

**Prácticas agrícolas sostenibles para el manejo de subproductos del beneficio del café en la
vereda el Carmen, corregimiento Villacarmelo, Santiago de Cali**



Arley Octavio Lopera Mena

Universidad del Valle

Facultad de ingeniería

Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del ambiente

Programa académico de ingeniería agrícola

Santiago de Cali, Valle del Cauca

Febrero de 2024



**Prácticas agrícolas sostenibles para el manejo de subproductos del beneficio del café en la
vereda el Carmen, corregimiento Villacarmelo, Santiago de Cali**

Arley Octavio Lopera Mena

Director:

Aldemar Reyes Trujillo

Ing. Agrícola, M sc. Dr. Ing.

Universidad del Valle

Facultad de ingeniería

Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del ambiente

Programa académico de ingeniería agrícola

Santiago de Cali, Valle del cauca

Febrero de 2024

DEDICATORIA

Esta dedicación va para mi madre Rosa Mena y mi padre Octavio Lopera quienes a través de los años me han enseñado, alentado y apoyado incondicionalmente. Siempre han estado para celebrar mis triunfos y que aprenda de mis fracasos. Esto es un logro también de ellos por todo el tiempo que se han esforzado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad del Valle por permitir formarme y generar una visión crítica desde al ámbito académico y social, Agradezco a el ingeniero Aldemar Reyes mi director de trabajo de grado, a los demás docentes, educadores y programa de ingeniería agrícola por compartir sus conocimientos y valores, y que han contribuido en todo este proceso como profesional. Por último. Por último, agradezco a familiares y amigos que me han apoyado, alegrado y siempre impulsado a continuar este proceso.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Planteamiento del Problema.....	2
2.1 Preguntas.....	2
3. Justificación.....	3
3.1 Pregunta	4
4. Objetivos.....	4
4.1 Objetivo General	4
4.2 Objetivos Específicos.....	4
5. Marco Referencial	5
5.1 Antecedentes	5
5.2 Marco Contextual.....	7
5.3 Marco Conceptual.....	8
5.3.1 Generalidades del Café	8
5.3.2 Fruto del Café	9
5.3.3 Beneficio húmedo de café.....	10
5.3.4 Proceso de Fermentación	12
5.3.5 Pulpa de Café	12
5.3.6 El mucílago	12
5.3.7 Digestión Anaeróbica.....	12
5.3.8 Compost	14
5.3.9 Lombricompost.....	15
5.3.10 Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico (SMTA)	15
5.3.11 Legislación Colombiana	17
6. Metodología.....	18
6.1 Localización	19
6.2 Recolección de información.....	19
6.3 Encuesta a caficultores.....	20
6.4 Integración Social de Conocimientos.....	21
7. Resultados y Discusiones.....	21
7.1 Fincas Cafeteras del Carmen	21
7.1.1 Finca La Cosmo	22

7.1.2	<i>Reserva Natural Aranyay</i>	24
7.1.3	<i>Reserva Bosque Colibrí</i>	26
7.1.4	<i>Finca Oasis del Barranquero</i>	30
7.1.5	<i>Finca Pekus</i>	33
7.1.6	<i>Finca San Antonio</i>	36
7.1.7	<i>Finca El Topacio</i>	38
7.1.8	Estado Actual de la Vereda El Carmen	41
7.2	Alternativas para los caficultores	42
7.2.1	Biodigestor	42
7.2.2	Lombricompostaje	44
7.2.3	Filtro Fitopedológico	44
7.3	Recomendaciones Fincas Cafeteras del Carmen.	45
7.4	Socialización a los caficultores.	46
8.	Conclusiones	48
9	Referencias	49
10	Anexos	53

Lista de Tablas

Tabla 1 Antecedentes relacionados con la pulpa y el mucílago de café	5
Tabla 2 Normativa ambiental colombiana	17
Tabla 3. Encuesta dirigida a los caficultores.....	20
Tabla 4. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la finca la Cosmo.....	23
Tabla 5. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la Finca Aranyay	26
Tabla 6. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la Reserva Colibrí.....	30
Tabla 7. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la finca Oasis del Barranquero.....	33
Tabla 8. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la finca Pekus	35
Tabla 9. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la finca San Antonio.....	38
Tabla 10. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio en la finca El Topacio	41
Tabla 11. Datos observados del estado actual de los subproductos del beneficio en la Vereda el Carmen, Corregimiento Villacarmelo.	42
Tabla 12. Costos para la implementación de un biodigestor para la obtención de biogás con la pulpa de café como sustrato.....	43
Tabla 13. Recomendaciones de alternativas para los cafeteros de la Vereda El Carmen.	45

Lista de Figuras

Figura 1. Adaptación; Producción mundial de café 2016-2021	7
Figura 2. Planta de Café, Fotografía Propia.....	9
Figura 3. Adaptación; partes del fruto del café.....	10
Figura 4. Tomado; despulpado de café con agua.....	11
Figura 5. Tomado; Despulpado de café sin agua.....	11
Figura 6. Tomado; Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos	13
Figura 7. Tomado; biodigestor de cúpula	14
Figura 8. Cama de lombricompostaje con materia prima ya transformada.	15
Figura 9. Tomado. Esquema del Sistema Modular de Tratamiento Anáerobico (SMTA)	16
Figura 10. Descripción de las actividades para desarrollar la metodología.	18
Figura 11. Zona de estudio, predios con cultivo de café, Vereda el Carmen.....	19
Figura 12. Beneficiadero de la finca La Cosmo.	22
Figura 13. Depósito de la Pulpa de café, finca La Cosmo.....	22
Figura 14. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la finca la Cosmo.	23
Figura 15. Beneficiadero de la Finca Aranyay.	24
Figura 16. Fosa de la Reserva Aranyay	25
Figura 17. Compostera Reserva Aranyay	25
Figura 18. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Reserva Aranyay.....	26
Figura 19. Beneficiadero de la Reserva Bosque Colibrí.....	27
Figura 20. Fosa de la Reserva Bosque Colibrí.....	27
Figura 21. Proceso de lombricompostaje Reserva Bosque Colibrí.....	28
Figura 22. Sistema de filtro fitopedológico de la Reserva Bosque Colibrí.....	28
Figura 23. Lago de peces con aguas tratadas de la Reserva Bosque Colibrí.	29
Figura 24. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Reserva Bosque Colibrí.	30
Figura 25. Beneficiadero de la finca Oasis del Barranquero	31
Figura 26. Secadero de café de la finca Oasis del Barranquero.....	32
Figura 27. Pulpa de café deshidratada en la finca Oasis del Barranquero	32
Figura 28. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca Oasis del Barranquero.....	33
Figura 29. Beneficiadero de la Finca Pekus.....	34
Figura 30. Fosa de la pulpa de la finca Pekus.....	34
Figura 31. Tarros de lixiviados de la pulpa de café en la Finca Pekus	35
Figura 32. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca Pekus.....	35
Figura 33. Beneficiadero de café finca San Antonio.	36
Figura 34. Fosa de la pulpa de la finca San Antonio	37
Figura 35. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca San Antonio.	38
Figura 36. Despulpadora de café en la finca el Topacio	39
Figura 37. Tinajas usadas para la recolección de la pulpa en la finca el Topacio.	39
Figura 38. Sitio final de disposición de la pulpa en la finca el Topacio	40

Figura 39. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca El Topacio.....	41
Figura 40. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café General.	42
Figura 41. Tomado. Biodigestor de 400 L para producción de biogás con pulpa de café como sustrato..	43
Figura 42. Filtro fitopedológico como sistema para la descontaminación de aguas con mucilago	45
Figura 43. Socialización de las prácticas agrícolas para el manejo de los subproductos del café a los caficultores del Corregimiento Villacarmelo.	47

Lista de Anexos

Anexo 1. Formato de encuesta realizada a los caficultores de la Vereda el Carmen.....	54
Anexo 2. Presentación para la capacitación a los caficultores de la vereda el Carmen.....	54
Anexo 3. Evidencia fotográfica de visitas a campo.....	55
Anexo 4. Plegable generado como fortalecimiento de la integración social de conocimientos.....	56

Resumen

El cultivo de café genera 2 subproductos al momento de procesamiento cuando se realiza en el beneficio húmedo, estos son la pulpa y mucílago, los cuales son altamente contaminantes para el suelo y fuentes hídricas si no se cuenta con un apropiado manejo. En la presente investigación se tuvo como finalidad diseñar prácticas agrícolas sostenibles para el manejo de los subproductos del beneficio del café, para esto se identificaron 7 fincas cafeteras ubicadas en la vereda El Carmen, Corregimiento Villacarmelo zona rural de Cali, las cuales se les realizó un análisis de los protocolos de manipulación de postcosecha y diagnóstico de conocimiento de los caficultores mediante una visita de campo y una encuesta. Con los datos recolectados se plantearon alternativas para ser implementadas en cada predio, además, se realizó un proceso de integración social de conocimientos donde se compartió las diferentes alternativas propuestas. En la socialización se pudo percibir un interés de los propietarios por este tipo de información, se pudo notar que a nivel general los propietarios son conscientes de los riesgos ambientales que generan estos subproductos del beneficio de café, sin embargo, solo 2 caficultores de los 7 identificados cuenta con un sistema de manipulación integral adecuado para el procesamiento del café y sus subproductos. En este sentido, el uso de biodigestores, lombricompostaje, y los filtros fitopedológicos, son las alternativas recomendadas para el tratamiento de los subproductos del beneficio del café, gracias a que presentan facilidad de instalación y su valor de inversión puede ser asequible para el pequeño caficultor. Este sistema de tratamiento de los subproductos del café permite reducir el costo de producción, fertilización, y ayuda a disminuir la contaminación asociada a la producción del grano, todo esto mediante un sistema de economía circular.

Palabras Clave: Beneficio, pulpa de café, mucílago de café, biodigestor, lombricompostaje, filtro fitopedológico, integración social de conocimientos.

1. Introducción

El café es una de las bebidas no alcohólicas más populares y se consume en todo el mundo, siendo el segundo producto más vendido a nivel mundial después del petróleo. Más de 70 países producen café; sin embargo, la mayor parte de la oferta proviene de Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, Honduras, Etiopía e India (Alemán et al, 2019; Kassahun, 2021). La producción global de café en el año cafetero 2022-2023 alcanzó los 167.07 millones de sacos de 60 kg. Brasil lideró la producción mundial, con Vietnam y Colombia ocupando el segundo y tercer lugar respectivamente (Federación Nacional de Cafeteros, 2023).

La industria de café es reconocida como uno de los pilares fundamentales de la economía de Colombia, el sector cafetero contribuye con el 15% del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola del país. Más de 545 mil familias rurales dependen de esta industria, la cual genera más de 2,5 millones de empleos, tanto directos como indirectos. (MADR, 2020). En el 2019 Colombia terminó con una producción de 14.8 millones de sacos de 60 kg de café, esta cifra es 8.8% superior al año anterior. Las exportaciones experimentaron un crecimiento del 7,2%, alcanzando los 13.9 millones de sacos, en comparación con los 12.8 millones de sacos del año anterior. Por otro lado, el consumo interno se mantuvo constante, con 1.8 millones de sacos. (FNC, 2020).

El café es el cultivo más extenso en Colombia, según La Federación Nacional de Cafeteros (2015), el área cultivada abarca 948 mil hectáreas, lo que representa el 19% de la superficie agrícola del país. Este cultivo tiene la mayor representación entre todos los cultivos registrados. De esta extensión, el Valle de Cauca contribuye con 51 mil hectáreas.

Antes de llegar a la etapa de café pergamino seco, que es el producto que se exporta, el café debe pasar por varias etapas, incluyendo la recolección, transporte, despulpado, fermentación, lavado, secado y almacenamiento. El fruto maduro del café, conocido como café cereza, es altamente perecedero una vez cosechado, por lo que debe ser rápidamente transformado en café pergamino seco (con un contenido de humedad entre el 10 y el 12%) para preservar su alta calidad intrínseca. El proceso de transformación del fruto del café (cereza) en semilla (café pergamino seco) se conoce como “beneficio” y se denomina “húmedo” debido al uso de agua para lavar la semilla. El lugar donde se realizan de manera ordenada e higiénica las operaciones y procesos para transformar la cereza del café en café pergamino seco se conoce como “beneficiadero” (Rodríguez et al., 2015).

La pulpa y el mucílago de café contienen materiales orgánicos, que por procesos normales en presencia de oxígeno tienden a degradarse, estos al entrar en contacto con el agua se lavan, constituyéndose en las fuentes de contaminación más importantes en las zonas productoras de café en la época de cosecha. La contaminación potencial expresada en Demanda Química de Oxígeno (DQO) por cada kilogramo de café en cereza que se convierte a café seco es de 115.1 gO₂/Kg. (Zambrano e Isaza, 1998; Rodríguez, 2009)

Algunas prácticas culturales utilizadas en cultivo de café situados en cercanía del PNN Farallones de Cali pueden generar subproductos con riesgo potencial contaminante para el suelo y las fuentes hídricas, por lo que, se debe garantizar que productos contaminantes como la pulpa y el mucílago de café tengan una adecuada disposición final, que evite la contaminación de los cuerpos de agua y los suelos de la región. En este sentido, es importante diagnosticar cuáles son los protocolos actuales de los caficultores para el manejo de la pulpa y el mucílago del café, si son eficientes y adecuados para la zona en que se encuentran, o se requiere buscar otros

protocolos alternos que puedan suplir la necesidad y garantizar que la pulpa y el mucílago no serán agentes contaminantes.

2. Planteamiento del Problema

Hoy en día, el café pergamino seco es uno de los productos más consumidos a nivel mundial. Esta gran demanda ha llevado a la expansión masiva de su cultivo en zonas tropicales y subtropicales. Como resultado de esta expansión y el proceso de beneficio húmedo el grano en su postcosecha, se generan grandes cantidades de residuos, siendo la pulpa y el mucílago (agua mieles) los subproductos principales. El manejo inadecuado de estos subproductos puede tener impactos negativos significativos en el ecosistema cafetero, afectando el aire, el suelo y el agua (Rodriguez, 2009).

La pulpa y el mucílago de café son subproductos que se generan durante el proceso de producción del café. Estos subproductos contienen materiales orgánicos que, al entrar en contacto con el agua, se disuelven y pueden convertirse en fuentes importantes de contaminación en las zonas productoras de café durante la época de cosecha. El mucílago del café puede provocar un aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en ríos y embalses por encima de 2500 mgO₂/L. (Cervantes et al, 2015). Existen alternativas para el manejo de los subproductos del café, muchas de ellas son insuficientes, ya que pueden llegar a ser costosas, no rentables o desconocidas para los caficultores.

Actualmente en Cali se encuentran cultivos de café en varios corregimientos aledaños al Parque Nacional Natural Farallones de Cali; debido al manejo no adecuado de la pulpa y el mucílago de café se han generado problemas de contaminación en las diferentes cuencas hidrográficas del municipio de Cali.

En la vereda el Carmen ubicada en el municipio de Cali, esta problemática no es ajena, algunos caficultores no cuentan con protocolos sostenibles, para el manejo adecuado de la pulpa y el mucílago de café, arrojando directamente al suelo y a las fuentes hídricas estos residuos.

2.1 Preguntas

¿Cuáles son los actuales protocolos que los caficultores de la vereda el Carmen implementan para el manejo de la pulpa y el mucílago de café?

¿Qué alternativas sostenibles existen para el manejo sostenible de la pulpa y el mucílago del café?

¿Por qué los caficultores de la Vereda el Carmen deben conocer las diferentes alternativas para el manejo sostenible de la pulpa y el mucílago del café?

3. Justificación

La demanda actual del consumo de café a nivel mundial obliga que países productores como Colombia, sean llamados a solventar las necesidades del mercado mundial. Por tal motivo, el crecimiento de la caficultura en Colombia es sinónimo de crecimiento económico; sin embargo, para lograr esto se deben establecer unas prácticas agrícolas sostenibles y protocolos para manejo de los subproductos del beneficio del café.

El método tradicional de procesamiento del café es el beneficio húmedo, que implica la extracción del grano de la pulpa, su fermentación, lavado, secado y preparación para la exportación y tostado. El beneficio húmedo se refiere al proceso de lavado de la semilla después de la fermentación. Este proceso es crucial para el productor ya que influye en el aroma y sabor del café. Además, el proceso húmedo genera residuos sólidos y aguas residuales con alto contenido de materia orgánica (Romero y Mamani, 2013). Los residuos sólidos constituyen el 60% de la fruta fresca e incluyen: pulpa, mucílago y cáscara; mientras que las aguas residuales se dividen en dos categorías principales: el agua de despulpado con un alto contenido de azúcar de fermentación rápida (agua de miel) y las aguas residuales producidas por las operaciones de procesamiento (Rattan et al., 2015). En el proceso de beneficio húmedo, se estima que se generan entre 11 y 15 litros de agua residual por cada kilogramo de café procesado. Por otro lado, el proceso de beneficio seco genera alrededor de 0.5 litros de agua residual por cada kilogramo de café procesado (Fernández et al., 2020).

El vertido de aguas mieles y pulpa en cuerpos de agua o suelo conlleva la adición de grandes volúmenes de materia orgánica. Esta materia es descompuesta por microorganismos que, para llevar a cabo este proceso, utilizan ciertas cantidades de oxígeno disuelto (Anacafé, 2014).

