

Diagnóstico de alternativas para el manejo de residuos generados en el proceso de
beneficio de café orgánico de la provincia de Guanentá (Santander)

María Camila Rueda Monroy

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Química

Director

Crisóstomo Barajas Ferreira

Ingeniero químico M. Sc.

Codirectora

Diana Marcela Ibarra Mojica

Ingeniera sanitaria y ambiental - M. Sc. ingeniería química

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela De Ingeniería Química

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A Dios principalmente, por ser mi guía en todo momento, por llenarme de sabiduría para afrontar los retos que me propongo y por todas las bendiciones y oportunidades que pone en mi camino.

A mis padres, por ser mi apoyo incondicional, por creer en mí siempre, por ayudarme a forjar mi camino y por ser mi ejemplo a seguir y mi mayor inspiración para cumplir mis metas.

A mi hermano, por ser mi compañero de vida y por su cariño incondicional.

A mis amigos por los conocimientos compartidos y las experiencias vividas durante esta etapa.

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander, por brindarme la oportunidad de formarme íntegramente como ingeniera química y a los docentes que me transmitieron sus conocimientos y experiencias durante mi proceso académico.

A la empresa Kafé Loma Verde y a las fincas adscritas, por permitirme realizar este proyecto investigativo con base en los datos generados en sus procesos productivos y por facilitarme la información y ayuda necesaria para cumplir con los objetivos propuestos.

A mi director Crisóstomo Barajas Ferreira y a mi codirectora Diana Marcela Ibarra Mojica, por las enseñanzas y el acompañamiento brindado; por disponer de su tiempo para guiarme durante la realización de este trabajo.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos.....	15
1.1. Objetivo general.....	15
1.2. Objetivos específicos	15
2. Marco teórico y estado del arte	16
2.1 Beneficio del café	17
2.1.1 Beneficio húmedo.	18
2.1.2 Beneficio seco.	18
2.1.3 Beneficio semiseco.	19
2.2 Residuos del beneficio del café.....	19
2.2.1 Pulpa y cáscara.....	20
2.2.2 Mucílago.	20
2.2.3 Aguas residuales.	20
2.3 Indicadores para el análisis ambiental del beneficio del café	21
2.3.1 Normatividad ambiental colombiana.	21
2.3.2 Indicadores ambientales de Cenicafé.....	21
3. Metodología	22
3.1 Fase I: Estimación del tipo, cantidad y calidad de los residuos	22
3.1.1 Inspección de la zona.	22
3.1.2 Cuantificación y caracterización de residuos.....	23
3.1.3 Análisis del efecto ambiental de los procesos.....	26
3.2 Fase II: Alternativas de manejo de los residuos identificados	26

4. Resultados y análisis.....	27
4.1 Estimación del tipo, cantidad y calidad de los residuos.....	27
4.1.1 Inspección de la zona.	27
4.1.2 Cuantificación y caracterización de los residuos.	31
4.1.3 Análisis del efecto ambiental de los procesos.....	36
4.2 Alternativas para el manejo de los residuos.....	38
4.2.1 Manejo de la cáscara.	38
4.2.2 Manejo de los vertimientos.....	40
5. Conclusiones.....	42
6. Recomendaciones	43
Referencias bibliográficas.....	44

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Métodos empleados para la determinación de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales generadas en el beneficio del café.	24
Tabla 2. Características de los procesos de beneficio de las fincas.	28
Tabla 3. Calidad promedio de los frutos recolectados	31
Tabla 4. Caudales volumétricos de las aguas residuales generadas en los procesamientos húmedos	34
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales.....	36
Tabla 6. Índice de calidad ambiental de los procesos	38

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Composición del fruto de café.....	16
Figura 2. Proporciones másicas en base húmeda de los componentes del fruto de café en su estado óptimo de madurez.	17
Figura 3. Café pergamino seco apto para la comercialización en Colombia.....	17
Figura 4. Recolección manual del fruto de café en su punto óptimo de maduración.	27
Figura 5. Diagrama del proceso de beneficio húmedo de las fincas A y B.	29
Figura 6. Diagrama del proceso de beneficio semiseco de la finca C	30
Figura 7. Relación porcentual promedio del café despulpado y el café pergamino seco en base húmeda, con respecto a la masa inicial de café en cereza de las fincas.....	32
Figura 8. Relación porcentual promedio de café despulpado y cáscara en base húmeda, con respecto a la masa inicial de café en cereza de las fincas	33
Figura 9. Consumo específico de agua en el proceso de beneficio de café de las fincas	35

