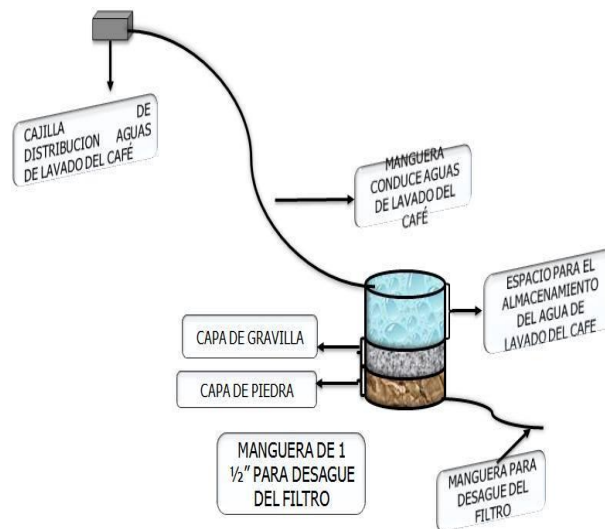
**Fig. 14.** *Capacitación en manejo del filtro y buenas prácticas de beneficio*

Fuente: El Autor

El tema principal de la capacitación hizo énfasis en los efectos secundarios que ocasiona el proceso de beneficio húmedo del café a agroecosistemas acuáticos, suelos y de salud humana por medio de vertimientos puntuales directos e indirectos a recursos hídricos superficiales como principales receptores de contaminación, en esta etapa se dio una explicación clara sobre el funcionamiento del sistema, igualmente la lista de materiales y costos para realizar la instalación, también la normatividad que acoge este tipo de proyectos sociales, ambientales y económicos.

Con la aplicación del método deductivo se logró comprobar que a partir de un estudio generalizado de teorías e hipótesis se puede llegar a soluciones particulares; son diversos los estudios orientados a esta línea de investigación, lo que ocurre es que son escasos los productores que se interesan por adquirir un nuevo conocimiento a partir de otros modelos de desarrollo, pues no tienen un concepto abierto de lo que significa ejercer el beneficio ecológico en sus fincas, por el contrario retrasan los avances técnicos y continúan desproporcionando la calidad de los recursos no renovables, así como directos actores de una alta contaminación, y una baja calidad de vida representada en bajos rendimientos de producción y calidad del grano, además de dificultar las relaciones humanas entre los habitantes.

**Etapa intermedia:** En la segunda etapa del proyecto se realizó la instalación del filtro primario, el desarrollo de la actividad se dividió en tres partes, la primera fue realizando la cotización de cada uno de los materiales para la construcción del artefacto, la segunda realizando el transporte de materiales desde la zona de compra a la zona de ejecución del proyecto, y por último el montaje del diseño propuesto, realizado entre el beneficiario de la finca y el estudiante.



**Fig. 15.** *Diseño del filtro primario*  
Fuente: Comité de beneficio Tolima

Por otro lado, se realizó la socialización al productor acerca de la normativa vigente en materia de administración del recurso hídrico en Colombia.

Entre las principales leyes, decretos y resoluciones vigentes existen: El decreto ley 2811 de 1974 por la cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente; el decreto 1594 de 1984 por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI-parte III-libro II y el título III de la parte III-libro I-del decreto –ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos; Resolución 372 de 1998 por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimiento líquidos y se dictan disposiciones; 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; la resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, los anteriores son algunas de las normas vigentes que amparan la protección del recurso hídrico. (Moreno, N., & Romero, A. 2016, p. 45)



**Fig. 16.** Manejo de pulpa  
Fuente: El Autor



**Fig. 17.** Prueba de descarga del filtro  
Fuente: El Autor

**Etapas finales:** En esta última parte del proyecto se realizó la toma de muestras de laboratorio posteriores a la instalación, para diagnosticar si los parámetros fisicoquímicos del agua mejoran o continúan igual a cuando no había un sistema de tratamiento; las muestras se colectaron lo más homogénea posibles en diferentes fechas, para evaluación de parámetros fisicoquímicos tales como pH, Demanda química de oxígeno, Demanda Bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos y temperatura del agua.



**Fig. 18.** *M1-inicial*  
Fuente: El Autor



**Fig. 19.** *M2-inicial*  
Fuente: El Autor



**Fig. 20.** *M3-inicial*  
Fuente: El Autor

**Tabla 1.** Resultados análisis fisicoquímicos de aguas mieles iniciales

<i>PARAMETROS</i>	<i>UNIDADES</i>	<i>TANQUE COLECTOR 1</i>	<i>DECRETO 1594- 84 ART 73</i>
<i>pH</i>	Unidades	3,70	5,0-9,0
<i>Solidos suspendidos totales</i>	mg/Lt	55,9	<10
<i>Demanda química de oxígeno</i>	mg/Lt O <sub>2</sub>	445,2	Remoción >50%
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	mg/Lt O <sub>2</sub>	261,5	Remoción >30%
<i>Grasas y aceites totales</i>	mg/Lt	2,02	
<i>Solidos disueltos</i>	mg/Lt	453,0	N.A.
<i>Temperatura del agua</i>	°C	24,0	25

**Fuente:** Laboratorio Agroanálisis.



**Fig. 21.** M3, M2 y M1-finales

Fuente: El Autor

**Tabla 2.** Resultados análisis fisicoquímicos de aguas mieles finales

<i>PARAMETROS</i>	<i>UNIDADES</i>	<i>DESCARGA DEL TANQUE</i>	<i>REMOCION DE CARGA</i>	<i>DECRETO 1594-84 ART 73</i>
<i>Demanda química de oxígeno</i>	mg/Lt O <sub>2</sub>	215,50	51,59%	Remoción >50%
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	mg/Lt O <sub>2</sub>	112,56	56,95%	Remoción >30%
<i>Temperatura del agua</i>	°C	28		25

**Fuente:** Laboratorio Agroanálisis.

Finalmente se efectúa seguimiento a la instalación del sistema, con el fin de verificar el correcto funcionamiento del equipo, es decir, observar que al momento de iniciar con el proceso de beneficio del café, la descarga contaminante que llega al lecho filtrante durante la primera y segunda lavada no presente fugas, rebotes u obstrucciones por lodos residuales y pulpas atrapadas en el filtro de ingreso al sustrato; por su parte la tercera lavada es dirigida a la cajilla que inicialmente prestaba el servicio a la finca para desviar las aguas residuales a una zona de barbecho.