Para cada millón de sacos de café almendra de 60 kg que exporta Colombia, se producen 162.900 toneladas de pulpa fresca. Si no se manejan correctamente, estos residuos pueden causar una contaminación similar a la producida por las excretas y la orina de 868.736 personas durante un año. De manera similar, la exportación de café también genera 55.500 toneladas de mucílago fresco. Si no se gestiona adecuadamente, puede resultar en una contaminación comparable a la producida por las excretas y la orina de 310.000 personas en un año (Rodríguez y Zambrano, 2010).

Cada caficultor debe pagar por la recolección de la cereza del café, un aproximado de 500 a 800 mil pesos colombianos por cada 1000 kg, lo cual al momento del procesamiento del beneficio del café es una pérdida económica significativa, aproximadamente de 390 mil pesos colombianos por cada 1000 kg. Por tal motivo, es necesario que estos subproductos del café sean bien aprovechados para disminuir el costo de producción y/o volverlos generadores de utilidades económicas, así el caficultor obtendrá mayor rentabilidad. Además, el caficultor puede adquirir multas ambientales por no disponer adecuadamente de estos subproductos.

Se debe garantizar que los diferentes subproductos del cultivo de café no afecten el medio ambiente de manera negativa, por ende, deben existir alternativas suficientes y rentables para poder ser implementadas por los caficultores, además de establecer una línea de comunicación y de trabajo con los diferentes organismos ambientales para solucionar los problemas de contaminación que esta actividad agrícola genera.

3.1 Pregunta

¿Qué protocolos y alternativas sostenibles en el manejo de los subproductos del café se pueden adaptar en las unidades productivas de la vereda el Carmen, corregimiento Villacarmelo, Santiago de Cali?

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar prácticas agrícolas sostenibles para el manejo de los subproductos del beneficio del café en la vereda el Carmen ubicado en el municipio de Cali.

4.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar cuales son los actuales manejos de la pulpa y el mucílago por parte de los caficultores de la vereda el Carmen ubicada en el municipio de Cali.

Definir alternativas sostenibles de manejo para el procesamiento de los subproductos del café en la vereda el Carmen ubicado en el municipio de Cali.

Socializar los conocimientos con caficultores de la vereda el Carmen ubicada en el municipio de Cali para posible implementación.

5. Marco Referencial

5.1 Antecedentes

A continuación, en la tabla 1, se nombrarán investigaciones recientes, en las cuales se diferencia alternativas para reducir la contaminación por parte de la pulpa y el mucílago, subproductos obtenidos del beneficio del café.

Tabla 1. Antecedentes relacionados con la pulpa y el mucílago de café

Autor	País	Año	Título	Resultados
Rebecca J. Cole y Rakan A. Zahawi	Estados Unidos	2021	La pulpa de café acelera la sucesión temprana a bosques tropicales en viejos campos.	La adición de una capa de 0.5 m de profundidad de pulpa de café, cambio sustancialmente la química del suelo y aumento el contenido de nutrientes del suelo; además altero las características de cobertura de suelo, eliminando pastos, facilitando el brote de plantas herbáceas.
Julieta Estrada; Paulina Pedraza; Gilberto Yong; Francisca Avilés; Adolfo Rayas; Alejandra Solís; Manuel González; María Vázquez y Octavio Castelán.	México	2021	Efecto del aumento de los niveles de suplementación de pulpa de café en la producción de leche y el consumo de alimentos en vacas de doble propósito: un subproducto de alimentación alternativa para los sistemas lecheros de pequeños productores de regiones de clima tropical.	La ingesta de pulpa de café por parte de los bovinos no tiene efectos negativos sobre el rendimiento y composición de la leche, incluso la ingesta de 0.6 a 0.9 Kg/d de pulpa de café por parte de los bovinos podría aumentar el rendimiento de la leche.
Mauricio Hernández; Juan Sierra; Liliana Delgadillo; Julián Ávila y Laura Carranza	Colombia	2021	El potencial del biodigestor como herramienta útil en Fincas cafetaleras.	En este proceso utilizaron estiércol de ganado, porcino y mucílago de café como sustratos, con lo cual generaron una producción de biogás con concentraciones de 49.1% y 58.1% en volumen de metano, además, del biol generado como fertilizante para los cultivos.
Rosa Rodríguez; José Laencina y José Ros	España	2020	Evaluación de pulpa de café como sustrato para la producción de poligalacturonasa en fermentación en estado sólido.	La caracterización reveló alto contenido de nutrientes para crecimiento de hongos, como azúcares reductores (5,4 % de la pulpa seca), proteínas (9,4 % de la pulpa seca), pectinas (20,5 % de la pulpa seca), la cual la convierte en un buen sustrato para la producción de enzimas pécticas (poligalacturonasa). La pulpa fermentada es un buen material para la alimentación animal, fertilizante e ingrediente de compost.
Anastasia Loukri; Petroula Tsitlakidou; Athanasia Goula; Andreana Assimopoulou; Konstantinos Kontogiannopoulos	Suiza	2020	Extractos verdes de pulpa de café y su aplicación en el desarrollo de infusiones innovadoras	En este estudio se usaron soluciones acuosas de ciclodextrina, las cuales funcionan como sistemas solventes muy efectivos para la extracción de cafeína y ácido clorogénico con alta actividad antioxidante presente en la pulpa de café; el método de extracción dio como resultado bebidas alcohólicas y subproductos de café con

y Ioannis Mourtzinos.				atributos sensoriales modificados.
Mariana Valdespino; Georgina Calderón; María Salgado; Minerva Rentería; Reynold Farrera; Eduardo Morales; Víctor Gaona y Francisco Terrazas.	Holanda	2020	Películas de pectina biodegradables electropulverizadas: una alternativa para valorizar el mucílago de café	El mucílago de café es una buena alternativa como fuente de pectinas, debido a que su composición es diferente en comparación a las pectinas cítricas. Resulto contener una alta pectina de metoxilo. Por esto es factible su uso para diferentes aplicaciones en alimentos y la producción de películas y recubrimientos. Estas diferencias en su composición también promovieron cambios en sus propiedades mecánicas disminuyendo su modulo elástico.
David Orrego; Arley Zapata y Daehwan Kim	Suiza	2018	Optimización y ampliación de la fermentación del mucílago de café para la producción de etanol	El mucílago de café proporciono azúcares fermentables adecuados, principalmente glucosa. Se generó una concentración de etanol de 0.46 (g de etanol/ g de azúcares) con un valor teóricamente alcanzable del 90, para eso se obtuvo que la condición óptima para la fermentación microbiana es a 28 °C, pH 4.0 y concentración celular inicial de 3g/L. El rendimiento de etanol del mucílago del café es mayor que los resultados de otros residuos agroindustriales como el heno de cebada (0.3 g/g), paja de trigo (0.31 g/g).
Raghu Gurram; Mohammad Al-Shannag; Samuel Knapp; Tapas Das; Eric Singaas y Malek Alkasrawi	Alemania	2016	Posibilidades técnicas de producción de bioetanol a partir de pulpa de café: una materia prima renovable	Es posible producir etanol combustible a partir de pulpa de café basado en la conversión ácida, la fermentación y el procesamiento posterior. De acuerdo con los flujos de entrada, la viabilidad económica del proceso muestra que este proceso tiene un gran potencial y se requieren pasos adicionales para desarrollar varios aspectos del proceso.

En la tabla 1 se nombran investigaciones recientes de algunos países incluido Colombia, estas investigaciones son de los últimos 6 años y se demuestra que la pulpa y mucílago de café son relevantes en la actualidad y generan preocupación por su contaminación en el ecosistema; a pesar de que la caficultura es una actividad agrícola productiva, que cuenta con muchos años aún se siguen buscando alternativas rentables para el manejo de los subproductos del beneficio del café o adoptando tecnologías que mitiguen estos mismos residuos.

En Colombia desde 1938 contamos con uno de los centros de investigación en café, más grandes del mundo, Cenicafe, en el cual se han hecho y publicado diferentes investigaciones, implementado alternativas y/o prototipos para un adecuado manejo de los residuos del beneficio del café; desafortunadamente, gran parte de este conocimiento no ha tenido procesos de integración social con los caficultores o no es rentable para su ejecución.

5.2 Marco Contextual

El café ocupa el segundo puesto en exportaciones en el mundo, después del petróleo, siendo de gran importancia en el mercado mundial. Es uno de los principales productos agrícolas por su valor comercial produciendo ingresos anuales superiores a los 70 mil millones de dólares y dando empleos directos e indirectos a poco más de 20 millones de personas dedicadas al cultivo, transformación, procesamiento y comercialización del producto en todo el mundo (Chango y García, 2021).

De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros (2022), el año comprendido entre octubre de 2022 y septiembre de 2023 concluyó con una producción global de café pergamino seco (cps) de 167.07 millones de sacos de 60 kilos. La figura 1 muestra la producción anual de varios países desde 2016 hasta 2023, destacando Brasil como el principal productor con 59 millones de sacos. Colombia se sitúa en la tercera posición con una producción de 14 millones de sacos.

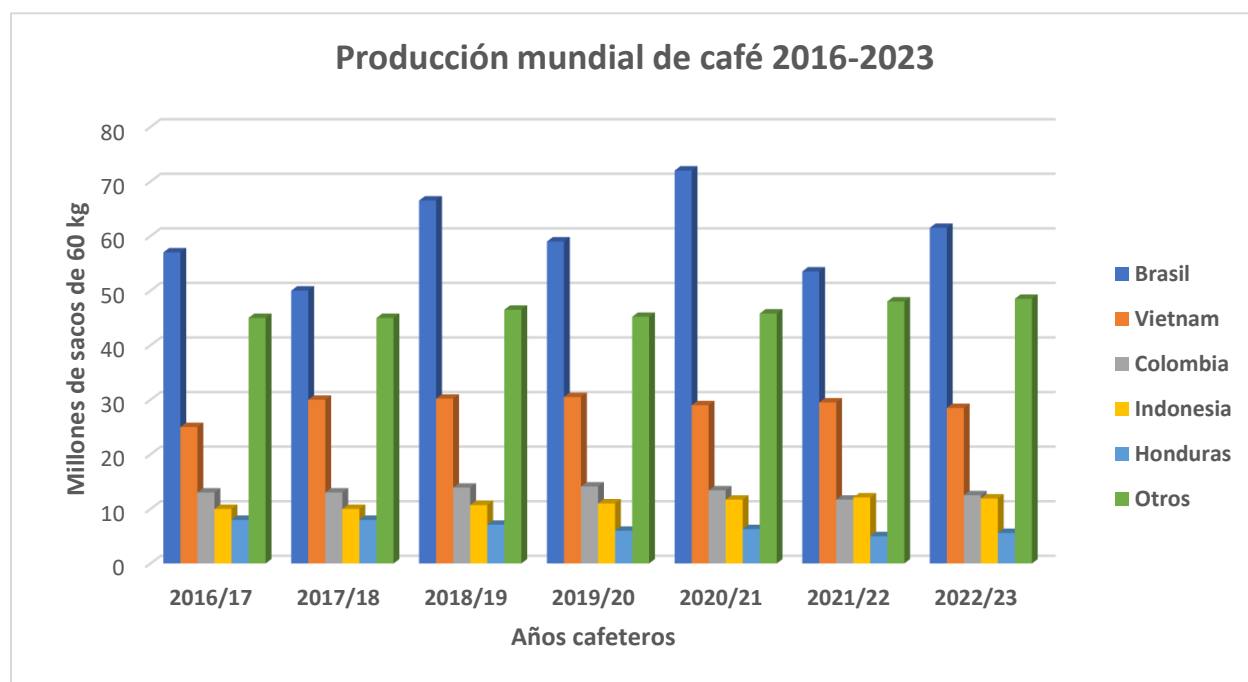


Figura 1 Adaptación; Producción mundial de café 2016-2023(FNC, 2023)

Aunque el precio del café está directamente influenciado por la interacción entre la oferta y la demanda, el hecho de que el café se comercie en la bolsa de Nueva York hace que el valor del dólar también tenga un impacto significativo en la determinación de su precio (FNC, 2015). Además, hay otros factores que pueden aumentar la volatilidad de los precios, como la especulación, las condiciones climáticas adversas y la escasez de producción (Pérez, 2006).

El cambio climático es un factor crucial en el cultivo del café. La producción anual de café está estrechamente ligada a las variaciones climáticas, ya que los factores climáticos influyen en el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo (Camargo, 2010). Un estudio realizado en Nicaragua, El Salvador, Guatemala y México predice que los cambios climáticos podrían tener un impacto severo; se estima que para el año 2050, las plantaciones de café en

estos países podrían perder entre el 20% y el 81% de su producción actual (ASIC, 2012). Además, las investigaciones sobre el impacto del cambio climático en la producción de café en Kenia para el año 2050 indican que las áreas con altitudes alrededor de 1200 m experimentarán una disminución en la producción de café, debido a la reducción de la precipitación en el mes más seco y el aumento de la temperatura mínima en el mes más frío (Haggar y Schepp, 2011).

El café en Colombia es un producto agrícola de gran relevancia, contribuyendo con el 15% del Producto Interno Bruto agrícola del país. Es uno de los cultivos más extendidos, ocupando aproximadamente 948 mil hectáreas repartidas en 22 departamentos. A pesar de esta extensión, la mayoría de las fincas cafeteras en el país no exceden las 1.5 hectáreas y son propiedad de individuos que también cultivan otros productos junto al café. En la actualidad, la caficultura proporciona un sustento económico directo a 541 mil familias (La República, 2019).

El sistema de producción del café y su intensificación ha tenido un papel crucial en la historia de Colombia, generando un impacto significativo en el paisaje de algunas regiones del país a nivel social, económico, político y ambiental (Guhl, 2004). En años recientes, se ha puesto énfasis en el deterioro de la biodiversidad debido a la transición de la producción de café de sombra a café de sol. Investigaciones han evidenciado que la biodiversidad, incluyendo plantas, reptiles, aves, insectos y algunos mamíferos, es mayor en las plantaciones de café de sombra en comparación con las de café de sol (Borkhataria et al., 2012).

No obstante, el café es uno de los principales productos agrícolas que generan contaminación. Según la Asociación Nacional de Café -ANACAFÉ- (2012), la pulpa de café tiene un alto contenido de humedad, lo que dificulta su secado si se realiza por prensado, consumiendo mucha energía en el proceso. Además, el líquido resultante es altamente contaminante debido a su alta demanda química de oxígeno (DQO), lo que representa un problema más complejo de resolver que el del agua resultante del procesamiento del grano. El secado de la pulpa al sol y al aire libre requiere mucho tiempo, trabajo y espacio para su disposición, lo que genera grandes pérdidas para el caficultor o para quien busque aprovechar este subproducto del café.

5.3 Marco Conceptual

5.3.1 Generalidades del Café

El café se caracteriza como la semilla seca de la planta conocida como cafeto (figura 2), independientemente de si ha sido tostada o molida (Aguilar, 2016). El café es miembro de la familia de las rubiáceas, del género *Coffea*. Sus hojas son de forma elíptica, de color oscuro y coriáceas. La planta florece a partir del tercer o cuarto año de crecimiento, produciendo inflorescencias axilares de color blanco o rosado. Seis meses después de la floración, los frutos aparecen en racimos de un verde intenso, que durante su maduración cambian a rojo o amarillo dependiendo de la variedad, hasta alcanzar un tono rojo carmesí o amarillo oro. En su hábitat natural, estos arbustos pueden llegar a medir hasta 10 metros de altura, pero en los cultivos su tamaño se reduce a alrededor de 3 metros. Su vida productiva puede superar los 40 años, y su producción ocurre una vez al año durante lo que se conoce como ciclo cafetalero (CATIE, 2014).

Existen varias especies de plantas *Coffea*, siendo la más común la *Coffea arabica*, que representa entre el 75% y 80% de la producción mundial. Esta es la especie más cultivada en Colombia, mientras que la *Coffea canephora* o robusta representa cerca del 20% de la

producción, siendo Brasil el país que más cultiva esta especie (Perfect Daily Grind español, 2017).



Figura 2. Planta de Café, Fotografía Propia.2023

5.3.2 Fruto del Café

El fruto maduro del café, conocido como café cereza, que se puede observar en la figura 3, está compuesto por la pulpa, que se forma a partir del exocarpio (epidermis) y parte del mesocarpio. El color de la epidermis puede variar de verde a amarillo y rojo, dependiendo de la variedad de café y del grado de madurez del fruto. Rodeado por la epidermis se encuentra el mucílago o mesocarpio, que es una capa gruesa de tejido esponjoso de aproximadamente 0.5 mm de espesor, rico en azúcares y pectinas, y que envuelve a los dos granos que se enfrentan por su cara plana. Los granos o almendras están cubiertos por una doble membrana, la primera comúnmente llamada pergamino (endocarpio) de color amarillo pálido y de consistencia dura y frágil; la segunda, llamada película plateada (tegumento seminal) es más fina que la anterior y está adherida al grano (albumen). En la base del grano y sobre la cara interna se encuentra el embrión o germen (Roa et al.,1999).