Lista de apéndices

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la
Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Normatividad ambiental para vertimientos de aguas residuales

Apéndice B. Toma de muestras de aguas residuales

Apéndice C. Información primaria sobre la unidad productiva de beneficio de las fincas

Apéndice D. Factores de conversión de los procesos

Apéndice E. Monitoreo de caudales

Apéndice F. Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Sedimentables

Apéndice G. Prácticas empleadas en las fincas y ponderación de indicadores ambientales

Resumen

Título: Diagnóstico de alternativas para el manejo de residuos generados en el proceso de beneficio de café orgánico de la provincia de Guanentá (Santander)*

Autor: María Camila Rueda Monroy**

Palabras clave: café, beneficio del café, pulpa, aguas residuales, calidad ambiental.

Descripción: El beneficio del café es una actividad que genera grandes cantidades de fracciones (pulpa y mucílago) con cargas contaminantes y corrientes de aguas residuales como consecuencia del uso de los recursos hídricos durante las etapas del proceso, lo que conlleva a una posible alteración en el ambiente. En el presente trabajo se proponen algunas alternativas, con base en la literatura, para el manejo de los residuos generados en el procesamiento del café orgánico en la Provincia de Guanentá (Santander), tomando como referencia tres fincas (Finca A, B y C), adscritas a la empresa Kafé Loma Verde. Para esto, se realizó la cuantificación de los residuos a través del seguimiento in situ de los procesos, durante la segunda cosecha del año 2018 y se analizó la calidad de los vertimientos, partiendo de su caracterización fisicoquímica y del efecto ambiental generado en el entorno con base en los estándares estipulados en la normatividad colombiana y los Índices de Calidad Ambiental y de Manejo de Agua presentados por Cenicafé. Los resultados obtenidos muestran que, en los sistemas de beneficio convencionales, adoptados en las Fincas A y B, se presenta un consumo específico de agua superior a los 30 l*kg CPS y se genera un 47% de residuos sólidos, superando las cantidades de café pergamino óptimo para la comercialización, lo que representa bajos rendimientos en la producción y un mayor impacto ambiental que el generado en el Finca C, en la que se ha limitado el uso de agua y se ha dado un aprovechamiento a los residuos. De este modo, las alternativas sugeridas están estrechamente relacionadas a la incorporación de procesamientos sin uso de agua, y a prácticas sencillas para el para la obtención de subproductos con un alto potencial de rentabilidad y aplicabilidad, sin afectar la calidad de la producción cafetera.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: M. Sc. Diana Marcela Ibarra Mojica.

Abstract

Title: Diagnosis of alternatives for the management of waste generated in the process of benefiting organic coffee from the province of Guanentá (Santander).*

Author: María Camila Rueda Monroy**

Key words: coffee, coffee benefit, pulp, waste, environmental quality.

Description: The benefit of coffee is an activity that generates large quantities of fractions (pulp and mucilage) with pollutant loads and wastewater streams as a result of the use of water resources during the stages of the process, which leads to a possible alteration in the environment. In the present work some alternatives are proposed, based on the literature, for the management of the waste generated in the processing of organic coffee in the Province of Guanentá (Santander), taking as reference three farms (A, B and C), attached to the company Kafé Loma Verde. For this, the quantification of waste was carried out through in situ monitoring of the processes, during the second harvest of 2018 and the quality of the discharges was analyzed, based on its physicochemical characterization and the environmental effect generated in the environment with based on the standards stipulated in Colombian regulations and the Environmental Quality and Water Management Indices presented by Cenicafé. The results obtained show that, in conventional beneficiation systems, adopted in farms A and A, a specific water consumption exceeds 30 l * kg CPS and 47% of solid waste is generated, surpassing the quantities of optimal parchment coffee for marketing, which represents low yields in production and a greater environmental impact than the one generated in farm C, where water use has been limited and waste has been used. In this way, the alternatives suggested are closely related to the incorporation of processes without the use of water, and to simple practices for obtaining by-products with a high potential for profitability and applicability, without affecting the quality of coffee production.