**Fig.17.** Ubicación de filtro auxiliar  
Fuente: El Autor

## **METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO**

En la primera fase del proyecto se realizó un sondeo de opinión, la herramienta que se utilizó fue una encuesta de 10 preguntas abiertas, la población encuestada fueron caficultores de la vereda San Francisco parte alta; como requisito para la recolección de datos, se seleccionó un informante calificado por finca, este debía tener un conocimiento amplio de la región, así como ser conocedor de los rendimientos de producción obtenidos en el año, el tipo de beneficio utilizado en la finca; el manejo de subproductos del café, informar si pertenecía alguna asociación o si era acreditado por un sello de calidad. El orden en que se desarrolló la encuesta fue al azar y se llevó a cabo durante un día; desde el inicio de la jornada se le planteó a cada productor el objeto de estudio de la encuesta, cada uno de los participantes mostró interés en apoyar el proyecto, en otras palabras fueron receptivos con el aporte de la información, pues expresaron no tener ingresos económicos suficientes para remediar la problemática vivida en sus hogares, por el contrario, expresan la desidia de instituciones que han tenido en proyecto la implementación de sistemas modulares para tratamiento de aguas residuales, pero que fuera de teorías no sea concretado una solución; no

obstante, perciben el reclamo por parte de los mismos habitantes, esta situación ha cambiado los hábitos de convivencia y cada familia trata de huir del problema, algunos de ellos reconocen que la afectación directa por los vertimientos puntuales de contaminación la sufren las familias de la parte baja, no obstante, después de emitir conceptos técnicos al tema mostraron interés en participar elocuentemente y sin ningún tipo de imposición.

**Información básica**  
 Nombre de la finca El Mirador  
 Nombre del propietario y/o administrador Jaime Serrano  
 Latitud NA longitud NA Altura NA  
 Área sembrada (Ha) 3.5 Ha - 2 sembrados en café  
 Producción de cps (t/año) aprox 38 corgas/año  
 Variedad o híbrido establecido Cuchillo Naranjal  
 Correo electrónico \_\_\_\_\_

**Información especializada**  
 1. Tipo de beneficio:  
 Vía húmeda  Vía seca   
 2. Como realiza Ud. la disposición final de las aguas mieles como subproducto del beneficio del café  
 Disposición directa a cuerpo de agua   
 Separación de residuos contaminantes y posterior disposición a cuerpo de agua   
 3. Realiza algún manejo sobre la pulpa del café como subproducto del beneficio? Indique  
 Compostaje terminado   
 Compostaje inmaduro   
 Lombricomposteo   
 Otro cuál? \_\_\_\_\_  
 4. Conoce Ud. el volumen de agua utilizado en los procesos de despulpado y lavado del café cereza?  
 Si  NO  en caso de conocerlo indique la cantidad? \_\_\_\_\_  
 5. En caso de que los residuos líquidos del beneficio no sean tratados, ¿estaría interesado en la instalación de un filtro de aguas mieles en su predio?

**En algún momento recibió capacitación sobre el tema por parte de alguna entidad pública?**  
 SI  NO  Cual? Cooperativa de caficultores.

**Información complementaria**  
 Conoce la tarifa de la tasa retributiva correspondiente al vertimiento de agentes contaminantes a un recurso hídrico?  
 SI  NO   
 Se encuentra asociado a alguna cooperativa u organización quien le presta la asistencia técnica al cultivo?  
 SI  NO   
 Comité departamental de cafeteros Tolima   
 Cooperativa de Caficultores Tolima   
 Otra cuál? \_\_\_\_\_  
 Es beneficiario de algún sello o certificado de calidad en cafés especiales?  
 SI  NO  En caso de ser beneficiario indique cuál?  
 Rainforest Alliance   
 Aroma de café o 4C   
 Starbucks coffee   
 Otro cual? \_\_\_\_\_  
 Considera que con el tipo de beneficio implementando en la finca está contaminando los cuerpos de agua y el suelo?  
 SI  NO  Porque \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

Fig. 22. Formulación de la encuesta finca El Mirador

Fuente: El Autor

En la segunda fase del proyecto se realizó la instalación del equipo denominado filtro primario para tratamiento de aguas mieles, para el ensamblaje del filtro se requiere de un lecho de material granulométrico; la capacidad del tanque para almacenar el sustrato inorgánico y el efluente es de 500 litros, la primera capa del sustrato granulométrico corresponde a piedras de un peso entre 150 y 200 gramos, la capa ocupa un espacio de 20 cm desde la superficie, seguidamente se colocó una malla para evitar invertir los materiales, la segunda capa corresponde a la gravilla lavada esta tiene un diámetro de 7mm y ocupa un espacio en el filtro de 20 cm, en la última capa se instaló un aro con malla para evitar el ingreso de impurezas al lecho filtrante; la descarga contaminante que puede tratar el filtro es de aproximadamente 200 litros, los cuales pueden ser filtrados en un tiempo de 8 minutos por lavada, al tanque solo se hacen llegar dos lavadas y la tercera lavada se dirige a una

cajilla donde anteriormente se disponían las aguas residuales, por ello en el sistema se instalaron 2 llaves de paso que controlara el flujo desde el tanque tina hasta el filtro.

Por su parte, el efluente contaminado es tratado mediante la actividad biológica de microorganismos eficientes (EM), la cepa se acondiciono en un recipiente de polietileno a temperatura ambiente y bajo sombra, con el objeto de propagar su metabolismo y obtener una población invasora.

Para cultivar la cepa de microorganismos eficientes en lugar de aplicar directamente el producto sobre el sustrato inorgánico del filtro, se optó por conservar el inculo en miel de purga como principal fuente energética durante un término de 20 días, el proceso es aeróbico razón por la cual requiere de continua agitación para mantener oxigenado el producto y de esta manera preservar la vida útil de los microorganismos cuando estos vayan al contenedor final, el motivo por el cual no se agregaron al sustrato, fue debido a que no había una fuente energética que garantizara la supervivencia de las bacterias, antes de ocurrir los primeros repases se procedió a la liberación de las bacterias fotosintéticas en el sustrato.