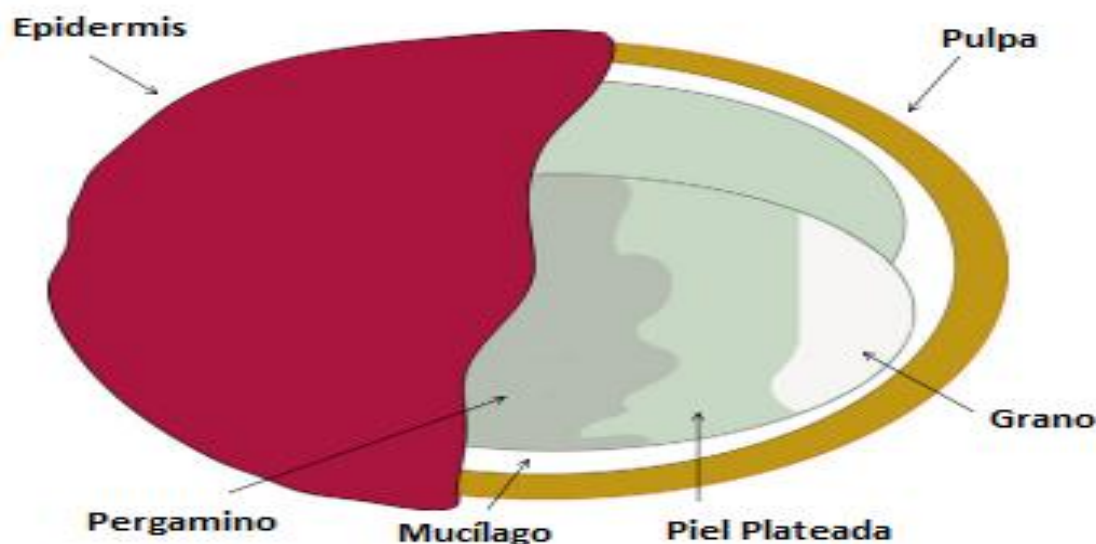


Figura 3. Tomado, Fruto del café (Esquivel y Jiménez, 2011)

5.3.3 *Beneficio húmedo de café*

El beneficiado húmedo es el proceso de procesamiento de café más común en Centroamérica y Colombia. Este método surgió como una solución al problema de la fermentación inmediata y excesiva del café en zonas tropicales. Después de la cosecha de la cereza, se eliminan los componentes externos y los frutos se colocan en despulpadoras para eliminar el epicarpio o pulpa. A continuación, se utilizan tanques de fermentación para lograr la hidrólisis del mucílago a través de la acción de enzimas propias del grano y de microorganismos en el agua, donde el tiempo de fermentación puede variar (Álvarez et al., 2011).

En las actividades del beneficio húmedo del café se lleva a cabo el despulpado, que es el proceso de separación de la pulpa (exocarpio), que representa el 46.3% del peso del fruto, el mucílago (mesocarpio), rico en pectinas y azúcares, que representa el 14.9% del peso del fruto; y el grano, que representa el porcentaje restante (Valencia, 2016).

Estos subproductos pueden ser potencialmente dañinos para los recursos naturales. En el caso de la pulpa, cuando se transporta con agua, lixivia compuestos como azúcares y pectidos que contaminan las fuentes de agua. De manera similar, el mucílago, que genera las aguas residuales del lavado, tiene un impacto negativo en los recursos hídricos existentes (Zambrano e Isaza, 1998).

5.3.3.1 Beneficio convencional del café. Este proceso, conocido por su nombre tradicional, se ha empleado en Colombia para convertir la fruta en semilla. En este proceso se utiliza agua en las fases de despulpado, lavado y transporte (tanto del fruto como del café despulpado y lavado), tal como se muestra en la figura 4. El consumo total de agua es de aproximadamente 40 litros por cada kilogramo de café pergamino seco (cps). En este proceso, no se gestionan los subproductos generados. (Rodríguez et al., 2015).



Figura 4. Tomado; despulpado de café con agua (Rodriguez et al.,2015)

5.3.3.2 Beneficio ecológico del café. Este es un proceso de procesamiento de café respetuoso con el medio ambiente que produce cafés de la calidad física y de taza que son característicos del café colombiano. Se describe como “El conjunto de acciones llevadas a cabo para convertir el café cereza en café pergamino seco, como se muestra en la figura 5, manteniendo la calidad requerida por las normas comerciales, evitando la pérdida de producto y eliminando procesos innecesarios. Además, se logra el aprovechamiento de los subproductos, lo que representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria en el beneficio” (Roa et al., 1999).



Figura 5. Tomado; Despulpado de café sin agua (Rodriguez et al.,2015).

5.3.4 Proceso de Fermentación

Durante la fermentación, se producen varios procesos. En esencia, las levaduras y las bacterias oxidan parcialmente los azúcares a través de sus enzimas naturales, produciendo energía (ATP), etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono. Además, se generan otros alcoholes como propanol y butanol, ácidos como el succínico, fórmico y butírico, y sustancias olorosas como aldehídos, cetonas y ésteres. Los lípidos también se degradan, cambiando el color, el olor, la densidad, la acidez, el pH, los sólidos solubles, la temperatura y la composición química y microbiana del sustrato (Puerta, 2012).

En el proceso de fermentación del café, los microorganismos generan varios metabolismos. La actividad microbiana y el nivel de fermentación determinan las concentraciones de azúcares libres (como la glucosa y la fructosa) y aminoácidos libres que permanecen alrededor del grano. Estos luego contribuyen a la producción de compuestos de Maillard y volátiles durante el proceso de tostado (Puerta y Echeverry 2015).

5.3.5 Pulpa de Café

La pulpa de café es el primer subproducto obtenido en el proceso de procesamiento del fruto del café, representando aproximadamente el 43,58% del peso del fruto fresco en base húmeda (Montilla, 2006).

Después de descerezar el café, la pulpa restante tiene una amplia gama de aplicaciones tanto en la industria como a nivel de la finca campesina, gracias a sus propiedades químicas y físicas que la convierten en una valiosa materia prima. Se utiliza en la producción de alimentos para animales, lombricultura, compost, fertilizantes, y en la generación de energía como biogás y bioetanol. Incluso las industrias de bebidas y dulces están realizando investigaciones cada vez más especializadas con la pulpa (Rodríguez, 2010).

5.3.6 El mucílago

El mucílago de café, un residuo líquido viscoso producido en la industria del café es altamente contaminante. Si se descarta sin tratamiento en cuerpos de agua o suelo, puede causar serios daños a la flora y fauna. Las propiedades físicas y químicas del mucílago de café varían dependiendo de la especie y variedad del café. Se ha demostrado que la relación mucílago/agua aumenta con la altitud. El mucílago está compuesto por agua (84,2%), proteína (8,9%), azúcar reductor (4,1%), pectinas (0,91%) y ceniza (0,7%). Comprender estas composiciones es esencial para entender la fermentación del café (Haile y Hee, 2019).

La eliminación del mucílago es necesaria por varias razones. La primera es que el café colombiano se denomina como “suave lavado”. Además, la naturaleza viscosa del mucílago impide que la humedad fluya hacia el exterior durante el secado. Finalmente, la eliminación del mucílago está relacionada con la seguridad del producto, ya que reduce la carga microbiana presente en el grano (FNC, 2013).

5.3.7 Digestión Anaeróbica

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia se descompone en productos gaseosos, o “biogás”, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un conjunto específico de bacterias (Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía, 2007). En este proceso, varios grupos de microorganismos participan en un metabolismo coordinado que se desarrolla en cuatro etapas. La primera etapa es la hidrólisis, donde la materia orgánica se

fermenta para producir compuestos simples (monómeros). La segunda etapa es la acidogénesis, que produce ácidos orgánicos. La tercera etapa es la acetogénesis, que se caracteriza por la formación de acetatos, propionatos y butiratos. Finalmente, la cuarta etapa es la metanogénesis, donde los microorganismos producen metano a través de la ruta acetotrófica e hidrogenotrófica (Demirel, Scherer, 2008). Este proceso se puede observar en la figura 6, donde se muestra cada fase de la fermentación.

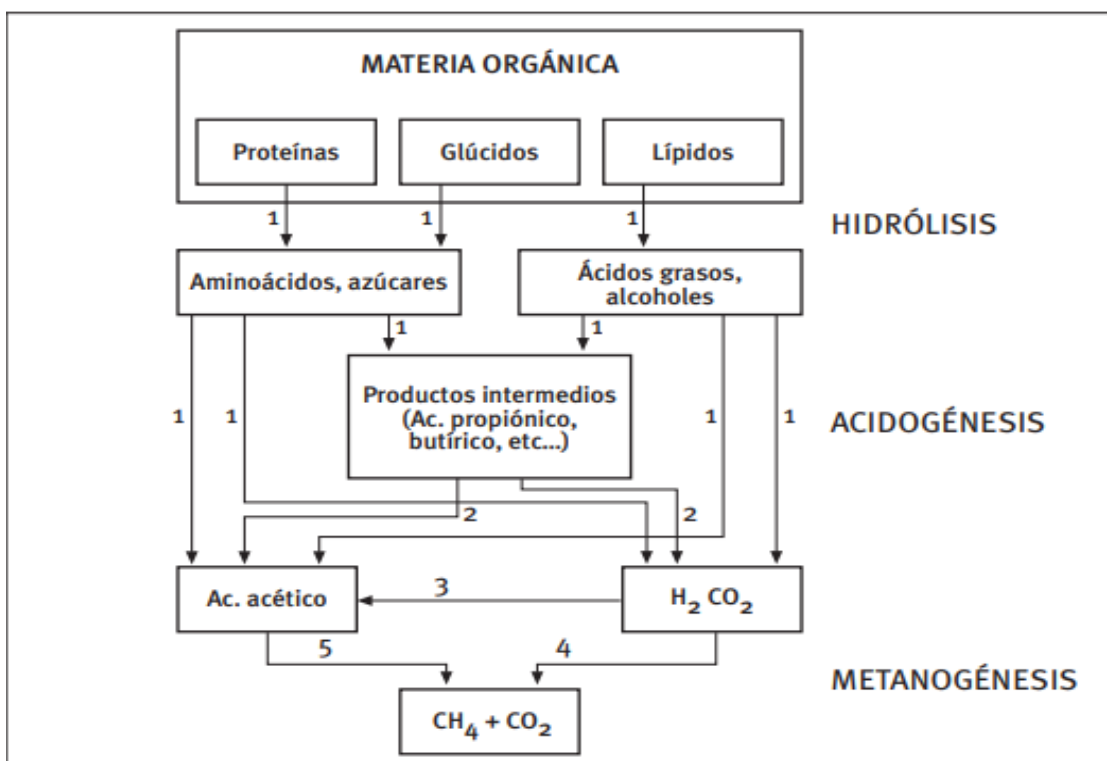


Figura 6. Tomado; Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

La digestión anaerobia ocurre naturalmente en el tracto digestivo de los animales y debajo de aguas estancadas o pantanos. Sin embargo, también puede llevarse a cabo en contenedores herméticamente cerrados, conocidos como digestores, que se representan en la figura 7. Estos se utilizan cuando se desea capturar todos los productos resultantes de la descomposición anaerobia (gases y sólidos). Dado que el interior de estos contenedores es oscuro y carece de aire, proporciona el ambiente óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993).

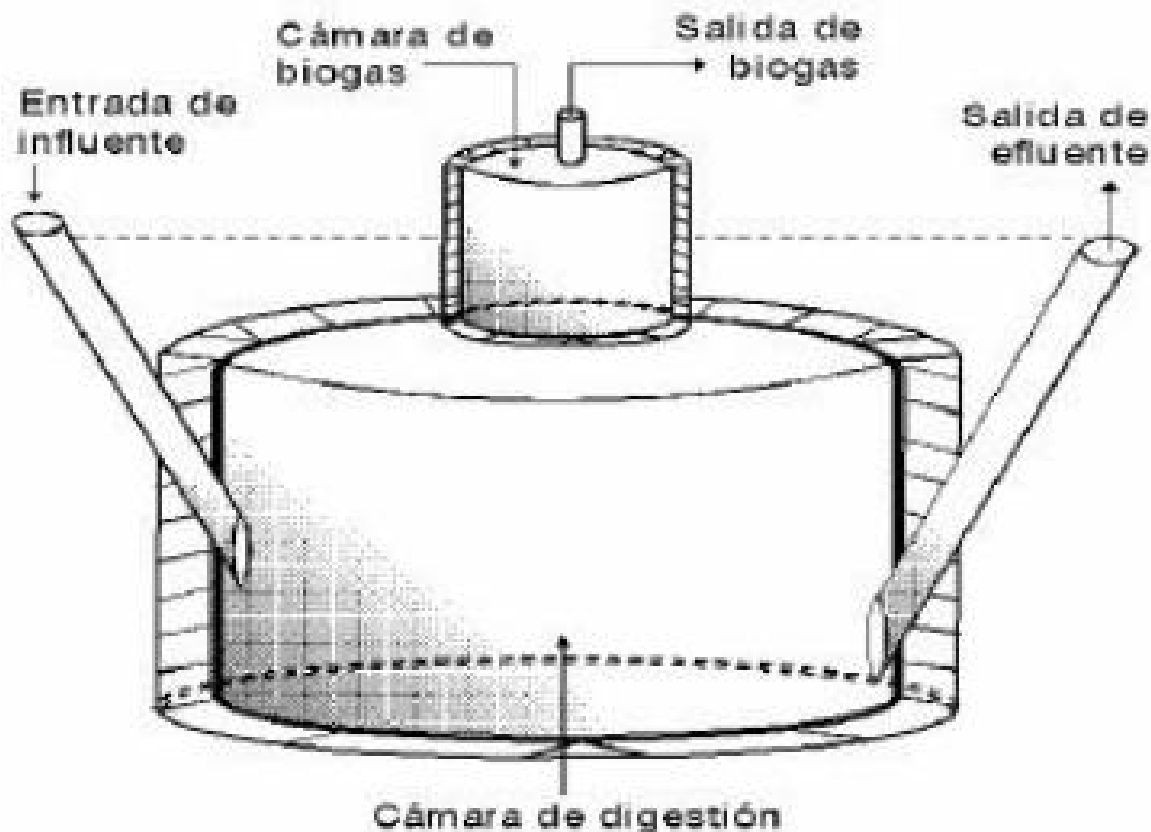


Figura 7. Tomado; biodigestor de cúpula (Pérez, 2015).

5.3.8 Compost

El compost es un fertilizante o enmienda orgánica pre-humificada que resulta de la descomposición y transformación aeróbica biológica de residuos orgánicos de origen vegetal (restos de cosechas y malezas) y animal (estiércol fresco y/o almacenado). Este proceso implica la aplicación de ceniza y un manejo adecuado de la humedad y la aireación, con volteos apropiados para facilitar el trabajo de los microorganismos (Chilon, 2014).

Los microorganismos beneficiosos pueden ser aislados de especies vegetales y utilizados en diversos procesos agrícolas, ambientales e industriales. Poseen la capacidad de biodegradación, biolixiviación, bio-compostación, fijación de nitrógeno, mejora de la fertilidad del suelo y también en la producción de hormonas de crecimiento vegetal (Kumar y Gopal, 2015). Durante el compostaje, estos microorganismos contribuyen a la transformación de la materia orgánica y forman parte del producto final estabilizado y enriquecido (Álvarez et al, 2019).

El compost puede ser utilizado para recuperar suelos degradados y restaurar la fertilidad, así como para reducir el uso de insumos químicos (pesticidas, fertilizantes, combustibles), lo que resulta en la disminución de los costos de producción e impactos ambientales negativos (Pergola et al., 2018).

5.3.9 *Lombricompost*

La lombricultura es la cría intensiva de lombrices de tierra en condiciones controladas. Este proceso puede tener como objetivo la reproducción de estos organismos o el procesamiento de residuos orgánicos, lo que representa un método de descontaminación ambiental. Al utilizar una variedad de materiales biodegradables, se genera una fuente significativa de ingresos (Salazar et al.; 2003).

El lombricompost, representado en la figura 8, es el producto final de la descomposición de la materia orgánica llevada a cabo por la lombriz roja californiana. Esta especie de lombriz es ampliamente utilizada para producir enmiendas orgánicas debido a su fácil reproducción y manejo (MADR,2002). La cría de lombrices es una alternativa económica y sencilla para la producción continua de compost. Aunque este método puede implementarse en cualquier clima, la producción de compost y la reproducción de las lombrices serán más rápidas en climas cálidos (Carvajal et al., 2013).



Figura 8. Cama de lombricompostaje con materia prima ya transformada. Fotografía propia.2023

5.3.10 *Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico (SMTA)*

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA), creados por Cenicafé, tienen como objetivo purificar las aguas residuales producidas durante el proceso de lavado del café. Estas aguas residuales se generan en los beneficiaderos húmedos, donde se elimina el mucílago del café mediante fermentación natural (Figura 9).

El SMTA se aplica en fincas que producen anualmente 1.500 arrobas de café pergamino seco. Este sistema permite ajustar el tamaño de cada una de sus unidades para adaptarse a fincas con producciones de café mayores o menores.