* Thesis

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: M. Sc. Diana Marcela Ibarra Mojica.

Introducción

La caficultura es una de las actividades con mayor relevancia en el sector socioeconómico del departamento de Santander, caracterizado por la producción de cafés con sabores distintivos y especializados, de alto valor agregado desde el punto de vista ambiental (FNC: Federación Nacional de Cafeteros, 2012).

En las últimas décadas, algunas empresas con microlotes de café en la provincia de Guanentá del departamento, han incorporado nuevas técnicas de cultivo orgánico y especial, con el fin de obtener productos diferenciadores, con excelente calidad y mejores niveles de producción, que los productores de café convencionales (Bravo Monroy, Potts, & Tzanopoulos, 2016). Es así que las empresas orgánicas están ligadas a procesos de producción limpia y a estándares de sostenibilidad ecológica; sin embargo, durante el proceso de postcosecha o beneficio del café, se generan grandes cantidades de residuos, entre los que se encuentran el mucílago y la cáscara (Cenicafé: Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2011).

El manejo inadecuado de estos residuos, podría constituir un problema ambiental en el ecosistema cafetero (Oliveira & Franca, 2015); por este motivo, resulta importante revisar el efecto ambiental y emplear un tratamiento que permita lograr el equilibrio en la producción a través de la aplicabilidad de técnicas rentables e innovadoras (Heeger, Kosin, Cantergiani, & Andlauer, 2016) que finalmente conviertan los residuos en subproductos potenciales para la elaboración de productos con valor agregado.

Las técnicas desarrolladas, están relacionadas con procesos biotecnológicos para la producción de energía, alimentos, fertilizantes, entre otros. El interés radica en la composición química de los

residuos, que los convierte en sustratos ideales para el crecimiento de microorganismos; sin embargo, en algunos casos se pueden presentar limitaciones relacionadas a la misma composición (Janissen & Huynh, 2018).

Por otra parte, los sistemas de procesamiento que se han incorporado para el beneficio del café, requieren de una alta demanda de agua que finalmente genera vertimientos con concentraciones importantes de contaminantes orgánicos (Haddis & Devi, 2008). En este sentido, el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) ha impulsado la implementación de medidas de manejo para regular la disposición de las aguas residuales; sin embargo, en la Provincia de Guantán los resultados han sido poco favorables, dado que la inexistencia de conocimientos técnicos e infraestructura ha propiciado bajos índices de calidad en la producción cafetera durante la aplicación de algunas de las medidas propuestas.

Teniendo en cuenta lo anterior, mediante el desarrollo del presente trabajo de grado, se propone evaluar la generación de residuos procedentes del proceso de beneficio del café orgánico en la provincia de Guantán (Santander) y sugerir alternativas de manejo para la mitigación de posibles impactos ambientales.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar la generación de residuos procedentes del proceso de beneficio del café orgánico de las fincas adscritas a la empresa Kafé Loma Verde de la provincia de Guanentá y proponer alternativas de manejo para la mitigación de posibles impactos ambientales.

1.2. Objetivos específicos

- ❖ Estimar el tipo, cantidad y calidad de los residuos generados en el proceso de beneficio de café orgánico de las fincas adscritas a la empresa Kafé Loma Verde de la provincia de Guanentá.
- ❖ Proponer alternativas de manejo de los residuos identificados en el proceso de beneficio de café orgánico, con base en la literatura.

2. Marco teórico y estado del arte

La fruta o cereza del café está compuesta físicamente por pulpa, mucílago, pergamino, piel plateada y semilla (figura 1). En la parte externa se encuentra el pericarpio o cáscara, la cual se torna roja cuando está en su punto óptimo de madurez y es la que cubre la pulpa del fruto o mesocarpio exterior que se caracteriza por ser dulce y fibroso (Esquivel & Jiménez, 2012); inmediatamente debajo de la pulpa se encuentra una capa translúcida, delgada, viscosa y altamente hidratada de pectina, llamada mucílago, que está previo al pergamino o endocarpio del café. Este último se encuentra encima de la piel plateada, la cual recubre las semillas o granos, que son los que finalmente se utilizan para el consumo (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009).