**Fig. 23.** Tacos de guadua para medio cultivo bacteriano

Fuente: El Autor



**Fig. 24.** Lectura de pH en microorganismos eficientes

Fuente: El Autor

Pasado tres semanas de activación de los microorganismos eficientes, se realizó la lectura del pH y se almaceno en un recipiente de plástico con capacidad de 500 ml, el cual fue incorporado en el sustrato para iniciar la formación de colonia, para que la biomasa este activa es necesario mantener húmedo el sustrato; por otro lado la llave de paso del filtro no se debe abrir de forma permanente al iniciar el funcionamiento del sistema, pues de esta forma se estaría inhibiendo el comportamiento y hábitat de los microorganismos, el tiempo para que estos se apoderen del sustrato es de dos meses antes de la cosecha.



**Fig. 25.** *Aplicación de microorganismos eficientes al filtro*

Fuente: El Autor

Los microorganismos han sido utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Un estudio de (Wididana e Higa, 1997) citado por Cardona, J., & García, L. (2008). Asegura que los microorganismos del EM poseen varias características útiles en procesos de biorremediación, entre las cuales se encuentran la fermentación de materia orgánica sin la liberación de malos olores y su capacidad de convertir los desechos tóxicos ( $H_2 S$ ) en sustancias no tóxicas ( $SO_4$ ), propiedades desionizantes que favorecen la detoxificación de sustancias peligrosas, quelación de metales pesados, producción de enzimas como la lignina peroxidasa, entre otras (p.14).

Otro de los materiales para tratamiento de las aguas mieles es el carbón activado, aunque es un material económico no está al alcance de pequeños productores pues, tiene una baja capacidad de regeneración y debe ser remplazado con frecuencia, sin embargo, es la forma altamente adsorbente del carbón usado para remover olores y sustancias tóxicas de líquidos o emisiones gaseosas; este sustrato se aplica encima del aro de malla; la cantidad requerida para iniciar con el proceso es de 2 kilogramos.

Por otra parte, los desechos ácidos contienen una apreciable cantidad de acidez y se caracterizan por tener un pH bajo, para regular este parámetro es necesario realizar la aplicación de cal no potásica, este tipo de sustrato estabiliza la acidez a un nivel neutro, el momento ideal para realizar la aplicación es después que los EM hayan formado grandes colonias sobre el sustrato. Leyton, H. (2016)

### **PROTOCOLO TOMA DE MUESTRA DE AGUA INICIAL Y FINAL**

Para iniciar con el muestreo de las aguas residuales presentes en el beneficio del café, se realizó un estudio previo de la **NTC-ISO 5667-10**, la cual establece objetivos como:

Determinar la concentración de contaminantes en una corriente de aguas residuales

Determinar la carga contaminante que transporta una corriente de aguas residuales

En general, los objetivos del muestreo son el control de la calidad o la caracterización de la calidad.

#### **Caracterización de la calidad**

La caracterización de la calidad apunta a determinar la concentración o carga de contaminantes en una corriente de aguas residuales, generalmente durante un periodo de tiempo prolongado, por ejemplo para verificar el cumplimiento de una norma, determinar tendencias, proporcionar datos sobre eficiencia del proceso de una unidad o suministrar datos sobre carga, para propósitos de planeamiento y/o diseño.

Por otro lado, el objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. NTC. 5667-ISO-10 (1995)

El tipo de muestra seleccionado para identificar los parámetros fisicoquímicos presentes en el muestro antes y después de la instalación del filtro primario corresponde a una muestra compuesta: en la mayoría de los casos, se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos.

**Procedimiento de toma muestreo inicial y final:**

- Etiquetas
- Sellos
- Libro de campo
- Registro de control y vigilancia de la muestra
- Formato de solicitud de análisis
- Entrega de la muestra en el laboratorio
- Recepción y registro de la muestra
- Asignación de la muestra para análisis (Ideam, 1997)

**Método de muestreo**

Corresponde a un muestreo manual y compuesto, en donde se seleccionan distintas muestras en distintos tiempos pero en un mismo espacio y luego se mezclaron para determinar las concentraciones de los parámetros evaluados. Se realizó de acuerdo al cumplimiento de la **NTC 5667-10 de 1995** cuyo objetivo principal es el control y la caracterización de la calidad

## **Muestreo manual**

Requiere de un mínimo de equipos (recipientes de polipropileno, indicador de acidez, termómetro, etc.) pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso. (Ideam, 1997)

Para iniciar con el procedimiento en campo, utilizamos para la captación del muestreo tres recipientes plásticos con capacidad de 1 litro, estos corresponden a la muestra representativa por cada uno de los lavados efectuados en el beneficio del café antes y después de la instalación del filtro, estos debían estar previamente esterilizados con detergente y agua.

Para el primer muestreo se introdujo en el tanque de fermentación cada una de las botellas boca abajo, después de dos sumergidas y vaciadas, finalmente se llenó el recipiente en un 90% de su capacidad, el proceso se realizó en distintos tiempos para el primer y segundo muestreo.

El tiempo de preservación de las muestras en refrigeración fue entre 1 y 5° C; las muestras fueron enviadas al laboratorio antes de las 24 horas, para determinar las concentraciones de carga contaminante presentes en el efluente; los parámetros fisicoquímicos a evaluar fueron pH, sólidos suspendidos totales, Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de oxígeno, grasas y aceites totales, sólidos disueltos y temperatura del agua. Estos corresponden al primer muestreo (antes del montaje del filtro).

Para el segundo muestreo (después del montaje del filtro) en el flujo de descarga, se ubicaron cada una de las botellas en distintos tiempos en posición vertical; con este muestreo se evaluó la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y temperatura del agua. Estos parámetros se tomaron para demostrar el cumplimiento del decreto 1594 de 1984 respecto a los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, donde se exige que haya una remoción mayor al 80% de la carga contaminante presente en un cuerpo de agua superficial.