En el marco de la biodegradabilidad anaerobia de residuos, los SMTA facilitan la separación de las fases Hidrolítica-Acidogénica y Metogénica. Por lo tanto, en los tanques que constituyen los reactores para estas fases, se producen diferentes reacciones bioquímicas (Zambrano et al., 2006)

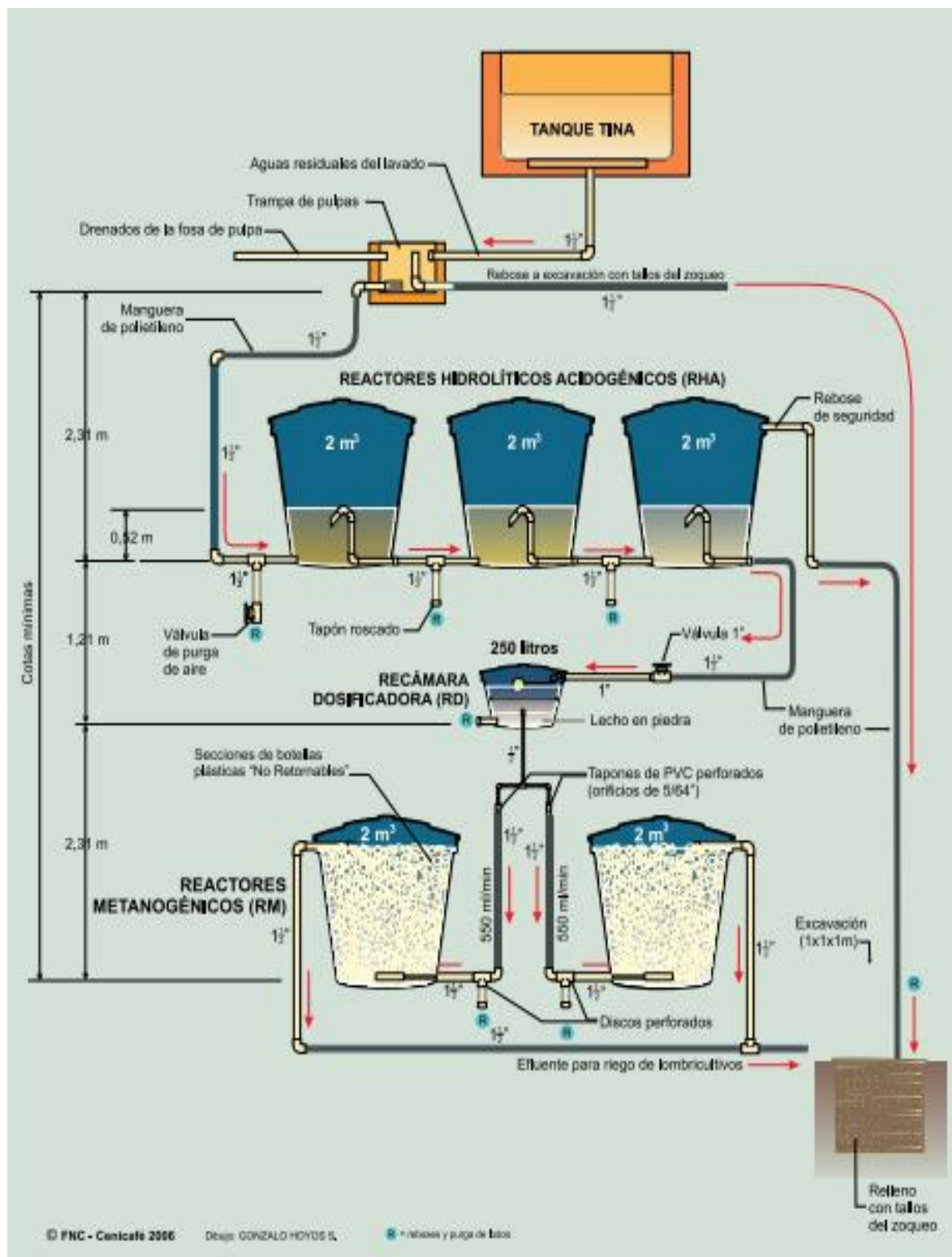


Figura 9. Tomado. Esquema del Sistema Modular de Tratamiento Anáerobico (SMTA). (Zambrano et al., 2006).

5.3.11 Legislación Colombiana

A continuación, en la tabla 2, se indica las normas establecidas en Colombia para el manejo, control y protección al medio ambiente.

Tabla 2. Normativa ambiental colombiana

Año	Norma	Restrictor
1974	Decreto 2811 de 1974	Establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Define normas generales de política ambiental y detalla los medios para el desarrollo de la política ambiental. Entre otras competencias, asigna responsabilidades para ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones, concesiones y uso del agua, tasas, incentivos y pagos, medición de usos, uso eficiente del agua
1977	Decreto 622 de 1977	Reglamenta el sistema nacional de parques naturales, su uso, manejo, reservas, patrimonio natural, áreas para estudio entre otros, dicta definiciones para estos efectos, obligaciones del Inderena, reserva, delimitación, utilidad pública, administración, planes maestros de desarrollo, usos, contratos y concesiones, obligaciones, prohibiciones, sanciones y sistema de control y vigilancia. reglamenta parcialmente el capítulo V, título II, parte XIII, libro II del Decreto- Ley número 2811 de 1974 sobre «sistema de parques nacionales»; la Ley 23 de 1973 y la Ley 2a de 1959.
1984	Decreto 1594 de 1984	Reglamenta usos del agua y residuos líquidos y, entre otros temas, establece metodologías para el análisis y seguimiento de calidad de fuentes hídricas, obligación de permisos de vertimiento, requerimiento de tratamiento de afluentes, planes de cumplimiento, control y sanciones, normas de calidad para diferentes usos. Reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 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 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
1993	Ley 99 de 1993	Describe al ministerio de ambiente como el encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible.
1997	Ley 373 de 1997	Impulsa el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y además usuarios del recurso hídrico. Además, determina campañas educativas a los usuarios.
1997	Decreto 901 de 1997	Se plantea la Tasa Retributiva (TR), o pago de dinero por la contaminación que se deja de remover en decreto 1594 y que se descarga directa o indirectamente al recurso. La tasa es planteada como el costo que debe asumir el estado en recuperar la calidad del recurso hídrico por permitir utilizar el medio ambiente como receptor de los vertimientos.
2004	Decreto 3440 de 2004	Establece que las Autoridades Ambientales Competentes cobrarán la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de su jurisdicción, de acuerdo con los Planes de Ordenamiento del Recurso establecidos en el Decreto 1594 de 1984 o en aquellas normas que lo modifiquen o sustituyan.
2010	Ley 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

6. Metodología

Esta investigación tuvo como propósito final, conocer, definir y diseñar los protocolos y las alternativas sostenibles para el manejo de los subproductos del beneficio del café en la vereda el Carmen, corregimiento Villacarmelo en el municipio de Santiago de Cali, por tal motivo, se recurrió a una investigación participativa.

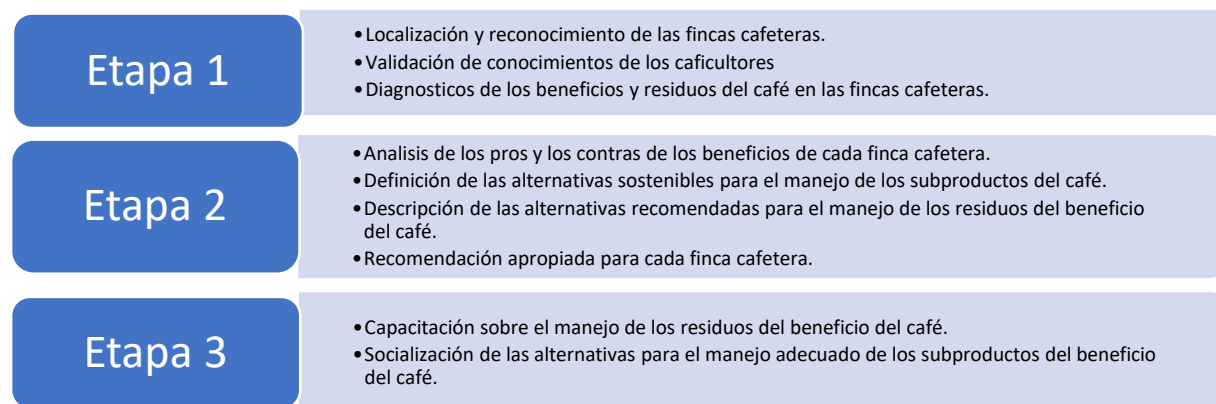


Figura 10. Descripción de las actividades para desarrollar la metodología. Elaboración Propia (2023).

En la etapa 1, se iniciará con una descripción del área de estudio, donde se abordará la ubicación geográfica, además se localizarán las fincas cafeteras, con una breve reseña de cada finca. Se desarrolló una encuesta a los cafeteros dueños de finca, la cual tuvo como objetivo diagnosticar sus conocimientos en el manejo de los residuos que genera el beneficio del café. Los datos generados por la encuesta se procesaron a través de herramientas computacionales. La última actividad fue validar en campo, a través de observaciones y registro fotográfico de los beneficiaderos y los procesos que realizan para el manejo de los residuos del beneficio del café.

En la etapa 2, con base en lo observado en los beneficiaderos se realizó un análisis y se identificó las acciones que se pueden potenciar, que acciones se deben mejorar y cuales no son óptimas en cada finca cafetera; acto seguido, se realizó la definición y diseño de las alternativas identificadas para el manejo de los residuos del beneficio del café, desde su funcionamiento y pasos para su implementación; además, recomendar a cada finca la alternativa apropiada para el manejo de los residuos del beneficio del café.

En la etapa 3, con los datos recopilados en las encuestas, la cual evaluó los conocimientos de los caficultores acerca del manejo de la pulpa y mucilago de café, su percepción de estos subproductos obtenidos del beneficio del café, la infraestructura para el procesamiento y la pérdida económica por el mal manejo de los subproductos; se identificaron las debilidades y fortalezas de cada beneficiadero y finca cafetera, estas presentadas en gráficos radiales, las cuales mostraran de manera general, el estado, el conocimiento y el manejo de la pulpa y mucilago de café, por parte de los caficultores de la vereda El Carmen; cabe recalcar, toda la información obtenida se validó con observaciones de campo. La encuesta funcionara como un insumo adicional para plantear las alternativas de manejo y realizar el proceso de integración social de conocimientos (ISC) a los caficultores, con énfasis en el manejo de los residuos del

beneficio del café y como estos pueden afectar ambiental y monetariamente al entorno del caficultor. Lo anterior, incluye socializar con todos los caficultores de la vereda el Carmen, las diferentes alternativas que ellos pueden implementar en sus fincas para el manejo adecuado de los residuos del beneficio del café y cuál es la recomendación para cada finca, esta ISC se realizó mediante una reunión donde se citó a los propietarios y se les expuso los residuos y las alternativas encontradas.

6.1 Localización

Villacarmelo es uno de los 15 corregimientos en que está dividida la zona rural del municipio de Santiago de Cali, este se puede observar en la figura 11. Está ubicado al suroccidente de Cali, en la cuenca del río Meléndez, con una superficie de 3.266,61 Km², siendo uno de los corregimientos más extensos. Limita al norte y al occidente con el corregimiento Los Andes, al sur con el corregimiento de Pance y al oriente con el corregimiento de La Buitrera. Está constituido por seis veredas: Villacarmelo cabecera, La Fonda, Dos Quebradas, La Candelaria y El Carmen y Alto de los Mangos (Cubillos y Quillones, 2018). La vereda el Carmen está catalogada como reserva natural protectora y zona de mitigación del Parque Natural Nacional Farallones de Cali. La altura

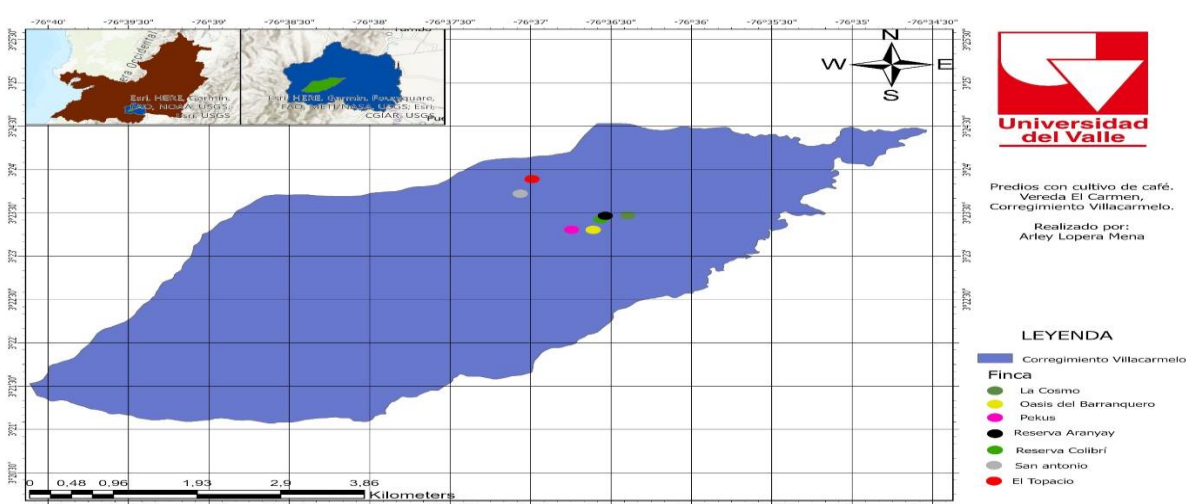


Figura 11. Zona de estudio, predios con cultivo de café, Vereda el Carmen, Corregimiento Villacarmelo. Elaboración Propia (2023)

6.2 Recolección de información

Para la recolección de información se visitó cada finca cafetera, donde se le informó al caficultor cual era el motivo de la visita, se les preguntó acerca de la manera de manipulación del café en su despulpado y luego su posterior postcosecha, se llenó la encuesta y se hacía un recorrido por el beneficiadero, se observó y revisó cual era el tipo de infraestructura con la que contaba el propietario; además, de la toma de fotografías para corroborar la visita. En este punto los 7 caficultores manifestaron que el procedimiento que ellos realizaban para el procesamiento o despulpado de café era el método tradicional (recomendado por FNC), aunque algunos de ellos no cuentan con la infraestructura necesaria para tal procedimiento.

Este método tradicional es el conocido como café lavado, el cual consiste en despulpar el café; la semilla caerá en un tanque de fermentación, esta masa de café se dejará en reposo por aproximadamente 16 a 24 horas, esto se hace para que el mucílago se desprenda con facilidad. Pasado este tiempo se agregará agua limpia y se harán de 3 a 4 lavados dependiendo de cuánto mucílago exista en la masa, cada lavado es con agua limpia; la primera y segunda lavada son las aguas más contaminantes debido a los azúcares y pectinas presentes en el mucílago. Según Zambrano (1993) este método permite un ahorro en el consumo del agua y control de contaminantes durante el proceso del beneficio del café, se estima que el consumo de agua es aproximadamente 0.87 litros/ kg de café cereza.

6.3 Encuesta a caficultores

La herramienta que se usó para evaluar el conocimiento de los caficultores de la vereda El Carmen fue una encuesta, la cual consta de 11 preguntas (tabla 3) y están enumeradas desde A hasta K, cada pregunta cuenta con 3 opciones donde están categorizadas de 1 a 3, siendo 1 la opción menos apropiada y 3 la opción ideal. Las preguntas planteadas en la encuesta tienen como propósito conocer el manejo de la pulpa y mucílago de café, alternativas implementadas o conocidas para el beneficio y procesamiento del café, los riegos ambientales y económicos en la cada finca cafetera.

Para el análisis de la información recolectada mediante las encuestas (anexo 1), se realizó un gráfico de araña para cada finca elaborado en el programa Excel. Este tipo de gráficos permite generar una comparación entre los datos obtenidos y una muestra ideal o esperada; también permite comprobar si concuerda con lo observado en campo. Esto con el fin de generar las recomendaciones para cada finca visitada en la vereda el Carmen.

Tabla 3. Encuesta dirigida a los caficultores. Elaboración Propia. (2023)

Puntos	Preguntas	1	2	3
A	¿Cómo procesa la pulpa de café?	Arroja al suelo-afluente	Lo convierte en Biopreparados	Lo convierte en biocombustible-Alimento
B	¿Cómo procesa el mucílago de café?	Arroja al suelo-afluente	Cuenta con sistema de módulos	Biocombustible o descontaminación por filtros.
C	¿Conoce alguna de las siguientes alternativas para el manejo de la pulpa y mucílago del café?	No sabe	Biopreparados	Biopreparados, Biocombustible, alimentos
D	¿Para usted la pulpa y el mucilago es?	Desperdicio	Fuente de ingresos	Materia prima
E	¿Usted ha recibido capacitaciones de los residuos del beneficio del café por parte de FNC o entidades ambientales gubernamentales?	Ninguno	Solo 1 entidad	2 o más entidades
F	¿Cuenta con beneficiadero de café?	No tiene beneficiadero	Beneficiadero convencional	Beneficiadero ecológico

G	Si su respuesta anterior fue "convencional" ¿Por qué usted usa implementa este sistema de beneficiadero?	Es el único que conoce	El costo de construcción	Quiere cambiarlo
H	Si su respuesta anterior fue "ecológico" ¿Por qué usted usa implementa este sistema de beneficiadero?	Quiere cambiarlo	Es el único que conoce	Se adecua a sus necesidades
I	Si su respuesta anterior fue "No tiene beneficiadero" ¿Por qué usted no ha implementado un sistema beneficiadero?	No tiene conocimiento	El costo de construcción	No ha podido construirlo
J	¿Sabía usted que los residuos del beneficio del café generan los siguientes riesgos ambientales?	No sabe	Contaminación de suelo o agua	Contaminación de ecosistema
K	¿Sabe usted cuánto dinero está perdiendo por un mal manejo de la pulpa y mucilago de café?	No sabe	Entre el 50% al 100%	Entre el 1% y el 50%

6.4 Integración Social de Conocimientos

Con lo observado en campo y la información recolectada a través de las encuestas, se generaron unas alternativas a recomendar para cada finca; no obstante, ese tipo de información se debe compartir y difundir con todos los propietarios. Por lo tanto, se convocó a todos los cafeteros visitados y otros propietarios interesados, esto con el fin de una capacitación grupal, en cual se explicó todos los conceptos y alternativas revisadas; además, se elaboró un folleto con esta misma información (Anexo 2).