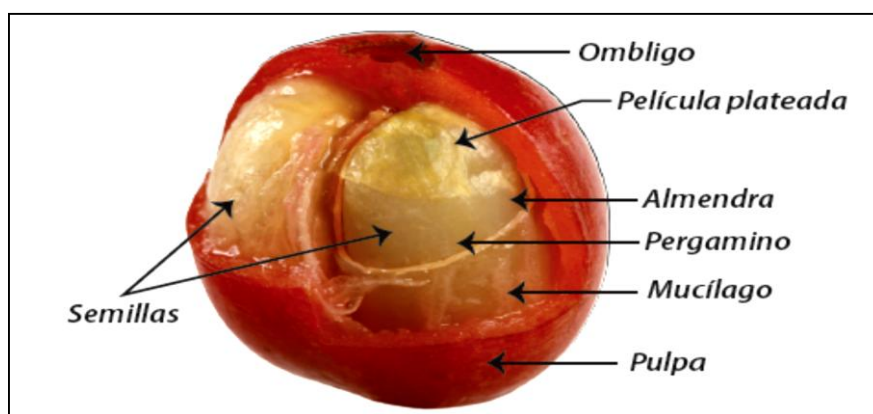


Figura 1. Composición del fruto de café.

Por Ramos G., Sanz U., & Oliveros T., (2010).

Para los frutos maduros se han generalizado las proporciones de pulpa, mucílago y grano de café pergamino que se muestran en la figura 2. Estos componentes representan la mayor parte del fruto y pueden presentar variaciones dependiendo del grado de madurez, la semilla y las condiciones de cultivo (Puerta Q. G. I., 2012).

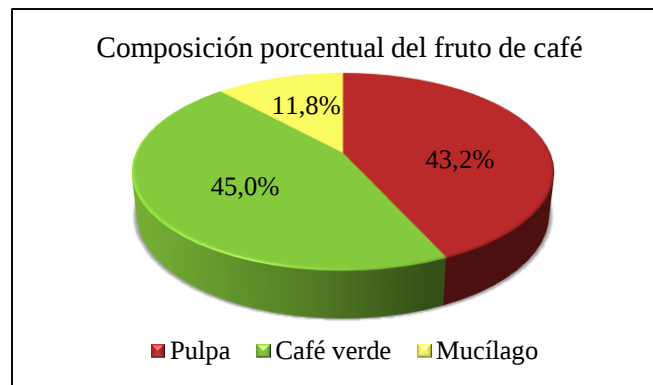


Figura 2. Proporciones másicas en base húmeda de los componentes del fruto de café en su estado óptimo de madurez. Adaptado de Arcila P., Farfán V., Moreno B., Salazar G. , & Hincapié G. , (2007).

2.1 Beneficio del café

El beneficio es el proceso que permite realizar la transformación de los frutos de café fresco a café pergamino seco de alta calidad (figura 3), con una humedad en el rango del 10% al 12% en base húmeda, óptima para la comercialización (Rodríguez V., Sanz U., Oliveros T., & Ramírez G., 2015) y adecuada para preservar sus propiedades intrínsecas asociadas a las condiciones ambientales a las que es sometido durante el cultivo (Sanz U. J. R., Oliveros T., Ramírez G., Peñuela M., & Ramos G., 2013)

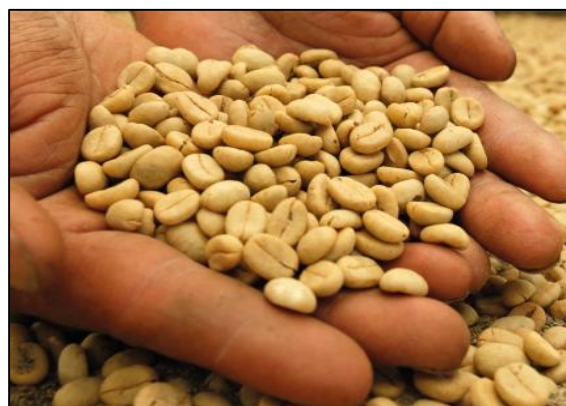


Figura 3. Café pergamino seco apto para la comercialización en Colombia. Por Federación Nacional de Cafeteros (2016). Recuperado de https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/produccion_de_cafe_de_colombia_crecio_3_en_ultimos_12_meses.