Como la primera muestra del muestreo inicial y final era la más concentrada para el análisis, se determinó tomar un 50% del primer frasco, del segundo frasco un 30% y del tercero un 20% con lo cual se generó una muestra compuesta y homogénea para cada uno de los muestreos.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE FILTRO DE AGUAS MIELES EN UNA FINCA DEL MUNICIPIO DE IBAGUE AÑO 2017**

ACTIVIDADES	MESES	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE			
	SEMAN.	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>ETAPA INFORMATIVA</b>																									
caracterización de la zona de estudio		■																							
desarrollo y caracterización de la encuesta			■	■																					
capacitación y divulgación de la información a la comunidad					■																				
<b>ETAPA DE ESTUDIO TEORICO</b>																									
estado del arte					■																				
formulación de metodología de estudio						■	■																		
<b>ETAPA DE ESTUDIO FINANCIERO</b>																									
estudio de costos de inversión											■														
cotización y compra de materiales												■													
<b>ETAPA DE ESTUDIO AMBIENTAL</b>																									
investigación de antecedentes															■										
estado actual de zona de trabajo																■									
toma de muestras a aguas mieles iniciales																	■								
<b>ETAPA DE ESTUDIO PRODUCTIVO</b>																									
determinación del caudal de aguas mieles																									
inspección de disposición final de pulpas																	■								
<b>ETAPA DE IMPLEMENTACION</b>																									
transporte de herramientas y materiales																									
instalación de filtro de aguas mieles																									
tratamiento alternativo de pulpas																									
<b>ETAPA DE EVALUACION Y RESULTADOS</b>																									
toma de muestras a aguas mieles finales																									
análisis de resultados																									
<b>INFORME FINAL</b>																									
entrega de informe final																									

Nomenclatura



:Actividades programadas ejecutadas

:Actividades programadas pendientes

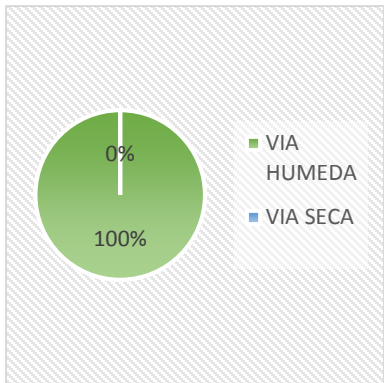
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Diagnóstico de la zona de estudio

Se realizó un sondeo previo a los habitantes de la vereda acerca de sus prácticas al momento de cosechar el café y el conocimiento que tenían sobre el tema del beneficio ecológico, este sondeo arrojó los siguientes resultados:

#### 1. ¿Tipo de beneficio utilizado en la finca?

**Grafico N° 1.** Frecuencia en el tipo de beneficio aplicado



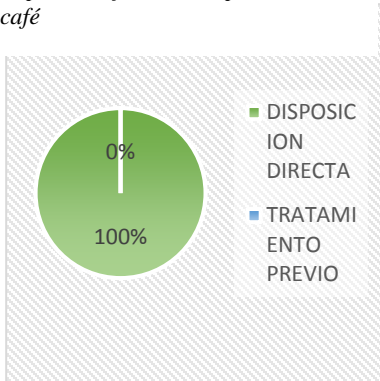
**Tabla 3.** Tipo de beneficio aplicado

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,5
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,70710678
Varianza de la muestra	0,5
Rango	1
Mínimo	0
Máximo	1
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo al gráfico se puede observar que el 100% de los encuestados manifestó aplicar el beneficio del café por vía húmeda.

## 2. ¿Cómo realiza usted la disposición final de las aguas mieles como subproducto del beneficio del café?

**Grafico N° 2.** Frecuencia en la disposición final de subproductos del café



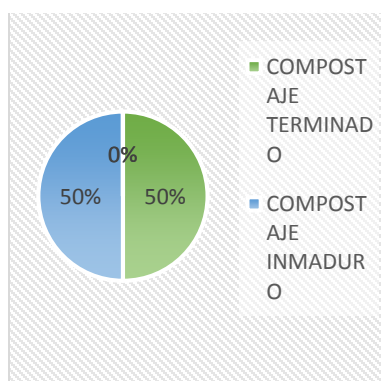
**Tabla 4.** Disposición final de subproductos

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,5
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,70710678
Varianza de la muestra	0,5
Rango	1
Mínimo	0
Máximo	1
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo al grafico se puede observar que el 100% de los encuestados indico que la disposición final de los subproductos del café los realiza por disposición directa a los cuerpos de agua, por ende, la comunidad no realiza ningún tipo de tratamiento al efluente.

## 3. ¿Realiza algún manejo sobre la pulpa del café como subproducto del beneficio?

**Grafico N° 3.** Frecuencia en el manejo de la pulpa



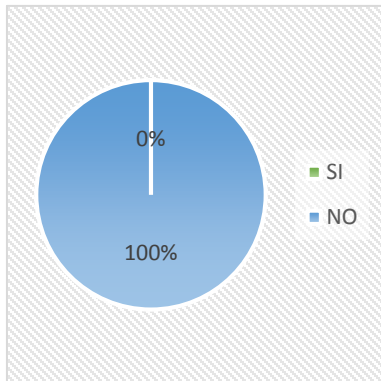
**Tabla 5.** Manejo de pulpa

Resumen estadístico	
Media	0,25
Error típico	0,14433757
Mediana	0,25
Moda	0,5
Desviación estándar	0,28867513
Varianza de la muestra	0,08333333
Curtosis	-6
Coefficiente de asimetría	0
Rango	0,5
Mínimo	0
Máximo	0,5
Suma	1
Cuenta	4

De acuerdo al grafico indica que el 50% de los encuestados realiza compostaje terminado, el restante 50% indica que realiza compostaje inmaduro, en conclusión, la disposición al cultivo se efectúa mediante una adecuada descomposición de materia orgánica.

**4. ¿Conoce usted el volumen de agua utilizado en los procesos de despulpado y lavado del café cereza**

**Grafico N° 4.** Frecuencia en el volumen de agua utilizada



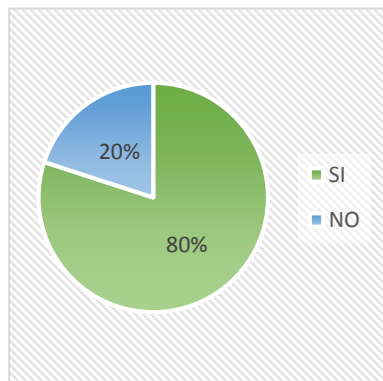
**Tabla 6.** Caudal de beneficio utilizado

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,5
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,70710678
Varianza de la muestra	0,5
Rango	1
Mínimo	0
Máximo	1
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo al grafico el 100% de los encuestados manifestó no conocer el volumen de agua utilizada en los procesos de despulpado y lavado del café cereza, proceso obtenido a través de la fermentación.