7. Resultados y Discusiones

En la vereda el Carmen, corregimiento Villacarmelo se identificó 7 fincas cafeteras, cada finca oscila entre 1 y 2.5 hectáreas de área sembrada en café siendo la variedad castillo la predominante. En estas fincas se pueden encontrar otros cultivos como plátano, banano, yuca, cítricos, aguacate y arboles maderables esto con el fin de diversificar el sistema productivo. Los caficultores de la vereda son considerados pequeños productores.

Los cafetales sobrepasan los 7 años en todas las fincas visitadas, esto se puede constatar porque varios lotes han sido renovados. Algunos propietarios manifestaron que no han tenido una buena cosecha en casi 2 años, ellos les atribuyen a las condiciones climáticas, por esto no han podido realizar inversiones en la finca para mejorar sus sistemas de procesamiento.

7.1 Fincas Cafeteras del Carmen

En las visitas se observaron los beneficiaderos y los diferentes procesos que los caficultores implementan para el manejo de la pulpa y el mucílago de café, se pudieron evidenciar las fortalezas y debilidades de cada finca cafetera, por tal motivo en cada predio se realizó un análisis de lo bueno y malo de cada estructura, manejo de los beneficiaderos y del manejo de la pulpa y mucílago de café. Con este análisis se hizo las recomendaciones con las alternativas adecuadas para cada finca productora, que aporte al mejor aprovechamiento de estos subproductos.

7.1.1 Finca La Cosmo

En la visita se observó que cuenta con infraestructura construida en guadua para el beneficiadero, dentro de esta estructura se encontró una máquina despulpadora, un tanque de plástico, el cual fue adaptado de un recipiente de almacenamiento de agua (figura 12), este espacio también es usado como bodega de herramientas y materiales. En el momento de la visita no se encontró alguna fosa o recipiente para la recolección de la pulpa de café, tampoco un recipiente para la recolección del mucílago.



Figura 12. Beneficiadero de la finca La Cosmo. Fotografía propia.2023

Como se puede observar en la figura 13 la pulpa de café es depositada a cielo abierto alrededor de un árbol, en este espacio también se depositan los residuos de corte y del hogar, por tanto, existe un riesgo de contaminación al suelo debido que no se recogen los lixiviados generados. Referente al mucílago de café, la propietaria realiza el método de café lavado, sin embargo, el agua es transportada con tubería a campo abierto y finalizando a una fuente hídrica, por lo cual no se implementa un adecuado tratamiento para el manejo del mucílago.



Figura 13. Depósito de la Pulpa de café, finca La Cosmo. Fotografía propia.2023

La finca La Cosmo tiene un proceso de beneficio general que se debe mejorar, debido a que la pulpa y el mucílago de café no se están aprovechando apropiadamente, además cuenta con un beneficiadero convencional el cual aumenta el consumo de agua y este mismo espacio se comparte con herramientas agrícolas y residuos como metales y plástico, la estructura no está en la mejor calidad. De acuerdo con lo consignado en la tabla 4 y evidenciado en la visita de campo, se puede notar que existe una coherencia en el gráfico de araña generado para la finca La Cosmo (Figura 14); por lo cual, con este insumo se establecen las alternativas necesarias para mejorar el proceso del beneficio y postcosecha del café, además, la propietaria reconoce que la pulpa y mucílago son materia prima que está desaprovechando.

Tabla 4. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la finca la Cosmo.2023

Puntos	Opción
A	1
B	1
C	1
D	3
E	1
F	2
G	1
H	NA
I	NA
J	1
K	2

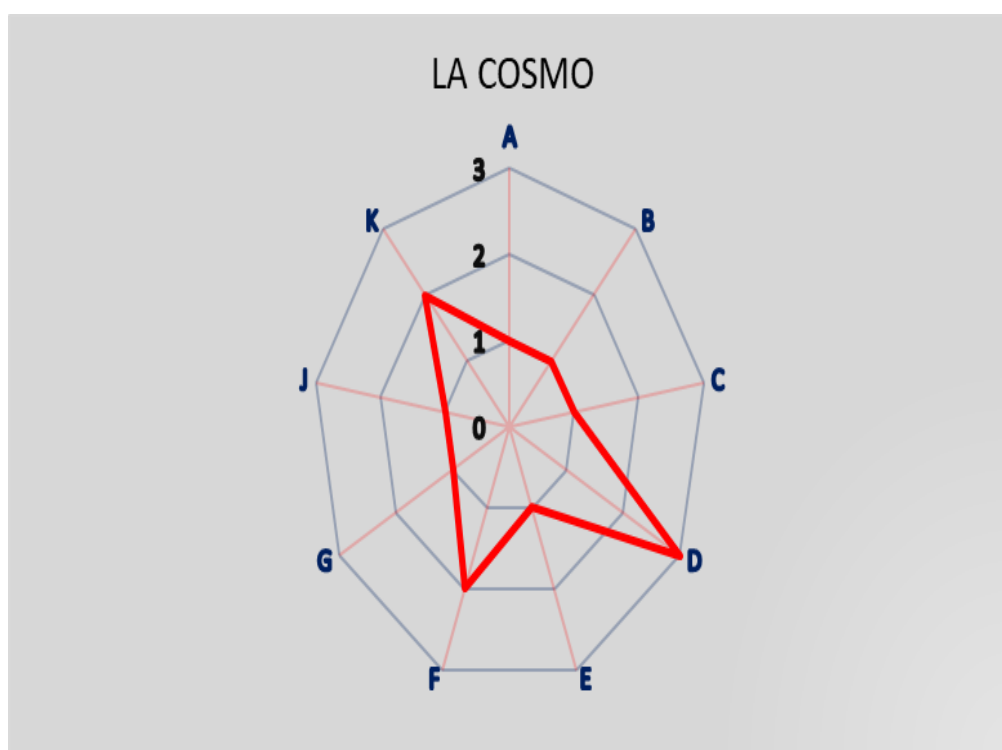


Figura 14. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la finca la Cosmo.

7.1.2 Reserva Natural Aranyay

En la visita se pudo observar que cuenta con un beneficiadero construido en guadua y cemento (Figura 15), en esta estructura se pudo encontrar una despulpadora anclada en la mitad de 2 tanques construidos en cemento y porcelana, uno de estos tanques es utilizado para lavar el café después de despulpado y el otro tanque es utilizado como fosa de recolección de la pulpa de café, también en este mismo tanque se deposita la cascara de la mazorca de cacao (figura 16). La pulpa de café permanecerá 4 meses en la fosa, para un proceso de deshidratación. La fosa cuenta con un sistema de recolección de lixiviados, los cuales son generados por la pulpa. Estos lixiviados son almacenados en una tina azul, para ser nuevamente depositados en la pulpa de café.



Figura 15. Beneficiadero de la Finca Aranyay. Fotografía propia. 2023

La pulpa de café ya deshidratada se transporta hasta un lugar donde elaboran compostaje de los diferentes residuos de la casa (Figura 17), esto se hace para su descomposición final y así poder agregarlo nuevamente a los procesos productivos de la reserva. Las aguas resultantes del proceso de lavado del café son almacenadas en recipientes y luego depositadas en la masa de compostaje, con el fin de deshidratar y que se retengan los sólidos presentes en esas aguas.



Figura 16. Fosa de la Reserva Aranyay. Fotografía propia.2023



Figura 17. Compostera Reserva Aranyay. Fotografía Propia.2023

La Reserva Aranyay se encontraron sistemas o alternativas para la recolección de la pulpa y el mucílago de café, para su posterior tratamiento. La reserva cuenta con fosa, tinas y sitio para el compostaje, y complementando con las respuestas de la encuesta (tabla 5), se nota coherencia en el gráfico de araña (figura 18) con lo observado en campo, debido a que en la

Reserva Aranyay son muy consientes con los residuos que genera la caficultura y que estos pueden tener una disposición final apropiada. Sin embargo, no se tienen cuantificadas las pérdidas que genera los subproductos, con lo cual puede que no se estén aprovechando la pulpa y mucílago de la mejor manera.

Tabla 5. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la Finca Aranyay.2023

Puntos	Opción
A	2
B	2
C	3
D	3
E	2
F	3
G	NA
H	2
I	NA
J	3
K	1

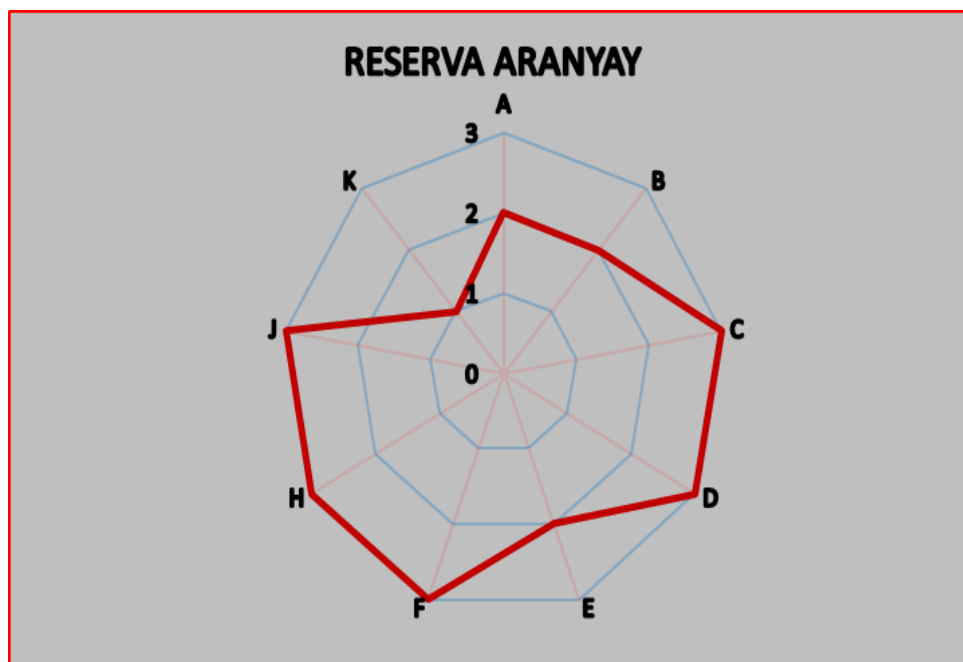


Figura 18. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Reserva Aranyay.

7.1.3 Reserva Bosque Colibrí

En la visita a la Reserva Bosque Colibrí se encontró un beneficiadero ecológico construido en vigas, panel yeso y cemento, este beneficiadero cuenta una maquina despulpadora y con 2 tinas como se observa en la figura 19; una tina es usada para depositar el café recién recolectado y la otra tina para depositar el café despulpado donde se fermenta el café. Cuando el café finalicé la etapa de fermentación se debe realizar el lavado; en este punto, el mucílago es transportado por tuberías hasta un filtro desnatador y permanecerá 24 horas aproximadamente, para una separación por decantación entre sólidos, líquidos y grasas. El agua usada para el tercer y cuarto lavado se llevará hasta un filtro fitopedológico en este filtro también son depositadas las aguas grises que se generan en la casa. Al momento de despulpar, la pulpa de café fresca es recolectada en costales, estos costales se trasladan a una fosa (Figura 20) para la deshidratación y descomposición de la pulpa.



Figura 19. Beneficiadero de la Reserva Bosque Colibrí. Fotografía propia.2023



Figura 20. Fosa de la Reserva Bosque Colibrí. Fotografía Propia.2023

La pulpa dispuesta en la fosa pasará por 2 etapas. La primera etapa es de deshidratación y descomposición natural, donde los lixiviados generados por la pulpa se recogen y se agregan nuevamente en la masa de la pulpa, hasta que se deshidraten completamente, además los lodos y grasas generados en el filtro desnatador se dispondrán finalmente en esta masa de café, esta etapa durará aproximadamente de 4 a 6 meses. La segunda etapa inicia cuando se depositan lombrices (figura 21) y el proceso se convierte en lombricompostaje, esta etapa durará aproximadamente 3 meses hasta que las lombrices conviertan toda la masa de la pulpa en lombricomposteo.



Figura 21. Proceso de lombricompostaje Reserva Bosque Colibrí. Fotografía propia.2023

En la visita a la Reserva Bosque Colibrí se observó filtro fitopedológico (figura 22), una alternativa la cual no estaba contemplada, pero que soluciona la contaminación de las aguas mieles. El filtro fitopedológico es usado para el tratamiento de aguas residuales, pueden estar contruidos en lechos o canales expuestas a la atmósfera, además son cubiertos con algún tipo de planta acuática que recolectan la materia orgánica y descontaminan el agua (Environmental Protection Agency, 2000).



Figura 22. Sistema de filtro fitopedológico de la Reserva Bosque Colibrí. Fotografía propia. 2023

El filtro fitopedológico que implemento el propietario, cuenta con 3 canales contruidos en barro cemento, que tienen una longitud de 3 metros y una profundidad que varía entre 0.15 a

0.3 metros esto para que el agua descienda por gravedad. Los canales están unidos por tubería de PVC enterrada, esto con el objetivo de que el agua recorra los 3 canales, además entre los canales se dispusieron buchón de agua con el objetivo de retener la materia orgánica y limpiar el agua. Cuando finaliza el proceso de filtración por los 3 canales, el agua puede ser vertida o depositada en fuentes hídricas; según el propietario este tipo de filtración logra un 97% de purificación del agua. Sin embargo, el propietario utiliza el agua resultante para llenar un lago artificial en cual cría peces (figura 23).



Figura 23. Lago de peces con aguas tratadas de la Reserva Bosque Colibrí. Fotografía propia. 2023

Lo observado en el predio hace constar que el propietario es responsable y consiente con los residuos del beneficio de café que genera al momento de despulpar y fermentar el café. Por lo cual ha implementado un beneficiadero ecológico, un módulo de lombricompostaje y el filtro fitopedológico que descontamina las aguas mieles del café y las aguas grises que se generan en la vivienda. Cabe resaltar que el propietario también ha utilizado la pulpa de café como producto para bebidas.

De acuerdo con la encuesta realizada (tabla 6), se puede evidenciar que existe una equivalencia entre lo encontrado y lo respondido por el propietario, incluso el grafico de araña (Figura 24) muestra un caso casi ideal, donde el propietario hace uso adecuado de la materia prima, conoce los riesgos que generan estos 2 residuos, aunque solo ha recibido capacitación por una solo entidad.

Tabla 6. *Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la Reserva Colibrí.2023*

Puntos	Opción
A	3
B	3
C	3
D	3
E	2
F	3
G	NA
H	3
I	NA
J	3
K	3

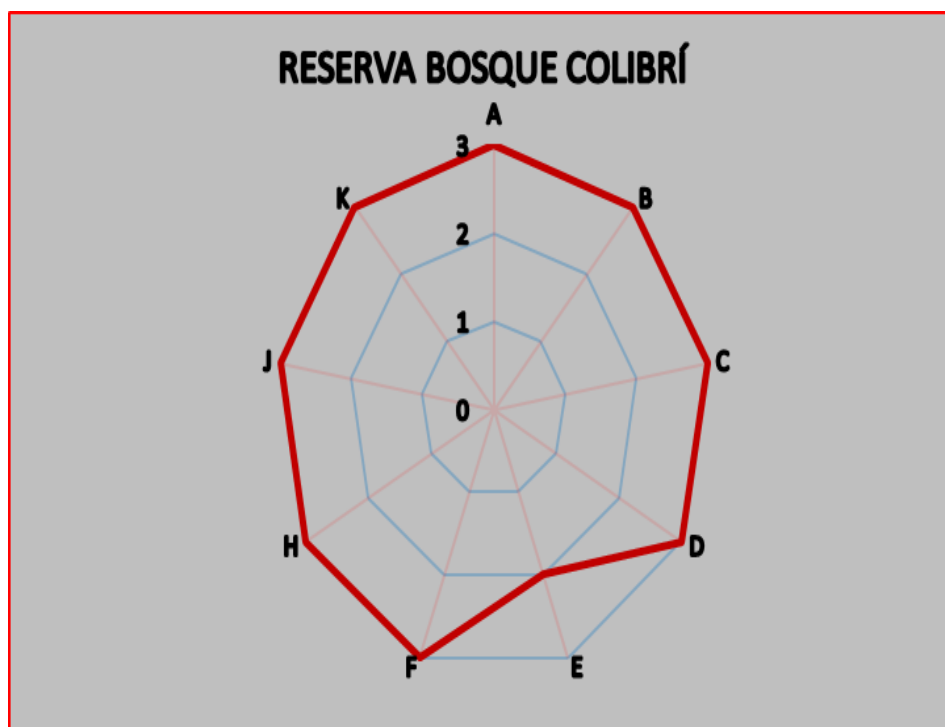


Figura 24. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Reserva Bosque Colibrí.