Existen principalmente dos métodos para el procesamiento de los frutos recolectados: beneficio seco y beneficio húmedo; sin embargo, recientemente se han desarrollado procesos de beneficio semiseco o honey con el fin de obtener productos de especialidad con características diferentes y reducir el uso de agua (Bonilla H., Duarte, & Schwan, 2014).

2.1.1 Beneficio húmedo. Tradicionalmente en Colombia se ha implementado el proceso de beneficio húmedo, en el que los frutos recolectados se someten a una etapa de selección, despulpado, remoción del mucílago mecánicamente o por fermentación, lavado y secado, generando fracciones separadas de mucílago y pulpa, considerados como los principales residuos del proceso (Prata & Oliveira, 2007). Este método requiere grandes cantidades de agua limpia, que finalmente representan formas severas de contaminación (Haddis & Devi, 2008).

El café procesado por vía húmeda se caracteriza por su notas suaves y una calidad de grano superior a la del café obtenido por otros procesos como el beneficio seco, debido a la etapa de fermentación que influye en el sabor del producto final (Cenicafé: Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2004), lo que representa una gran aceptación en el mercado (Knopp, Bytof, & Selmar, 2006).

En Colombia, el café es catalogado como suave-lavado debido a las variedades cultivadas y al procesamiento húmedo de las mismas (Puerta Q. G. I., 1999).

2.1.2 Beneficio seco. En esta técnica los frutos de café son secados inmediatamente después de ser recolectados, logrando la impregnación de la semilla con los azúcares y otros compuestos presentes en el mucílago. La pulpa, el mucílago y el pergamino, se retiran mecánicamente durante el proceso de descascarillado de manera simultánea y en una sola fracción (Prata & Oliveira, 2007), limitando el uso de agua a la sección de limpieza y selección de los frutos (Knopp et al., 2006).

2.1.3 Beneficio semiseco. En el proceso semiseco, honey o enmelado, los frutos son procesados sin remover el mucílago que recubre el grano; de este modo, se fermentan y se llevan a una etapa de despulpado en donde se genera una fracción de café con mucílago y otra de cáscara. Posteriormente, el grano recubierto con mucílago es secado en silos o patios con el fin de reducir el contenido de humedad del café pergamino hasta el 10-12%, como en los otros procesos. El café honey es considerado café de especialidad con características en taza que lo diferencian del mercado nacional, agregando así, valor a la cadena productiva (Mejía L., Acero R., Duque B., & Serna J., 2016).

2.2 Residuos del beneficio del café

La industria cafetera es considerada una de las agroindustrias que más contamina el agua en los países en vía de desarrollo (Woldesenbet, Woldeyes, & Chandravanshi, 2014); es por esto que la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), en conjunto con el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), han estudiado y sugerido algunas prácticas que permiten evitar y/o reducir en gran medida los posibles impactos ambientales ocasionados por la generación de residuos, mediante procesos de producción limpia, que conllevan a la valorización del café y de sus subproductos. Las alternativas comprenden procesos ecológicos relacionados a transformación en abono orgánico, biomasa para alimentación animal, producción de hongos comestibles, obtención de biocombustibles, entre otros. Por otra parte, algunas tecnologías están encaminadas a disminuir el consumo específico de agua y asumir con responsabilidad ambiental el uso de este recurso (Rodríguez V. N. et al., 2015), estas reúnen técnicas totalmente mecánicas que hacen posible un mayor control de la contaminación (Oliveros T., Sanz U., Ramírez G., & Tibaduiza V., 2013). Sin embargo, la falta de información específica en algunas zonas, ha limitado la efectividad de la aplicación de las técnicas propuestas.

La cáscara, el mucílago y el agua utilizada en los procesos (aguas residuales), son los principales residuos generados durante el beneficio del café.

2.2.1 Cáscara y pulpa. Esta fracción es generada durante la etapa de despulpado a través de una pantalla que ejerce presión sobre el fruto recolectado; en el beneficio húmedo se hace preciso el uso de agua con el fin de facilitar la separación (Belitz et al., 2009). La cáscara-pulpa es rica en azúcares, proteínas, minerales y también contiene cantidades apreciables de taninos, polifenoles y cafeína (Pandey, y otros, 2000), así como sustancias grasas y ácidos clorogénicos que al ser incorporados al agua, durante las etapas de despulpado y transporte de la misma, presentan bajas tasas de degradabilidad (Rodríguez V. N. et al., 2015); por este motivo, es considerada el principal residuo generado en los procesamientos húmedos (Bonilla H. et al., 2014).