**5. En caso de que los residuos líquidos del beneficio no sean tratados, ¿estaría interesado en la instalación de un filtro de aguas mieles en su predio?**

**Grafico N° 5.** Frecuencia en el interés de la instalación



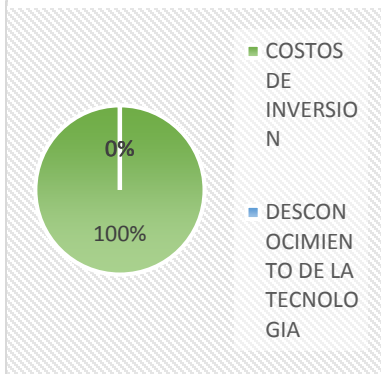
**Tabla 7.** Interés de instalación del filtro en las fincas

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,3
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,42426407
Varianza de la muestra	0,18
Rango	0,6
Mínimo	0,2
Máximo	0,8
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo al gráfico el 80% de los encuestados están de acuerdo en la instalación de un filtro para tratamiento de aguas mieles, mientras que un 20% no está de acuerdo con la instalación del filtro.

### 5.1. ¿En caso de NO estar interesado indique la razón?

**Gráfico N° 6.** Frecuencia en el desinterés de la instalación



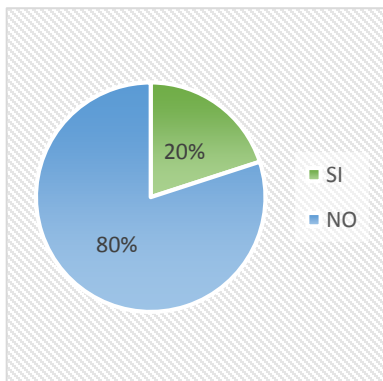
**Tabla 8.** Desinterés de la instalación del filtro en las fincas

Resumen estadístico	
Media	0,05
Error típico	0,05
Mediana	0
Moda	0
Desviación estándar	0,1
Varianza de la muestra	0,01
Curtosis	4
Coefficiente de asimetría	2
Rango	0,2
Mínimo	0
Máximo	0,2
Suma	0,2
Cuenta	4

En relación con lo anterior el 100% de los que no estuvieron de acuerdo, indicaron que su razón se debía a los altos costos de inversión de la instalación

### 6. ¿En algún momento recibió capacitación sobre el tema por parte de alguna entidad pública?

**Gráfico N° 7.** Frecuencia en la capacitación por entidad pública



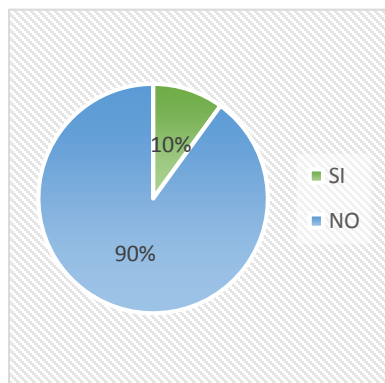
**Tabla 9.** Capacitación por entidad pública

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,3
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,42426407
Varianza de la muestra	0,18
Rango	0,6
Mínimo	0,2
Máximo	0,8
Suma	1
Cuenta	2

A partir de la información se encontró que el 80% de los encuestados manifestó no recibir capacitación de una entidad pública, el otro 20% indico recibir capacitación en algún momento por parte del comité de cafeteros del Tolima y la corporación autónoma regional.

**7. ¿Conoce la tarifa retributiva correspondiente al vertimiento de agentes contaminantes a un recurso hídrico?**

**Grafico N° 8.** Frecuencia tasa retributiva por vertimiento



**Tabla 10.** Conocimiento tasa retributiva

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,4
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,56568542
Varianza de la muestra	0,32
Rango	0,8
Mínimo	0,1
Máximo	0,9
Suma	1
Cuenta	2

Al realizar el análisis de información, se encontró que el 90% la población encuesta no tiene conocimiento sobre la tarifa retributiva que establece la corporación autónoma sobre el vertimiento puntual de efluentes a cuerpos de agua superficiales por otro lado, el 10% indico conocer la tarifa y remediar la problemática.

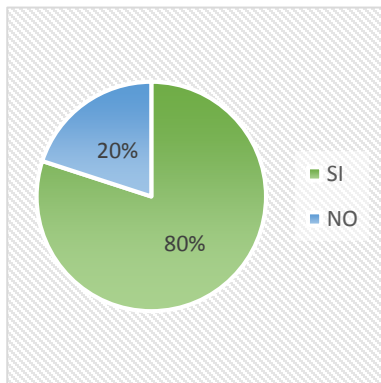
Según el Decreto 2667 de 2012 establece en el capítulo IV el cálculo de la tarifa de la tasa retributiva por vertimientos puntuales, en su artículo 15 especifica la tarifa mínima de la tasa retributiva (Tm). El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible establecerá anualmente mediante resolución, el valor de la tarifa mínima de la tasa retributiva para los parámetros sobre los cuales se cobrara dicha tasa, basado en los costos directos de remoción de los elementos, sustancia o parámetros contaminantes presentes en los vertimientos líquidos, los cuales forman parte de los costos de recuperación del recurso afectado.