7.1.4 Finca Oasis del Barranquero

En la visita realizada a la Finca Oasis del Barranquero se pudo observar que cuenta con una despulpadora y una bañera adecuada para depositar el café después del despulpado (figura 25), estos 2 elementos se encuentran dentro de una estructura de 2 pisos sostenida por columna de cemento, el primer piso fue el que se adecuo para el despulpado y fermentación del café, el segundo piso fue adecuado como secadero. El caficultor realiza el método lavado para retirar el mucílago de la semilla de café, sin embargo, no cuenta con un sistema para el transporte y/o tratamiento de estas aguas contaminadas. El propietario manifestó que cuenta con un sistema de captación del mucílago que garantiza el apropiado manejo, sin embargo, no se evidencio debido a que el propietario dijo que no era de fácil acceso, pero se notó que no contaba con buenas conexiones para desagüe del mucílago.



Figura 25. *Beneficiadero de la finca Oasis del Barranquero. Fotografía propia. 2023*

En esta visita se observó que el propietario recoge la pulpa de café en costales, luego se esparce uniformemente en el secadero de café (figura 26), porque no cuenta con una fosa para la recolección y posterior descomposición. La pulpa de café estará en el secadero hasta que se deshidrate y quede completamente seca (figura 27), cuando esta seca la pulpa será empacada en costales y llevada al lote de café o las huertas ubicadas en la finca como enmienda. Esta alternativa, aunque permite un fácil manejo puede que no sea la opción más apropiada si no se cuenta con un plan de esparcimiento, esto debido que cuando la pulpa adquiera nuevamente humedad puede soltar nuevamente líquidos que pudieran contaminar, además del tiempo extra que se genera para la descomposición de la pulpa y por último que la pulpa puede contener patógenos que no se alcanzaron a eliminar porque no se alcanzan las temperaturas óptimas.



Figura 26. Secadero de café de la finca Oasis del Barranquero. Fotografía propia.2023



Figura 27. Pulpa de café deshidratada en la finca Oasis del Barranquero. Fotografía propia.2023

El grafico de araña (figura 28) muestra que el propietario cuenta con un buen proceso y que se trata de aprovechar los residuos del beneficio del café de la mejor manera, además de que es consciente de lo que estos pueden causar en el ecosistema, aunque le hace falta explorar otras alternativas para mejorar el beneficiadero del café. No obstante, con lo observado en campo y

consignado en la tabla 7 se puede notar que hace falta mejorar el beneficiadero y la forma que se lava el café después de fermentado; sin embargo, se realiza un buen procesamiento del café.

Tabla 7. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la finca Oasis del Barranquero. 2023

Puntos	Opción
A	2
B	2
C	3
D	3
E	2
F	3
G	NA
H	2
I	NA
J	3
K	3

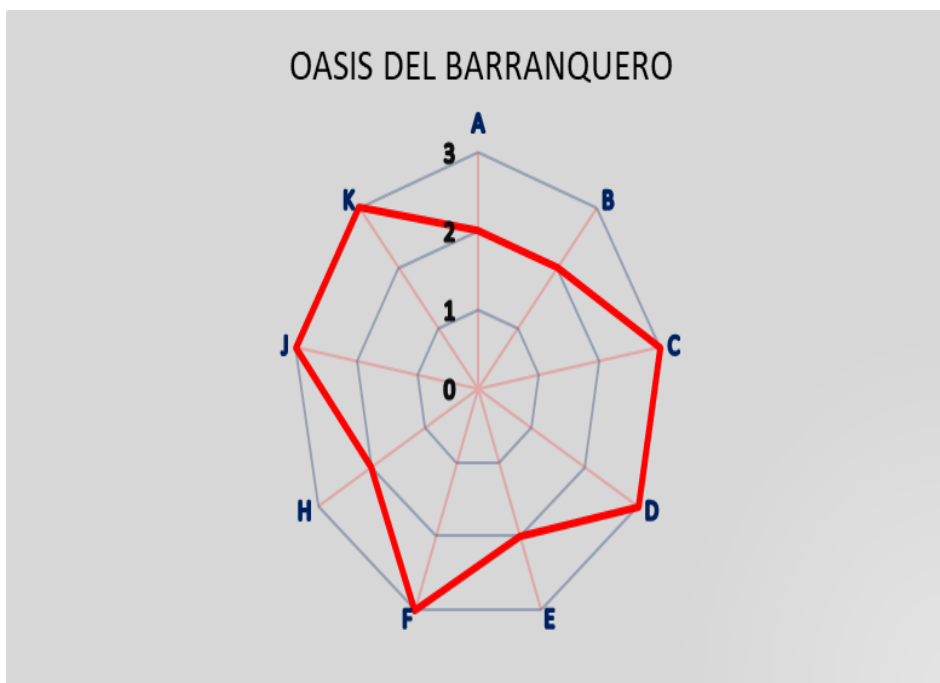


Figura 28. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca Oasis del Barranquero.

7.1.5 Finca Pekus

En esta visita se pudo observar que se ha construido un beneficiadero ecológico en guadua de 2 pisos (Figura 29), el beneficiadero cuenta con una maquina despulpadora tipo modulo, un tanque de fermentación hecho en ladrillo y cemento recubierto con mampostería, una fosa para depositar la pulpa de café, un tarro desnatador para la separación de los sólidos, líquidos y grasas provenientes del mucílago, un tarro de 500 litros que cumple la función de filtro descendente anaeróbico y un módulo para el lombricompostaje.

El caficultor realiza el método lavado para el procesamiento del café, las aguas cargadas de mucílago son transportadas por tubería hasta un filtro desnatador para un tratamiento por decantación y luego son transportadas a un filtro descendente anaeróbico y por último vertido en un lecho rocoso para garantizar la limpieza del agua y así evitar contaminación a las fuentes hídricas cercanas.



Figura 29. Beneficiadero de la Finca Pekus. Fotografía propia.2023

En esta visita se pudo evidenciar que deben mejorar el tratamiento de la pulpa de café, aunque cuentan con una fosa (Figura 30) para la recolección de la pulpa no está siendo tratada de la mejor manera, no se implementa una correcta separación de cosechas, lo cual demora el proceso de degradación de la pulpa de café, además se mezcla con otros residuos de la finca, y tiene contaminación con lombrices. Cabe mencionar que la contaminación por las lombrices se debe a que tenían un sistema de lombricompostaje, sin embargo, no quedó bien implementado y se trasladaron a la fosa.



Figura 30. Fosa de la pulpa de la finca Pekus. Fotografía propia.2023

En esta degradación de la pulpa se generan unos lixiviados que son altamente contaminantes para el suelo y el agua, aunque el propietario los recoge para ser posteriormente depositados nuevamente en la fosa, se nota desbordamientos en los recipientes (Figura 31) asignados para estos lixiviados.



Figura 31. Tarros de lixiviados de la pulpa de café en la Finca Pekus. Fotografía propia.2023

En la finca Pekus se pudo evidenciar que el propietario ha adecuado e implementado alternativas para garantizar un buen manejo de los subproductos del café; sin embargo, debe mejorar y/o corregir las practicas por la fugas y contaminación en la fosa. Lo observado en el predio muestra concordancia con lo consignado en la encuesta (Tabla 8). Incluso se puede evidenciar que el proceso que lleva el propietario de la finca Pekus se acerca al ideal, esto representado en el gráfico de araña (figura 32) formulado para el predio Pekus, por lo cual se nota el compromiso del caficultor por ser ambientalmente responsable.

Tabla 8. Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la finca Pekus.2023

Puntos	Opción
A	2
B	2
C	3
D	3
E	2
F	3
G	NA
H	3
I	NA
J	3
K	3

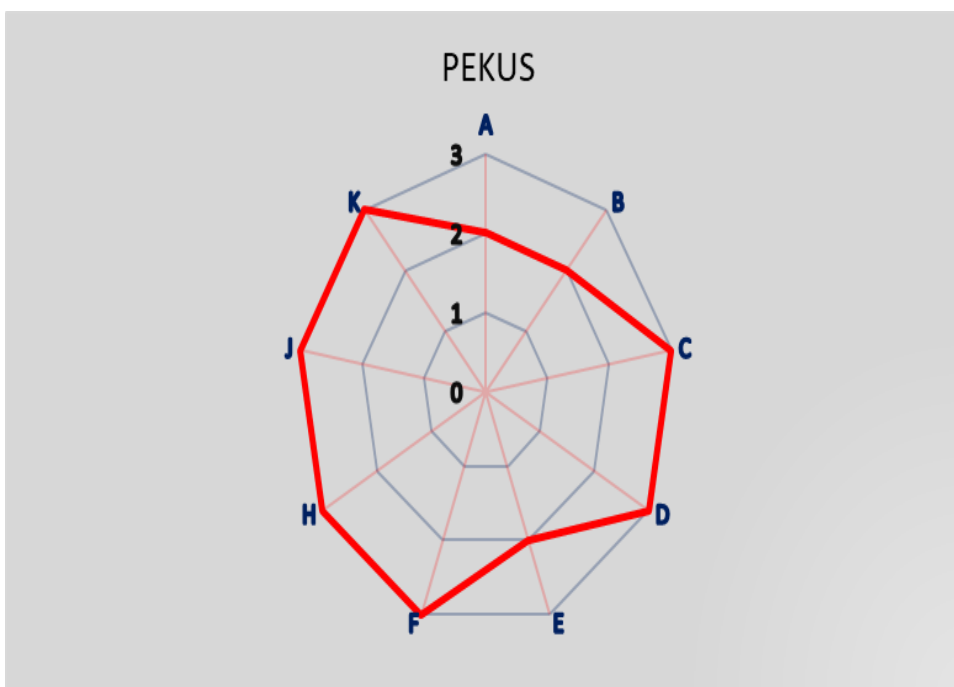


Figura 32. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca Pekus.

7.1.6 Finca San Antonio

En esta visita se observó que el propietario cuenta con una despulpadora anclada sobre un tronco de madera y el tanque de fermentación es una adecuación de una tina azul cortada por la mitad. El propietario no cuenta con una infraestructura definida para el beneficiadero, solo se ha dispuesto de un plástico amarrado de 4 guaduas que cumple función de techo para cubrir la despulpadora (Figura 33). En este espacio también se pudo notar que existe una fosa para la recolección de pulpa; no obstante, se encuentra en mal estado, debido a que las paredes construidas en ladrillo están a punto de caer.



Figura 33. Beneficiadero de café finca San Antonio. Fotografía propia.2023

La pulpa de café se quedará en la fosa (Figura 34) hasta que complete su tiempo de degradación, sin embargo, este proceso se puede demorar más de lo esperado porque muchas veces se mezclan las pulpas de las diferentes cosechas; además, no se recogen los lixiviados de la pulpa de café lo que causa empozamientos de estos líquidos. Cuando la pulpa de café ya se ha deshidratado lo suficiente, se traslada directamente a campo sin ningún otro tratamiento, esto no es recomendado debido que la masa de pulpa de café no ha madurado completamente.



Figura 34. Fosa de la pulpa de la finca San Antonio. Fotografía propia.2023

El caficultor no cuenta con un lugar o recipiente para lavar el café después de fermentada la semilla, el propietario después del proceso de fermentación transporta la semilla en costales o tarros para lavarlo a campo abierto, donde todas estas aguas cargadas de mucílago se vierten directamente al suelo. También el lavar la semilla de café en estas condiciones perjudica la salud física del propietario, por la mala y prolongada posición al momento de realizar esta práctica.

Lo observado en el predio San Antonio hace notar que sin embargo, el propietario es consciente de los riesgos que genera estos residuos al medio ambiente, como se puede constatar en las respuestas de la encuesta (tabla 9), aunque no existe coherencia con lo evidenciado en el predio San Antonio, porque falta adecuar y organizar varios aspectos en el beneficio del café, debido a que el beneficiadero no se encuentra en las mejores condiciones y el caficultor asegura que el beneficiadero cumple con las necesidades que él requiere y que no desea cambiarlo por el momento, además de que el costo de la infraestructura para él es demasiado alto; además, existen varios focos de contaminación en el proceso de lavado y de deshidratación de la pulpa.

En el gráfico de araña (Figura 35) se puede notar que cuenta con un buen conocimiento de cuáles son los residuos que se generan en el beneficio del café, como las puede utilizar en el predio como fertilizantes y que si no tienen un correcto manejo pueden contaminar el ecosistema. El propietario manifestó que ha recibido capacitaciones acerca de los residuos del café por la FNC, pero las entidades ambientales como CVC y DAGMA deberían apoyarlos también con este tipo de capacitaciones e insumos para mejorar su sistema productivo y de procesamiento.

Tabla 9. *Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la finca San Antonio. 2023*

Puntos	Opción
A	2
B	1
C	2
D	3
E	2
F	3
G	NA
H	2
I	NA
J	3
K	3

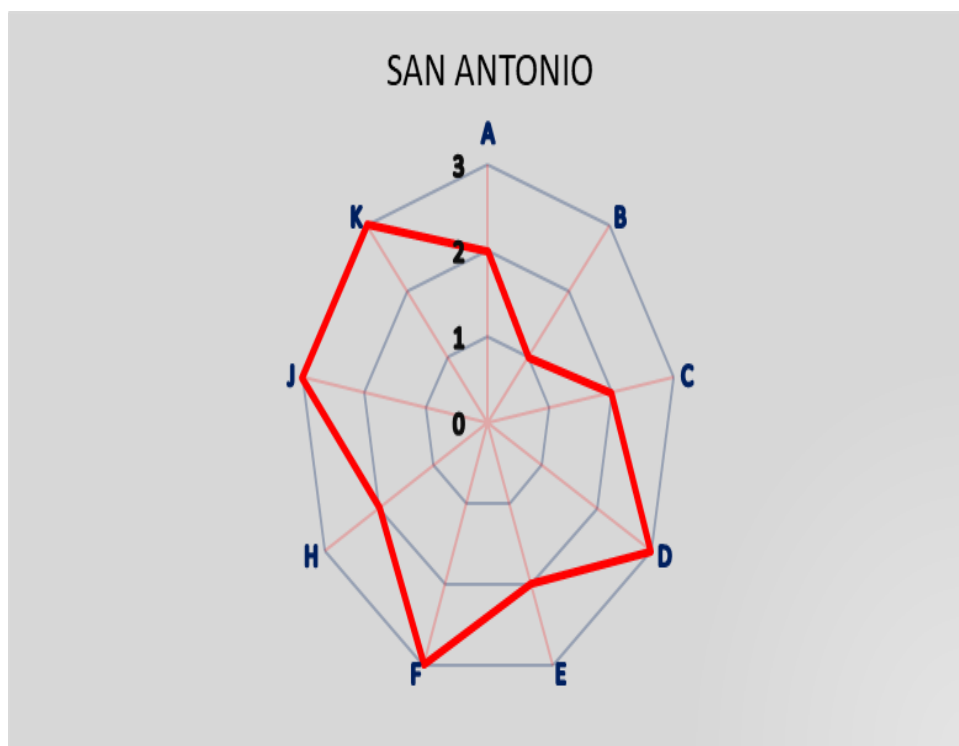


Figura 35. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca San Antonio.

7.1.7 Finca El Topacio

En la visita generada al predio lo primero que se observó fue una máquina despulpadora al aire libre (Figura 36), puesta en 2 cilindros de cemento, no cuenta con una fosa por esto la pulpa la recoge en tarros o costales y no cuenta con tanques para la fermentación del café, la semilla de café la recoge en un tarro plástico y la lava en el mismo sitio. El caficultor comentaba que él tenía una estructura en guadua con techo de zinc; sin embargo, una fuerte tormenta derrumbó esa estructura y no ha podido volver a construirla. Además, este predio cuenta con una problemática legal, hace unos años el DAGMA compró un predio llamado La Carolina a un privado, en este predio ya habitaban familias que hacían posesión de algunos terrenos, entre estos terrenos está la Finca El Topacio; el señor manifiesta que en ese proceso legal se le ha dificultado poder mejorar y construir un mejor beneficiadero.



Figura 36. *Despulpadora de café en la finca el Topacio. Fotografía propia. 2023*

El propietario de la finca el topacio no cuenta con una fosa para depositar o almacenar la pulpa de café, esta es recogida en tarros o costales (figura 37) y transportada a un punto en la finca, el cual está al aire libre y sin ninguna protección para el suelo (figura 38), los lixiviados generados por la pulpa no son recolectados, estos se infiltran en el suelo o van por escorrentía hasta las fuentes hídricas cercanas. Después de un proceso de descomposición de la pulpa está es agregada al lote o cultivo de café. El propietario no cuenta con tanques para el lavado del café, el agua cargada con mucílago es vertido a campo abierto sin ningún tipo de tratamiento.