2.2.2 Mucílago. El mucílago es la capa de consistencia viscosa que recubre el grano despulpado y debe removerse a través de procesos de fermentación o de manera mecánica con una máquina desmucilagadora (Chanakya & De Alwis, 2004). Está compuesto principalmente por agua, proteína, azúcar, sustancias pécticas y ceniza (Belitz et al., 2009) y contiene levaduras, bacterias y hongos. Las cantidades de mucílago se generan en el beneficio en forma de aguas mieles y varían según el estado de madurez del fruto y el volumen de agua destinado para su remoción en el caso del desmucilagado mecánico (Puerta & Ríos, 2011).

2.2.3 Aguas residuales. En el procesamiento del café se generan grandes volúmenes de efluentes, generalmente como resultado del uso de agua durante el beneficio (Dadi, y otros, 2018). El manejo inadecuado de estas aguas residuales puede significar riesgos ambientales, debido a que presentan alta carga orgánica, nutrientes, sales y agroquímicos (Matos, Eustáquio Júnior, Pereira,

& Matos, 2007), que pueden dar como resultado fermentaciones con alta demanda biológica y química de oxígeno (Kulandaivelu & Bhat, 2012).

2.3 Indicadores para el análisis ambiental del beneficio del café

2.3.1 Normatividad ambiental colombiana. En la resolución 631 del 17 de marzo de 2015, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece los parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales de actividades productivas como el beneficio del café, con el fin de controlar la contaminación orgánica e impacto ambiental sobre los cuerpos de aguas superficiales. Esta resolución evalúa la calidad del agua a partir de materia orgánica biodegradable (DBO_5), materia orgánica no biodegradable (DQO), sólidos suspendidos y sedimentables (SST, SSED), nutrientes (NT y PT), entre otros (República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). (Ver apéndice A).

2.3.2 Indicadores ambientales de Cenicafé. Según estudios publicados por Cenicafé, el Índice de Manejo del Agua y el Índice de Calidad Ambiental, son indicadores ambientales que permiten controlar la contaminación hídrica en el proceso de beneficio del café (Rodríguez V. N. et al., 2015).

2.3.2.1 Índice de manejo de agua. El Índice de Manejo del Agua permite la cuantificación del consumo y determinación del ahorro y uso eficiente del agua en el proceso de beneficio del café. En este indicador se consideran cada una de las etapas durante el procesamiento y su ponderación respectiva de acuerdo al consumo de agua y a la práctica empleada. La escala del indicador se mueve en el rango entre cero (0) y uno (1), siendo el primer valor un índice de gran consumo que no representa ahorro de agua y se interpreta como una acción de presión sobre el recurso hídrico superficial, mientras que el último indica el no uso de agua durante el beneficio;

en este sentido, el aumento en la escala y la proximidad al valor de uno (1), representa el ahorro de agua en el procesamiento y el uso eficiente del recurso (Rodríguez V. & Quintero Y., 2015).

2.3.2.2 Índice de calidad ambiental. El Índice de Calidad Ambiental en el proceso de beneficio del café, permite valorar el posible impacto ambiental ocasionado por el manejo, disposición y tratamiento de los subproductos del café sobre los recursos naturales del ecosistema cafetero. En este indicador se consideran cada una de las etapas del proceso de beneficio en las cuales se genera contaminación orgánica y su ponderación de acuerdo al impacto contaminante generado. De manera similar al índice de manejo de agua, la escala del indicador de calidad ambiental se mueve en el rango entre cero (0) y uno (1), siendo el primer valor un índice de máximo impacto ambiental sobre los recursos naturales y el último, un índice de buen manejo, valorización y tratamiento de los subproductos, sin generación de impactos sobre el entorno (Rodríguez V. & Quintero Y., 2015).