Asimismo el artículo 211 de la ley 1450 de 2011, modifíco y adiciono el artículo 42 de la ley 99 de 1993, así:

Parágrafo 1°. Las tasas retributivas y compensatorias se aplicaran incluso a la contaminación causada por encima de los límites permisibles sin perjuicio de la imposición de medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar. El cobro de esta tasa no implica bajo ninguna circunstancia la legalización del respectivo vertimiento. Decreto 2667 de 2012

**8. Se encuentra asociado a alguna cooperativa u organización quien le presta la asistencia técnica al cultivo**

**Grafico N° 9.** Frecuencia en asistencia técnica



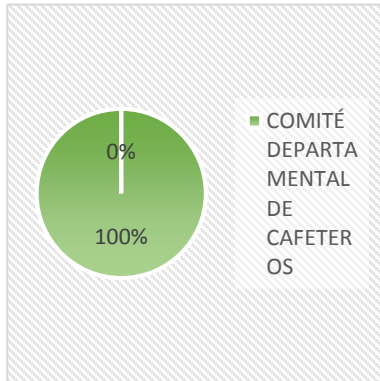
**Tabla 11.** Recibe asistencia técnica

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,3
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,42426407
Varianza de la muestra	0,18
Rango	0,6
Mínimo	0,2
Máximo	0,8
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo a la gráfica el 80% de la población encuestada indico que recibe asistencia técnica por parte del extensionista zonal del comité de cafeteros, el otro 20% de los encuestados manifestó no recibir asistencia técnica de ninguna organización.

**8.1.¿A cuál cooperativa u organización se encuentra asociado el productor para la valoración técnica de las cosechas?**

**Grafico N° 10.** Tipo de asistencia técnica recibida



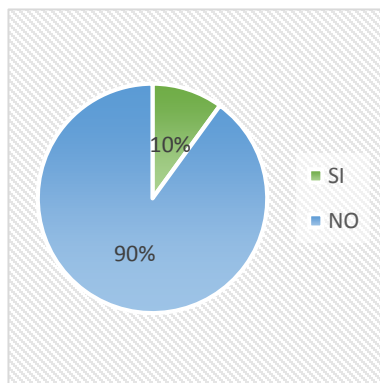
**Tabla 12.** Tipo de asistencia técnica recibida

Resumen estadístico	
Media	0,4
Error típico	0,4
Mediana	0,4
Desviación estándar	0,56568542
Varianza de la muestra	0,32
Rango	0,8
Mínimo	0
Máximo	0,8
Suma	0,8
Cuenta	2

En vista a que la mayor parte de los encuestados manifestó recibir asistencia técnica por parte de alguna organización, se corrobora que el 100% de los encuestados indico obtener los servicios técnicos del comité departamental de cafeteros para asesoramiento de las cosechas

**9. ¿Es beneficiario de algún sello o certificado de calidad en cafés especiales?**

**Grafico N° 11.** Frecuencia en el tipo de sello o certificado



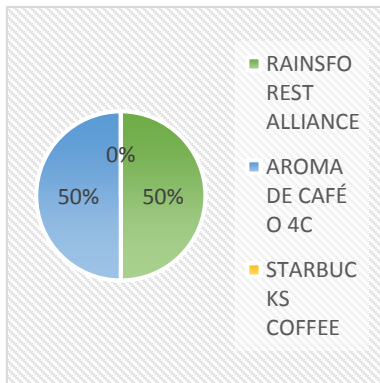
**Tabla 13.** Sello de calidad o certificación

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,4
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,56568542
Varianza de la muestra	0,32
Rango	0,8
Mínimo	0,1
Máximo	0,9
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo a la gráfica el 90% de los encuestados indico ser beneficiario de un sello y certificado de calidad en cafés especiales, los cuales le garantizan un mejor precio y la sostenibilidad del grano en el mercado extranjero.

### 9.1.¿Indique el sello o certificado que posee en este momento?

**Grafico N° 12.** Tipo de sello o certificado preferente



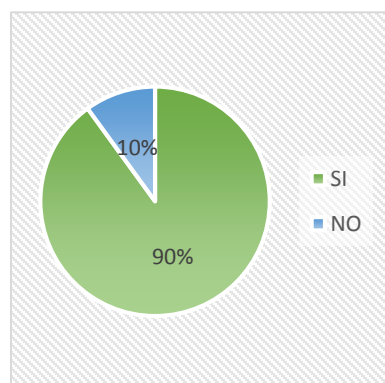
**Tabla 14.** Tipo de sello o certificado preferente

Resumen estadístico	
Media	0,06666667
Error típico	0,03333333
Mediana	0,1
Moda	0,1
Desviación estándar	0,05773503
Varianza de la muestra	0,00333333
Coefficiente de asimetría	-1,73205081
Rango	0,1
Mínimo	0
Máximo	0,1
Suma	0,2
Cuenta	3

De acuerdo al anterior grafico un 10% indico poseer un sello y/o certificado de calidad para la comercialización de su producto, a partir de esta información se encontró que la participación del certificado Rainforest Alliance fue de un 50% y el otro 50% lo obtuvo el sello Aroma de Café 4C, finalmente se observa una escasa oferta de certificación.

### 10. ¿Considera que con el tipo de beneficio implementado en la finca está contaminando los cuerpos de agua y el suelo?

**Grafico N° 13.** Contaminación agua y suelo



**Tabla 15.** Reconocimiento de contaminación a suelo y agua

Resumen estadístico	
Media	0,5
Error típico	0,4
Mediana	0,5
Desviación estándar	0,56568542
Varianza de la muestra	0,32
Rango	0,8
Mínimo	0,1
Máximo	0,9
Suma	1
Cuenta	2

De acuerdo a la gráfica el 90% de la población indico implementar contaminación en los cuerpos de agua y suelo, por otra parte, el 10% de los encuestados indicaron realizar prácticas para mitigar la contaminación recaudada en las fuentes hídricas superficiales, es decir, desistieron de realizar el despulpado con agua y la fermentación, implementando el beneficio ecológico y reduciendo el volumen de agua por kilogramo de café pergamino seco.

## **ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL MUESTREO INICIAL Y FINAL**

### **Análisis muestreo 1**

El pH de la muestra se encuentra en 3,7 lo que al compararlo con los parámetros indicados en el decreto 1594 es bajo debido esto a que el proceso que se está implementando es nuevo y no se ha realizado totalmente la fermentación de los sustratos con los que cuenta el fruto. La acidez en gran parte es dada por la composición natural del mucilago de café.