Figura 37. *Tinas usadas para la recolección de la pulpa en la finca el Topacio. Fotografía propia. 2023*



Figura 38. Sitio final de disposición de la pulpa en la finca el Topacio. Fotografía propia.2023

Con la visita realizada se pudo evidenciar que el propietario no cuenta con un beneficiadero, ni con alternativas que solucionen el problema de la pulpa y el mucílago de café, el propietario manifestó que si contaba con un lugar apropiado para procesar la cereza de café, pero se le derrumbo en una ola invernal y que no cuenta con los recursos suficientes para adecuar nuevamente el espacio, pero está muy alejado de un caso ideal, según las respuestas consignadas (Tabla 10).

Según lo representado en el gráfico de araña (Figura 39) donde se nota que se está realizando un mal manejo de los subproductos del beneficio del café, el propietario sabe que no es la condición adecuada y planea cambiar todo el sistema cuando tenga el recurso suficiente, además de que es consciente de la pulpa puede utilizarla para otros procesos en la finca.

Tabla 10. *Respuestas del manejo actual de los subproductos del beneficio del café en la finca El Topacio. 2023*

Puntos	Opción
A	1
B	1
C	2
D	3
E	1
F	1
G	NA
H	NA
I	3
J	1
K	3

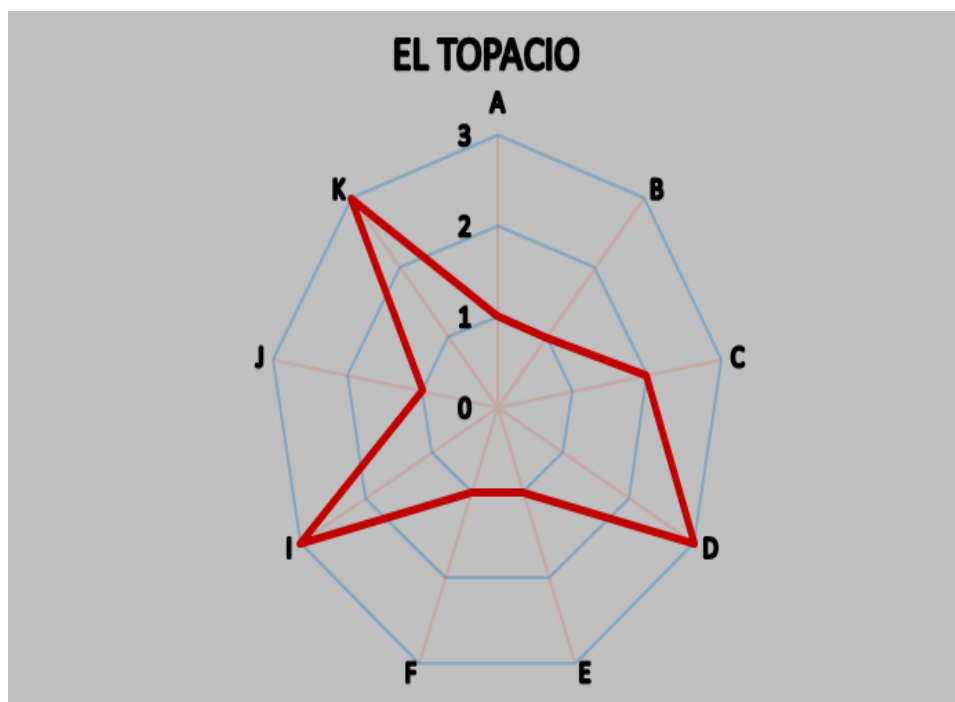


Figura 39. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café de la Finca El Topacio.

7.1.8 Estado Actual de la Vereda El Carmen

En la tabla 11 se muestra los resultados observados de la moda a partir de los 7 predios cafeteros visitados en la vereda el Carmen y el grafico de araña (Figura 40) muestra la distribución, donde se puede notar que los propietarios cuentan con beneficiaderos ecológicos, tratan de transformar la pulpa y mucílago de café, que es una parte importante del proceso por lo pueden usar como la materia prima para el cultivo, que son conscientes referente a los problemas de contaminación que estos pueden generar, también cuanto es el costo de producción y perdida por un manejo inadecuado de los subproductos del café. También hace falta que más instituciones realicen capacitaciones a los caficultores acerca de los subproductos del beneficio del café y mostrar más alternativas para poder procesar la pulpa y el mucilago del café de la manera apropiada.

Tabla 11. Datos observados del estado actual de los subproductos del beneficio del café en la Vereda el Carmen, Corregimiento Villacarmelo. 2023.

Puntos	Opción
A	2
B	2
C	3
D	3
E	2
F	3
G	NA
H	2
I	NA
J	3
K	3

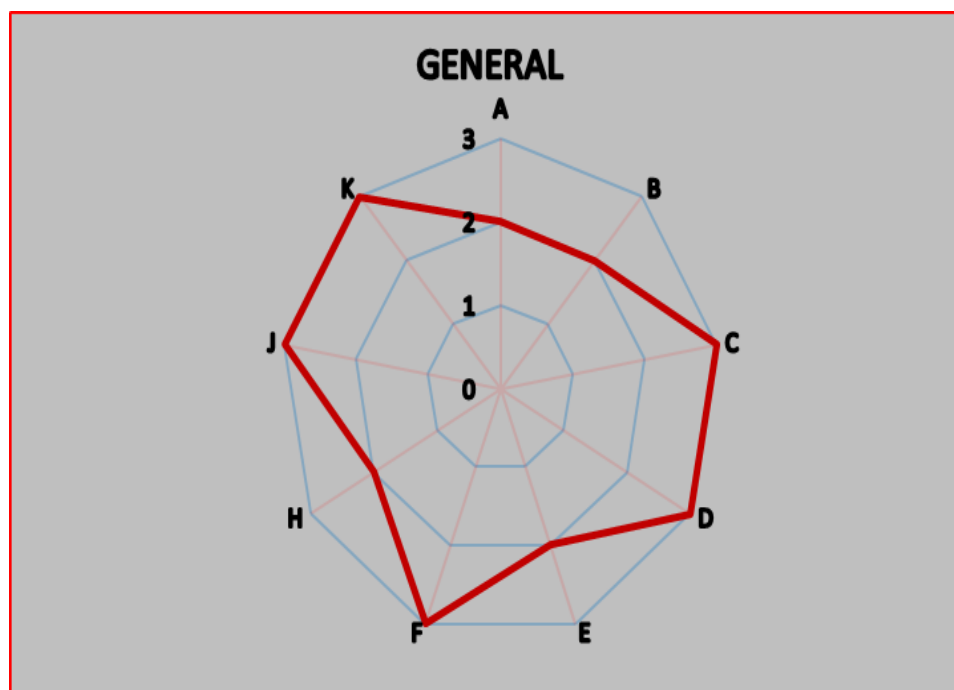


Figura 40. Gráfico de araña de la situación actual para el manejo de los subproductos del beneficio del café General.

7.2 Alternativas para los caficultores

Con el análisis realizado de las visitas a los diferentes predios, se generaron unas ciertas recomendaciones contempladas como alternativas de manejo para ser aplicadas en las fincas de manera individual. Estas recomendaciones se generaron con el fin de reutilizar los residuos del beneficio del café, mejorar las prácticas de manejo, reducir costos de procesamiento y garantizar un procesamiento ambientalmente sostenible. Estas alternativas se seleccionaron por la facilidad de implementación, costo de los materiales, practicidad a la hora de limpieza o de uso y que han sido utilizadas con éxito en otros sectores de la agricultura o son recomendadas por centros de ciencia.

7.2.1 Biodigestor

El uso de biodigestores puede ser una solución óptima, debido a que se puede recolectar la pulpa y degradar al mismo tiempo sin tener pérdidas de lixiviados, dentro del recipiente habrá un aumento en la temperatura, donde se genera un biogás, también hará que la pulpa llegue a un estado de maduración y se pueda aplicar otra vez al campo. El tipo de biodigestor que se recomienda no tiene mayores complicaciones debido a que no se necesita construir o excavar, solo se debe usar tarros azules de 200 litros y realizar algunas perforaciones a estos mismos

tarros. En la tabla 12 se establece la lista de materiales necesarios para la construcción del biodigestor para las fincas cafeteras, muchos de estos materiales pueden ser reciclados.

Tabla 12. Costos para la implementación de un biodigestor para la obtención de biogás con la pulpa de café como sustrato.2023

Ítem	Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Tarros azules * 200 Lts	2	\$119.000	\$238000
2	Tarro azul * 50 Lts con tapa	1	\$ 70.000	\$ 70.000
3	Tubo PVC 3" de diámetro* 6m	1	\$ 69.000	\$ 69.000
4	Tubo PVC 2" de diámetro * 6m	1	\$ 45.000	\$ 45.000
5	Manguera de gas ¼" de diámetro* 3m1	1	\$ 33.200	\$ 33.200
6	Mano de obra	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Valor total			\$ 515.200	

Los tarros serán unidos y se dispondrán de manera horizontal, con esto tendremos una capacidad de 400 lts, seguido se deben hacer 3 perforaciones, uno para la entrada de la materia prima, que en este caso puede ser la pulpa y/o mucilago de café, otro para la salida del lodo estabilizado, el ultimo para la salida del biogás generado (Figura 33). Además, se debe contar con un tarro de 50 litros con tapa, este va a ser el receptor del gas y de agua que provenga del biodigestor por evaporación.



Figura 41. Tomado. Biodigestor de 400 L para producción de biogás con pulpa de café como sustrato. (Londoño, 2017)

7.2.2 Lombricompostaje

La lombriz roja californiana es la encargada de consumir la pulpa de café; este residuo generado se puede aplicar nuevamente al suelo para realizar fertilización o enmiendas, además los lixiviados que al ser almacenados correctamente se pueden usar también como parte de la fertilización. Este proceso de lombricompostaje se recomienda solo si la finca cuenta con una fosa para almacenar y deshidratar la pulpa de café.

La fosa es importante debido a que la pulpa de café debe pasar por un proceso de deshidratación de por lo menos de 3 meses, este tiempo de deshidratación es para que la lombriz tenga las condiciones óptimas de habitat, además la fosa tendrá la función de sumidero de las grasas y lodos generados por el mucílago de café.

Para la construcción de la cama de la lombricomposta se pueden usar varios materiales como cemento, ladrillo, plástico, guadua, madera, etc. No obstante, sin importar el material que se use para la construcción, se debe garantizar que el suelo y paredes sean impermeables, para que no haya fugas de lombrices o lixiviados, además, asegurar una pendiente para que no existan encharcamientos y también poder recoger los lixiviados. Es recomendable construir un módulo de 3 m de largo por 1 m de ancho por 0.5 m de alto y dividirlo en 3 partes; este módulo debe estar protegido del sol y de las lluvias, por eso se puede realizar una estructura sencilla con techo. Con estas especificaciones se puede mantener poblaciones entre 6000 y 7000 lombrices. (Carvajal et al, 2011).

7.2.3 Filtro Fitopedológico

Esta alternativa se observó en la Reserva Bosque Colibrí; el propietario manifestó que esta alternativa es económica, funcional y fácil de mantener, estas aguas con carga de mucilago también se pueden unir con las aguas grises generadas en la vivienda. Al final el agua filtrada en esta alternativa se puede liberar en el suelo por método de infiltración o directamente a una fuente hídrica. Este método es recomendado si antes se cuenta con un tarro desnatador el cual por el método de decantación separa las grasas, lodos y agua con carga de mucílago.

Para la construcción de este material se requiere una mezcla de barro-cemento y material vegetal que nos ayude para la descontaminación, en este caso el buchón de agua. Se necesita realizar 3 canales de 3m de largo por 0.3 m de ancho por 0.3 m en su parte inicial y 0.35 m en su parte final (Figura 35). Como se puede notar, existe una inclinación, esto permite que las aguas con mucilago no se queden estancada, estos canales se impermeabilizaran con la mezcla de barro-cemento. Cada canal debe tener una separación de 1 m, pero estarán conectadas a través de tubos o mangueras, los orificios de salida se ubicarán en la parte final del canal, en la parte superior, este orificio será de 1/4" de diámetro.

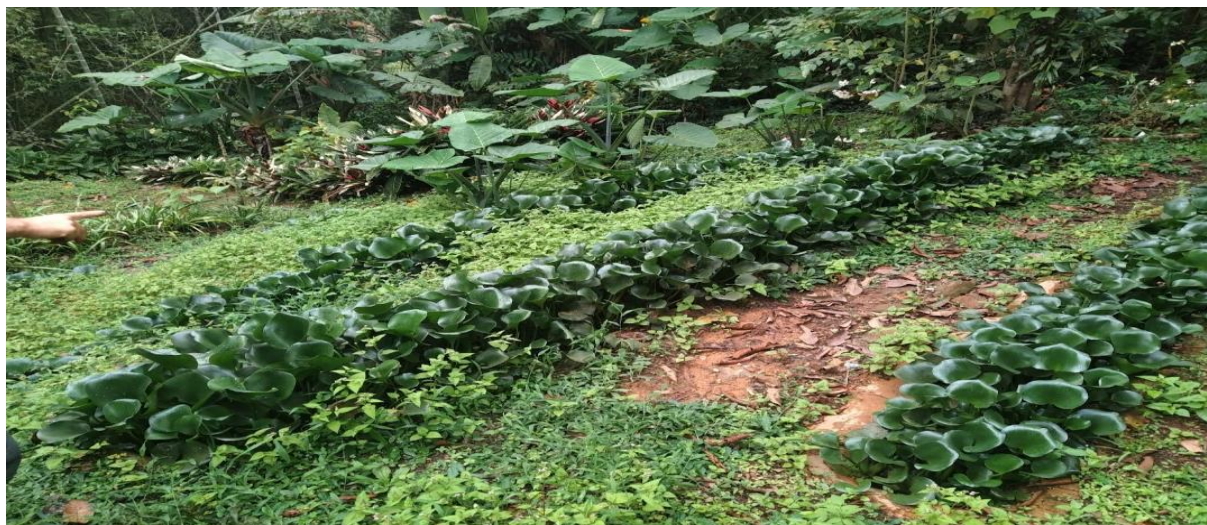


Figura 42. Filtro fitopedológico como sistema para la descontaminación de aguas con mucilago de café. fotografía Propia.2023.

7.3 Recomendaciones Fincas Cafeteras del Carmen.

Con las alternativas mencionadas anteriormente y lo observado en campo, se generaron las recomendaciones a cada finca cafetera visitada; estas recomendaciones se consignaron en la tabla 13, donde se podrá ver la alternativa, el motivo por el cual se decidió esa recomendación y una observación particular de cada caso.

Tabla 13. Recomendaciones de alternativas para los cafeteros de la Vereda El Carmen.

Finca	Alternativa	Motivo	Observación
La Cosmo	-Biodigestor -Filtro Fitopedológico	-No cuenta con fosa para recolección de pulpa. -No cuenta con tratamiento de descontaminación de aguas cargadas con mucílago.	- Retirar las herramientas y materiales del beneficiadero - Cambiar a un sistema de beneficio ecológico.
Reserva Aranyay	-Lombricompostaje	- Acelerar los procesos de descomposición de la pulpa de café. -Recolectar los lixiviados del compostaje	-Si no implementa el sistema de lombricompostaje, impermeabilizar el suelo del compostaje para poder recolectar los lixiviados.
Reserva Bosque Colibrí	-Ninguna	-Tiene un proceso donde reutiliza la pulpa por lombricompostaje y garantiza la descontaminación del agua.	-Socializar, replicar y apoyar estas alternativas en las fincas de la Vereda el Carmen.

Oasis del Barranquero	-Biodigestor -Filtro Fitopedológico	- No cuenta con fosa para recolección de pulpa. - Mejorar la descontaminación de las aguas cargadas con mucílago.	-Mejorar las conexiones para el transporte de agua. -Al no utilizar el biodigestor, implementar un sistema de lombricompostaje
Pekus	-Ninguna	-Tiene un proceso donde reutiliza la pulpa por lombricompostaje y garantiza la descontaminación del agua.	-Descontaminar la fosa de las lombrices y pasarlas al sistema de lombricompostaje. -Adecuar mejor el sistema de recolección de lixiviados de la pulpa.
San Antonio	-Biodigestor o Lombricompostaje -Filtro Fitopedológico	-Cuenta con una fosa en mal estado. - No cuenta con tratamiento de descontaminación de aguas cargadas con mucílago.	-Reparar la Fosa. -Adecuar una tina con tubería para el transporte de las aguas con mucílago. -Adecuar el filtro fitopedológico cerca del beneficiadero, para evitar desgaste físico.
Topacio	-Biodigestor -Filtro Fitopedológico	-No cuenta con fosa para recolección de pulpa. -No cuenta con tratamiento de descontaminación de aguas cargadas con mucílago.	- Reconstrucción del beneficiadero con la implementación de las alternativas recomendadas

7.4 Socialización a los caficultores.

La socialización de los resultados a los caficultores se realizó a través de una capacitación (figura 32), para esto se le solicitó un espacio a la extensionista de cafeteros de la zona en una reunión ya programada, en esta reunión asistieron 6 cafeteros visitados y 2 cafeteros de otras veredas cercanas. Para esta capacitación se realizó una presentación en el programa “Power Point” (Anexo 2), donde se explicó los diferentes componentes del café, procesamiento, subproductos del beneficio y alternativas para el manejo apropiado de los subproductos.