3. Metodología

Para los fines propuestos en el presente proyecto de investigación, se tomó como punto de referencia el procesamiento realizado en los beneficiaderos de tres fincas orgánicas (Finca A, Finca B y Finca C), adscritas a la empresa Kafé Loma Verde de la provincia de Guanentá (Santander). La metodología se dividió en dos fases principales, presentadas a continuación.

3.1 Fase I: Estimación del tipo, cantidad y calidad de los residuos

3.1.1 Inspección de la zona. El registro del estado actual de las fincas se llevó a cabo por medio de la toma de datos in situ durante el mes de noviembre de la segunda cosecha del 2018 y la aplicación de una encuesta a los encargados del proceso de beneficio en cada una de ellas. Los

datos de interés están relacionados con el procesamiento (húmedo, seco o semiseco), el tiempo de operación, materia prima e insumos del proceso, las fuentes de abastecimiento hídrico, los principales residuos generados, su disposición final y los planes de manejo que han implementado para la disminución de efectos contaminantes. Por otra parte, se identificaron las etapas, equipos y características de los sistemas de beneficio incorporados en las tres fincas.

3.1.2 Cuantificación y caracterización de residuos. Se tomaron como referencia tres muestras de 100 kg de café en cereza en cada una de las fincas y se llevaron a la etapa de selección que es común en todos los procesos de beneficio. De este modo, cada una de las muestras de café se depositó en un tanque con agua con el fin de identificar los granos defectuosos, sobremaduros o flotes, por diferencias de densidad. Se separaron y se pesaron. Los datos obtenidos permitieron calcular el porcentaje promedio de frutos sobremaduros y la calidad de la materia prima para el lote analizado en las fincas A, B y C. Los frutos óptimos se sometieron al proceso de beneficio habitual en cada finca y se generaron las fracciones de pulpa del proceso, las cuales se pesaron para determinar su relación en base húmeda con respecto a la masa inicial de café en cereza. Así mismo, el café pergamino seco, producto principal del proceso, también se cuantificó para determinar el porcentaje de rendimiento o factor de conversión de frutos frescos a café pergamino apto para la comercialización.

Se determinaron los caudales volumétricos promedio para las corrientes de captación hídrica y vertimientos de aguas residuales de los beneficiaderos convencionales (húmedo). El monitoreo se realizó durante el beneficio de las tres muestras de frutos óptimos en cada finca, según lo sugerido por el IDEAM (2007) y se utilizó el método volumétrico simultáneamente para todas las corrientes; de este modo, se registró el tiempo de llenado de un recipiente aforado (baldes de 10

litros de capacidad y graduaciones de 1 litro), al inicio y al final de los procesamientos. Se registraron los datos y se hallaron los caudales promedio a partir de la ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Con los caudales determinados se cuantificó el volumen hídrico o consumo específico de agua utilizada para obtener el producto final. En el caso de los sistemas de beneficio semiseco, se cuantificó el agua destinada a la etapa de selección de los frutos, a través del volumen del tanque.

Seguidamente, se tomaron muestras de las aguas residuales en las tres fincas y se preservaron según el protocolo de toma de muestras estipulado por el IDEAM (2007) (apéndice B). Se realizó el análisis fisicoquímico básico, tomando como punto de referencia las variables consideradas en la resolución 631 de 2015 para los vertimientos de aguas provenientes del beneficio del café.

Los parámetros correspondientes a DBO₅, DQO, grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total y color real se analizaron en el laboratorio de aguas y suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM de la UIS, siguiendo los métodos presentados en la tabla 1.

Tabla 1.

Métodos empleados para la determinación de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales generadas en el beneficio del café.*

Parámetro	Unidades	Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l O ₂	Incubación a 5 días- electrodo de membrana, Standard Methods 5210 B, 4500- O G.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l O ₂	Reflujo Cerrado- Colorimétrico Standard Methods 5220 D.
Grasas y aceites	mg/l	Extracción Soxhlet. Standard Methods 5220 D.
Fósforo total	mg/l P	Digestión- Colorimetría. Standard Methods 4500 P, B, D.
Nitrógeno total	mg/l N	Standard Methods 4500 NORG C 4500-NH ₃ B, C.
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm, 620 nm)	m ⁻¹	Colorimétrico.

Nota: *Información suministrada por el laboratorio de aguas y suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM).