Los sólidos suspendidos totales indican la cantidad de solidos que se encuentran inmersos dentro de las aguas mieles, ya que las bacterias utilizan los componentes dentro del mismo para generar sus procesos metabólicos. Entre los compuestos se pueden contar, carbohidratos, gomas, grasas, proteínas, entre otros; tales compuestos en este punto del análisis todavía no han sido metabolizados por las bacterias debido en parte al tiempo de contacto el cual ha sido mínimo, razón por la cual se encuentran en gran cantidad todavía suspendidos en las aguas mieles, según el análisis en la muestra se encuentran a razón de 55,9 ppm pero la norma indica un nivel menor a 10 ppm, entre menor sea la cantidad de solidos suspendidos, mayor será la eficiencia de la

fermentación ya que se evidencia que las bacterias están convirtiendo los compuestos inmersos en la muestra.

En cuanto a la demanda química de oxígeno esta es la cantidad de este elemento que es usado por cuenta de las reacciones de oxidación de los componentes propios del agua miel, ya que la implementación de este proceso es nuevo se espera que la remoción del oxígeno sea superior al 50 % con respecto a una muestra final que se toma a la salida del filtro de aguas mieles. En la muestra inicial se observa una concentración de 445,2 ppm de oxígeno; su comparación con la muestra final debe ser inicialmente mayor al 50% indicando que el proceso de filtrado es eficiente.

La demanda bioquímica de oxígeno indica la cantidad de este elemento que es utilizado por las bacterias en los procesos fermentativos de los compuestos dispersos en las aguas mieles. Ya que el proceso de filtrado es nuevo y aun no se están utilizando EM, este valor en el análisis fue de 261,5 ppm, al comparar el valor inicial de DBO con respecto a una muestra de aguas después del filtro, se debe determinar que la remoción sea mayor al 30% indicando que el proceso es eficiente y se está produciendo efectivamente una fermentación de los sólidos en suspensión dentro de la muestra.

### **Análisis muestreo 2**

Para el segundo análisis que se registró de aguas mieles, este se realizó a la salida del dispositivo después que se hizo el proceso de filtrado, para lo cual se tomaron nuevamente tres muestras a las cuales se les hizo el mismo tratamiento de homogenización que a las primeras; los resultados de estos se observan en la **tabla 2**. Se analiza que la demanda química de oxígeno a la salida del tanque fue de 215,50 mg/l de O<sub>2</sub> indicando esto que se removió más del 50% de la carga orgánica

por efecto del filtro en comparación con la descarga inicial del tanque tina antes de la llegada al filtro, indicando esto que el proceso de filtrado cumple y que se encuentra enmarcado dentro de los parámetros del Decreto 1594 /84 en su artículo 73 el cual establece la norma para los vertimientos hacia un alcantarillado de los desechos domésticos para un usuario existente. En el caso de la demanda biológica de oxígeno se puede analizar que está a la salida del tanque fue de 112, 56 mg/l de O<sub>2</sub> indicando esto que se generó una disminución también de más del 50% en cuanto al mencionado parámetro siendo esto evidencia del funcionamiento del filtro y que también este se amolda a lo estipulado en el respectivo decreto.

## **CONCLUSIONES**

Del proyecto aplicado se puede concluir lo siguiente:

- La caficultura se convirtió en un eslabón importante de la economía colombiana, pues abrió paso a nuevos mercados, pero fue la principal causante de problemáticas ambientales que contribuyeron al deterioro del recurso hídrico.
- Los caficultores fueron receptivos frente a la idea de instalar filtros primarios para tratamiento de aguas mieles producidas durante el beneficio húmedo del café; la perspectiva que asumen al caso durante el sondeo de opinión, consiste en que posiblemente traerá ventajas para la biodiversidad ecológica de la región, mayor fertilidad a los suelos y un mejor ingreso al aplicar las buenas prácticas de beneficio en sus fincas, así como alcanzar sellos de calidad y certificación, al igual que mejorar la convivencia de la comunidad.
- Se puede identificar por medio de los parámetros registrados en el análisis de laboratorio que los índices de acidez del agua miel son bastante bajos (3.70) unidades, en

comparación con lo indicado en la normativa vigente (5-9) unidades. Esto se puede deber al hecho que la ubicación del predio puede hacer que el fruto por naturaleza tenga estos valores de pH, los cuales pueden ser corregidos por vía química con hidróxido de calcio o biológica con la incorporación de materia orgánica cuya aplicación no afectaría la calidad del café especial.

- Finalmente, al realizar un estudio comparativo de los resultados en los análisis de laboratorio de las aguas mieles antes y después del filtrado, se puede analizar que la carga orgánica que posee la muestra tanto en demanda química como en demanda biológica de oxígeno disminuyo en más de un 50% a la salida del filtro con lo cual se constata que el dispositivo de filtrado está funcionando y que la carga contaminante que se arroja al cuerpo receptor cumple con un sistema de tratamiento integral.

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fig. 26. Capacitación en BPB e instalación de