Figura 43. Socialización de las prácticas agrícolas para el manejo de los subproductos del café a los caficultores del Corregimiento Villacarmelo. 2023

El día de la socialización, no se contaba con fluido eléctrico en la vivienda donde se realizó la capacitación y no se pudo proyectar las diapositivas, sin embargo, se contaban con hojas tipo pliego y marcadores y se procedió a realizar la presentación que ya se tenía contemplada. En la presentación se nombraron varias opciones incluso algunas que no están contempladas en este documento, por último, se recomendaron las alternativas para que pudieran ser implementadas en las fincas; además, se generó un plegable (Anexo 4) para fortalecer esta integración de conocimientos y así que pudieran ver la información fácilmente. Varios propietarios estuvieron interesados en estas alternativas, siendo el biodigestor la alternativa que más causó curiosidad.

8. Conclusiones

- La vereda el Carmen es un sector muy cercano a la zona urbana de Cali, con mediano acceso vial, donde existen muy pocos cafeteros, sin embargo se pudo notar que de los 7 propietarios encuestados solo 2 se acercan a un manejo adecuado de la pulpa de café y mucílago de café; aunque no contamos con datos suficientes para poder extrapolar a nivel municipal, se podría decir que es preocupante que este mismo fenómeno se esté repitiendo en varios corregimientos de la zona rural, lo que es un foco de contaminación generado por la caficultura. Aunque CENICAFE es un referente en el mundo de la investigación del cultivo de café, hace falta más divulgación y capacitaciones a los caficultores, debido a que muchos de ellos son personas mayores que no cuentan con acceso a internet.
- Las alternativas propuestas para los caficultores son propuestas que ya son aplicadas en varios sectores agrícolas, estas aportan de manera significativamente a los productores debido a que obtienen nuevamente un insumo que pueden aplicar en su sistema productivo, generando una economía circular y reduciendo costos de fertilización y reduciendo la contaminación generada en la unidad productiva; la otra ventaja es que estas alternativas son más económicas y se pueden utilizar materiales reciclados o que se encuentran en la propia finca como la guadua.
- Los caficultores de la vereda el Carmen están interesados en alternativas económicas, para poder implementar en sus fincas, además que esto les pueda contribuir con el proceso en la finca; sin embargo, se debe iniciar con una caracterización, capacitaciones y búsqueda de implementaciones apropiadas y que se adecuen a la necesidad de cada caficultor, de un seguimiento y como este tipo de soluciones afecta en el proceso que están realizando en sus unidades productivas.

9 Referencias

Aguilar, J; (2016). *Efecto del secado por aspersión sobre la retención de compuestos fenólicos de extracto de café oro microencapsulado después del secado y durante el almacenamiento*. Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Aguirre-Fernández, P. A., Acosta-Pinto, L. M., Cardozo-Corzo, L. D., Rodríguez-Arenas, S. A., & Corredor-Sánchez, G. A. (2018). *Nutritional evaluation of silage with coffee (Coffea Arabica L.) cherry for ruminant supplementation*. *Acta Agronómica*, 67(2), 326-332.

Alemán, R., Castillo, D., González, N., & Herrera, R. (2019). *Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana*. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (77), 73-79.

Álvarez, J., Smeltekop, H., Cuba, N., & Loza-Murguía, M. (2011). *Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (Coffea arabica) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(1), 34-42.

Alvarez, V. M., Largo, A., Iglesias, A. S., & Castillo, J. (2019). *Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos*. *Scientia Agropecuaria*, 10 (3), 353-361.

Anacafé. (2014). *Residuos emitidos después del proceso de lavado del café, causantes de contaminación de lagos, riachuelos y aguas subterráneas, Plan de Manejo 2014*. (24 de enero de 2022). <https://www.devida.gob.pe/documents/20182/335453/Manual+t%C3%A9cnico+sobre+manejo+de+aguas+mieles.pdf/5daea0b5-5c66-4ef2-8702-43b213d848af>

ASIC (Association for Science and Information on Coffee). (2012). *24th International Conference on Coffee Science*. November 11-16, 2012. Association for Science and Information on Coffee (ASIC). San José, Costa Rica.

Asociación Nacional del Café –ANACAFÉ- (2012). *Los subproductos del café*. Guatemala. (28 de enero de 2022). https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BeneficioHumedo_Subproductos

Borkhataria, R.; Collazo, J.A.; Groom, M.J.; Jordan-García A. (2012). *Shade-grown coffee in Puerto Rico: Opportunities to preserve biodiversity while reinvigorating a struggling agricultural commodity*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149: 164-170.

Camargo, M. B. P. (2010). *The impact of climatic variability and climate change on Arabic Coffee crop in Brazil*. *Bragantia* 69: 239-247.

Carvajal, Y; Loaiza, W; Reyes, A; Daza, M. (2013). *Producción, manejo y uso de Lombricompost y Micorrizas*. Universidad del Valle; EIDENAR; Grupo IREHISA. Pag: 15-25

CATIE. (2014). *Generalidades del Café* (06 de febrero del 2022). <http://agronegocios.catie.ac.cr/index.php/eco-productos/cafe/generalidades>

Cervantes, R.; Ponce de León, D.; Balmaseda, C.; Cabrera, J.; Fernández, L. 2015. *Efecto de la pulpa de Coffeaarábica L., sobre suelos del macizo montañoso Guamuhaya*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 38-43

Chango, M., & García, J. (2021). *Análisis de la competitividad de las exportaciones de café de Ecuador versus Colombia y Brasil hacia el mercado de USA*. *X-pedientes Económicos*, 5(12), 65-80.

Chilon, C. (2014). *El Compost altoandino como sustento de la Fertilidad del suelo frente al cambio climático*. *CienciAgro*. 4(1), 55-67

Cole, R. J., & Zahawi, R. A. (2021). *Coffee pulp accelerates early tropical forest succession on old fields*. *Ecological Solutions and Evidence*, 2(1), e12054.

Cubillos, C; Quiñones. (2018). *Documento Base De La Memoria Histórica Del Corregimiento Villacarmelo*. *Secretaría De Cultura Y Cedecur*.

Demirel B, Scherer P. (2008). *The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: a review*. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 7:173-90.

Environmental Protection Agency (EPA) (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial*.

Esquivel, P., & Jimenez, V. M. (2012). *Functional properties of coffee and coffee by-products*. *Food research international*, 46(2), 488-495.

Estrada, J., Pedraza, P., Yong, G., Avilés, F., Rayas, A., Solís, A., & Castelán, O. (2021). *Effect of Increasing Supplementation Levels of Coffee Pulp on Milk Yield and Food Intake in Dual-Purpose Cows: An Alternative Feed Byproduct for Smallholder Dairy Systems of Tropical Climate Regions*. *Agriculture*, 11(5), 416.

Federación Nacional de Cafeteros. (2023). *Informe de Gestión 2022*.

Fernández, Y., Sotto, K., & Vargas, A. (2020). *Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados*. *Producción+ limpia*, 15(1), 93-110.

FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia) (2015). *Particularidades de nuestro café*. (10 de febrero de 2022). http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/nuestro_cafe

FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia) (2020). *Informe de Gestión 2019*.

FNC. (2013). *Manual del Cafetero Colombiano*, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, (FNC). Tomo III, *Recibo de café cereza en el beneficiadero*, 13 p.

Guhl, A. (2004). *Café y cambio de paisaje en la zona cafetera colombiana entre 1970 y 1997* *Cenicafé*, 55(1), 29-44.

Haggar, J. and K. Schepp. (2011). *Coffee and climate change desk study. Impacts of climate change in the pilot country Tanzania. Coffee production and climate change. Initiatives for adaptation*. Publ. University of Greenwich. UK.

Haile, M., & Hee, W. (2019). *The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality*. *Journal of Food Quality*, 2019.

Hernández-Sarabia, M., Sierra-Silva, J., Delgadillo-Mirquez, L., Ávila-Navarro, J., & Carranza, L. (2021). *The Potential of the Biodigester as a Useful Tool in Coffee Farms*. *Applied Sciences*, 11(15), 6884.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2007). *Ministerio de industria, turismo y comercio. Gobierno de España. Biomasa: Digestores anaerobios*. Madrid: IDAE.

Kassahun, T. (2021). *Adoption of garden coffee production technology package by smallholder farmers in ethiopia*. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 21(5), 17989-18004.

Kumar, B.L.; Gopal, D.V.R.S. (2015). *Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment*. 3 *Biotech*.

La república. (2019). *Huila es el departamento líder cafetero con 16% del área cultivada*. (08 de febrero del 2022). <https://www.larepublica.co/especiales/ruta-del-cafe/huila-es-el-departamento-lider-cafetero-con-16-del-area-cultivada-2840686>

Lashermes, P., Andrade, A. C., & Etienne, H. (2008). *Genomics of coffee, one of the world's largest traded commodities*. In P. H. Moore, & R. Ming (Eds.), *Genomics of tropical crop plants*. pp. 203–225. New York: Springer.

Londoño, H. (2017). *Aprovechamiento de la pulpa de café para la producción de biogás en un reactor de flujo pistón*. Universidad Pontificia Bolivariana.

Loukri, A., Tsitlakidou, P., Goula, A., Assimopoulou, A. N., Kontogiannopoulos, K. N., & Mourtzinis, I. (2020). *Green extracts from coffee pulp and their application in the development of innovative brews*. *Applied Sciences*, 10(19), 6982.

Machado, M.; Ríos, L. (2016). *Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática*. *Idesia (Arica)*, 34(2), 15-23.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2002). *Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria -PRONATTA- Mocoa*, pp 180p

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2020). *Cosecha cafetera de 2020 cerraría con un valor de \$9 billones, superior en 20% a 2019 y una de las más altas en 20 años*. (30 de enero del 2022). <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Cosecha-cafetera-2020.aspx>

MONTILLA P., J. (2006). *Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café*. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Orrego, D., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2018). *Optimization and scale-up of coffee mucilage fermentation for ethanol production*. *Energies*, 11(4), 786.

PÉREZ, A., & Carlos, A. (2015). *Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás*. Colombia: Asociación Colombiana de Porcicultores-Fondo Nacional de la Porcicultura.

Pérez, F. (2006). *Modelación de la volatilidad y pronósticos del precio del café*. *Revista Ingenierías*. Universidad de Medellín, 45-58.

Perfect Daily Grind español, (2017). *El Café: Una Explicación Básica de la Semilla a la Taza*. (06 de febrero del 2022). <https://perfectdailygrind.com/es/2017/01/02/el-cafe-una-explicacion-basic-de-la-semilla-la-taza/>

Pergola, M.; Persiani, A.; Palese, A.M.; Di Meo, V.; Pastore, V.; D'Adamo, C.; Celano, G. 2018. *Composting: The way for a sustainable agriculture*. *Applied Soil Ecology*.

Puerta, G. I. (2012). *Factores procesos y controles en la fermentación del café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). *Avances Técnicos* 422

Puerta, G. I; Echeverry, J.G (2015) *Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). *Avances Técnicos* 454.

Rattan, S.; Parande, A.K.; Nagaraju, V.D.; Ghiwari, G.K. (2015) *A comprehensive review on utilization of wastewater from coffeeprocessing*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22, 6461–6472

Roa, G.; Oliveros, C.E.; Álvarez, J.; Ramírez, C.A.; Sanz, J.R.; Dávila, M.T.; Álvarez, J.R.; Zambrano, D.A.; Puerta, G.I.; Rodríguez, N. (1999). *Beneficio Ecológico Del Café*. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. 1999. 300 P.

Rodríguez, N. (2009). *Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Rodríguez, N. (2010). *Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI: Manejo de residuos en la agroindustria cafetera*. Cenicafé, 10 p.

Rodriguez, N., & Zambrano, D. A. (2010). *Los subproductos del café: fuente de energía renovable*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). *Avances Técnicos* 393.

Rodríguez, N., Sanz, J. R., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2015). *Beneficio del café en Colombia: Prácticas y estrategias para el ahorro uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café*.

Rodriguez, R; Laencina, J; Ros, J. (2020). *Evaluation of coffee pulp as substrate for polygalacturonase production in solid state fermentation*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 117-124.

Romero Loaiza, R.; Mamani Paro, R. (2013). *Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café*. *Rev. Investig. Altoandinas*, 15, 241–252.

Salazar G., G. 1993. *Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación*. SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.

Salazar, E; Fortis, M; Vázquez, A; & Vázquez, C. (2003). *Abonos Orgánicos y plasticultura*. Facultad de Agricultura y zootecnia de la UJED, Sociedad mexicana de la Ciencia del suelo, COCyTED. Mexico. 233p.

Valdespino-León, M., Calderón-Domínguez, G., De La Paz Salgado-Cruz, M., Rentería-Ortega, M., Farrera-Rebollo, R. R., Morales-Sánchez, E., ... & Terrazas-Valencia, F. (2021). *Biodegradable electrosprayed pectin films: An alternative to valorize coffee mucilage*. *Waste and Biomass Valorization*, 12(5), 2477-2494.

Valencia, K. (2016). *Competitividad de las exportaciones de café de Colombia, Guatemala y México hacia el mercado estadounidense (2001-2014)*. *CIENCIA ergo-sum: revista científica multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México*, 23(3), 239-246.

ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. (1998). *Demanda Química de Oxígeno y Nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café*. *Cenicafé* 49(4):279-289.

Zambrano, D. (1993). *Fermente y lave su café en el tanque tina*. *Cenicafé*. *Avances técnico* N° 197.

Zambrano, D.A; Rodríguez, N; Lopez, U; Orozco, P; Zambrano, A.J. (2006). *Tratamiento anaerobico de las aguas mieles del café*. *Cenicafé*. *Boletín técnico* N° 29.

10 Anexos



Encuesta dirigida a los caficultores de la Vereda el Carmen, Corregimiento Villacarmelo, Santiago de Cali.

La siguiente encuesta tiene como objetivo conocer el actual manejo de los residuos del beneficiodel café en la vereda el Carmen, Corregimiento Villacarmelo.

NOMBRE:

FINCA:

A. ¿ Como es la forma en que usted le da manejo a la pulpa de café?

1. Lo arroja al suelo-fuente hidrica
2. Lo convierte en biopreparados
3. Lo convierte en biocombustible

B. ¿ Como es la forma en que usted le da manejo al mucilago de café de café?

1. Lo arroja al suelo-fuente hidrica
2. Tiene el sistema de modulos
- E. Lo convierte en biopreparados-biocombustible.

C. ¿ Usted conoce alguna de las siguientes alternativas para el manejo de la pulpa y mucilago del café?

1. No Sabe
2. Biopreparados
3. Alimentos

D. ¿Para usted la pulpa y el mucilago es?

- 1.Un desperdicio
2. Fuente de ingresos
3. Materia Prima

E. ¿Usted ha recibido capacitaciones de los residuos del beneficio del café por parte de FNC o entidades ambientales gubernamentales?

1. Ninguno
2. Solo 1 entidad
3. 2 o más entidades

F. ¿Cuenta usted con beneficiadero de café?

1. No tiene beneficiadero
- 2.Convencional
3. Ecológico

G. Si su respuesta anterior fue "convencional" ¿Por qué usted usa implementa este sistema de beneficiadero?



1. Es el unico beneficiadero que conoce
2. El costo de construcción
3. Quiere cambiarlo

H. Si su respuesta anterior fue "ecológico" ¿Por qué usted usa implementa este sistema de beneficiadero?

1. Quiere cambiarlo
2. Es el unico que conoce
3. Se adecua a sus necesidades

I. Si su respuesta anterior fue "No tiene beneficiadero" ¿Por qué usted no ha implementado un sistema beneficiadero?

1. No tiene conocimiento
2. El costo de construcción
3. No ha podido construirlo

J. ¿Sabia usted que los residuos del beneficio del café genera los siguientes riesgos ambientales?

1. No sabe
2. Contaminación al suelo o agua
3. Contaminación al ecosistema

K. ¿ Sabe usted cuanto dinero esta perdiendo por un mal manejo de la pulpa y mucilago de café?

1. No sabe
2. Entre el 50% y el 100%
3. Entre 1% y el 50%

Anexo 1. *Formato de encuesta realizada a los caficultores de la Vereda el Carmen.*



Anexo 2. *Presentación para la capacitación a los caficultores de la vereda el Carmen.*



Anexo 3. Evidencia fotografica de visitas a campo.

Filtro Fitopedológico

Este tipo de sistema se usa para la descontaminación o limpieza de agua cargadas con sólidos en este caso el mucilago de café. Las aguas cargadas con sólidos pasaran por diferentes canales los cuales material vegetal que es el encargado de retener los sólidos.



Los materiales para la construcción de los canales del filtro son una mezcla de barro-cemento y material vegetal como buchón de agua. Cada canal debe tener una longitud de 3 metros, 0.3 m de ancho y 0.3 m en su parte inicial y 0.35 en su parte final. Cada canal se conecta con manguera de 1/4".



Este plegable fue un ideado para fortalecer la integración social de conocimientos con los cafeteros esto como producto de la investigación de las "Prácticas agrícolas sostenibles para el manejo de subproductos del beneficio del café en la vereda el Carmen, corregimiento Villacarmelo, Santiago de Cali" realizado por Arley Lopera.



Elaborado por:
Arley Lopera

Contacto
3163431598
arley.lopera@correounivalle.edu.co

PRÁCTICAS AGRÍCOLAS SOSTENIBLES PARA EL MANEJO DE SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIO DEL CAFÉ






Anexo 4. Plegable generado como fortalecimiento de la integración social de conocimientos.
Elaboración Propia. 2023.