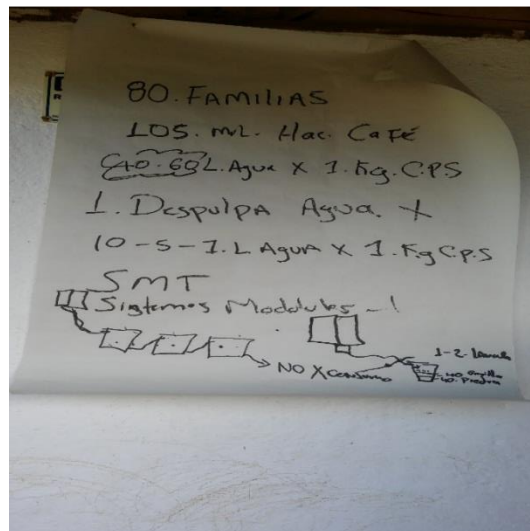


Fig. 27. Diseño del filtro primario

Fuente: El Autor



**Fig. 28.** Acompañamiento técnico ECOM  
Fuente: El Autor

Fuente: El Autor



**Fig. 29.** Beneficio húmedo del café  
Fuente: El Autor



**Fig. 30.** Fermentación natural del café  
Fuente: El Autor



**Fig. 31.** Malla plástica para filtro  
Fuente: El Autor



**Fig. 32.** *Tanque de polietileno 500 litros*  
Fuente: El Autor



**Fig. 33.** *Abertura para tubo de descarga 2''*  
Fuente: El Autor



**Fig. 34.** *Corte de tubo pvc 2''*  
Fuente: El Autor



**Fig. 35.** *Instalación llave de paso*  
Fuente: El Autor



**Fig. 36.** *Capa de piedra de 150 a 200 gramos*  
Fuente: El Autor



**Fig. 37.** *Aro de malla plástica*  
Fuente: El Autor



**Fig. 38.** Lectura de pH en cultivo  
Fuente: El Autor



**Fig. 39.** Lectura de pH en el efluente  
Fuente: El Autor



**Fig. 40.** Lectura de acidez de microorganismos eficientes  
Fuente: El Autor



**Fig. 41.** Aplicación de carbón activado al filtro  
Fuente: El Autor

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, M. (1999). El beneficio ecológico del café en Colombia. 117-143. Recuperado el 03 de junio de 2017 de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/viewFile/2370/1671>
- Cárdenas, C, J. (2000) *Evaluación de un sistema para el tratamiento de los lixiviados de pulpa y mucilago producidos en la tecnología becolsub, STL B*; Universidad de la sabana, Chía Cundinamarca, p 1-79. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <https://core.ac.uk/download/pdf/47068950.pdf>
- Cardona, J., & García, L. (2008). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces sobre la calidad del agua residual doméstica. Tesis, Pontificia universidad javeriana. Bogotá D.C. 1-159. Recuperado el 21 de octubre de 2017 de <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis204.pdf>
- Cortina, H., Moncada, M., & Herrera, J. (2012). Variedad castillo preguntas frecuentes. Avances técnicos Cenicafé 426. ISSN-0120-0178. Colombia, Caldas, Manizales, 1-12. Recuperado el 20 de octubre de 2017 de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04261.pdf>
- Caicedo, J. (2016). Muestreo de aguas residuales. COLOMCOB en el rio fucha, en la localidad de San Cristóbal sur. Recuperado el 21 de octubre de 2017 de <https://www.youtube.com/watch?v=HIUmQEw2uLo>

Minambiente (2012). Decreto 2667 de 2012. Recuperado el 21 de octubre de 2017 de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec\\_2667\\_2012.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_2667_2012.pdf)

FNC (2010). *Historia del café*. Párr. 1. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el\\_cafe\\_de\\_colombia/una\\_bonita\\_historia/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/una_bonita_historia/)

FNC (2010). *Economía Institucional del café*. Párr. 2. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/mucho\\_mas\\_que\\_una\\_bebida/economia\\_institucional\\_del\\_cafe/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/mucho_mas_que_una_bebida/economia_institucional_del_cafe/)

Ideam (1997). Laboratorio de química ambiental Ideam. Recuperado el 21 de octubre de 2017 de [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Toma\\_De\\_Muestras.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm)

Mejía, G., & et al. (1997). Desarrollo de la tecnología BECOLSUB para el Beneficio ecológico del café, 1-8. Recuperado el 03 de junio de 2017 de <http://www.jotagallo.com/agricola/assets/cenicafe-avance-tecnico-238-becolsub.pdf>

Merli, F & Ricciuti, N. (2009). *Microbiología de las aguas residuales-aplicación de biosólidos en suelo*, P. 1-25. Recuperado el 28 de abril de 2017 de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/sem\\_fi\\_qui\\_micrb\\_09/biosolidos\\_en\\_suelo.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/sem_fi_qui_micrb_09/biosolidos_en_suelo.pdf)

Minambiente (s.f) *Tasa retributiva por vertimientos puntuales*. Recuperado el 27 de mayo de 2017 de

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1434-plantilla-negocios-verdes-y-sostenibles-51>

Minambiente y Desarrollo Rural. (2012) Decreto Número 2667 del 21 de diciembre de 2012, p.1-15. Recuperado el 01 de junio de 2017 de

[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec\\_2667\\_2012.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_2667_2012.pdf)

Moreno, N., & Romero, A. (2016). *Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras*. Universidad de Manizales; 2016. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de

[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2620/Moreno\\_Nidia\\_2016.pdf?sequence=1](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2620/Moreno_Nidia_2016.pdf?sequence=1)

Muñoz, L. (2014). Ensayos sobre economía cafetera. CENICAFE, 1-125. Editorial. Caficultura sostenible, moderna y competitiva. Recuperado el 16 de agosto de 2017 de

<https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/EEC30.pdf>

NTC-ISO 5667-10. (1995). Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Muestreo de aguas residuales. Recuperado el 21 de octubre de 2017 de

<https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-ISO5667-10.pdf>

Nestlé (2004). Código común para la comunidad cafetera, ver 9: 9 de septiembre de 2004, p.1-32.

Recuperado el 02 de junio de 2017 de <http://www.empresa.nestle.es/cat/llibreria-documents/Documents/publicacions/codigo-comun-comunidad-cafetera.pdf>

Rodríguez, N., & et al. (2015). Beneficio del café en Colombia. CENICAFE; 2015. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <http://www.cenicafe.org/es/publications/Beneficio-del-cafe-en-Colombia.pdf>

Rodríguez, N., & et al. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. CENICAFE, 2010. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <http://www.jotagallo.com/agricola/assets/cenicafe-avance-tecnico-393-subproductos-del-cafe.pdf>

UTADEO (2013). *Economía cafetera y desarrollo económico en Colombia*. p. 1-29. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de [http://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field\\_attached\\_file/pdf-\\_economia\\_cafetera-\\_web-\\_pag-\\_24-09-15\\_0.pdf](http://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-_economia_cafetera-_web-_pag-_24-09-15_0.pdf)

Velasco, V., & et al. (1997). *Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café*, 48(4): p.234-252; CENICAFE, Chichina Colombia. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048\(04\)234-252.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/67/1/arc048(04)234-252.pdf)

Zambrano, D., & et al. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales del Lavado del Café*. Boletín técnico N°20. CENICAFE, Chinchiná-Caldas, p.1-30. Recuperado el 28 de abril de 2017 de <http://www.cenicafe.org/es/publications/bot020.pdf>

Zambrano, D., & et al. (2006). *Tratamiento anaeróbico de las aguas mieles del café*. Boletín técnico N°29, p.1-28; CENICAFE, Chinchiná-Caldas-Colombia. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <http://www.cenicafe.org/es/publications/bot029.pdf>