El análisis correspondiente a Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Sedimentables (SSED) se determinó en el laboratorio de Biomasa de Ingeniería Química de la UIS, siguiendo el protocolo TP0088 del IDEAM (2007) como se describe a continuación.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Inicialmente, las muestras de aguas residuales, se llevaron a temperatura ambiente para ser analizada. Se dispuso de un disco de papel filtro de grado 391, el cual se lavó con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada y se sometió inmediatamente al vacío en un medio filtrante (ver apéndices F). Se colocó el filtro sobre un vidrio reloj y fue llevado durante una hora al horno precalentado a 105°C. Transcurrido el tiempo, se sacó del horno y se llevó a un desecador por 15 minutos, dejando enfriar hasta temperatura ambiente. Se pesó el conjunto vidrio reloj + filtro y se registraron los datos repitiendo el procedimiento hasta alcanzar peso constante. Seguidamente se tomaron 50 ml de la muestra de referencia y se transfirieron cuantitativamente al filtro ubicado nuevamente en el equipo filtrante. Se sometió al vacío y una vez terminada la filtración, se retiró y se llevó al horno a las mismas condiciones de operación previamente mencionadas. Se repitió el procedimiento para el conjunto vidrio reloj + filtro, esta vez con el residuo seco. Por último, con los datos obtenidos se determinaron los Sólidos Suspendidos Totales a partir de la ecuación 2.

$$SST = \frac{(a - b) * 1000}{V} \quad \text{Ecuación 2}$$

SST significa Sólidos Suspendidos Totales, en mg/l; “a” es el peso final del conjunto (vidrio reloj y filtro de papel) con el residuo seco, en mg; “b” es el peso inicial del conjunto (vidrio reloj y filtro de papel), en mg y V es el volumen de muestra filtrada, en ml.

- **Sólidos Sedimentables (SSED).** Se agitó la muestra de aguas residuales hasta obtener una mezcla homogénea. Consecutivamente se tomaron 1000 ml en una probeta y se transfirieron a un

cono de Imhoff. Pasados 45 minutos, se frotó la pared interna del cono con una varilla agitadora para desprender las partículas adheridas. Se dejó sedimentar durante 15 minutos más y finalmente se registró el volumen de sólidos sedimentables aparentemente visibles en la parte inferior del cono. Se repitió el procedimiento con las muestras tomadas en cada finca.

Por otra parte, la caracterización fisicoquímica de la cáscara generada en los tres sistemas de beneficio, se estableció con base en la literatura y estudios realizados por otros autores, teniendo en cuenta que sus características no presentan variaciones importantes (Pandey, y otros, 2000).

3.1.3 Análisis del efecto ambiental de los procesos. Se hizo una estimación del efecto ambiental de los procesos de beneficio de las fincas A, B y C, partiendo de los estándares de la normatividad ambiental colombiana y los indicadores ambientales estudiados por Cenicafé (Índice de Manejo de Agua e Índice de Calidad Ambiental). De este modo, se analizó la caracterización fisicoquímica previamente determinada para las aguas residuales de los tres procesos, con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en el capítulo VI de la resolución 631 de 2015.

También se identificaron los dispositivos y prácticas empleadas en los beneficiaderos, según la información primaria recopilada en cada zona, con el fin de realizar la ponderación respectiva y la determinación de los indicadores mencionados.

3.2 Fase II: Alternativas de manejo de los residuos identificados

La elaboración del marco conceptual del problema identificado en los procesos de beneficio de café, tuvo como punto de referencia la elección de fuentes documentales de la base de datos del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), la Universidad Industrial de Santander (UIS) y otros medios bibliográficos. El diagnóstico de alternativas se basó en los resultados obtenidos en los apartados anteriores y en propuestas procedentes de estudios y análisis investigativos claves en la identificación de las posibles

soluciones que se han planteado para el manejo de residuos, teniendo en cuenta las características y cantidad de los mismos y las condiciones ambientales de la zona.

4. Resultados y análisis

4.1 Estimación del tipo, cantidad y calidad de los residuos

4.1.1 Inspección de la zona. En las fincas A, B y C, el café es cultivado en condiciones orgánicas especiales y es recolectado de forma manual, cuidadosa y selectiva todos los años durante las épocas de cosecha, cuando los frutos han alcanzado un grado de madurez adecuado (frutos con tonalidades rojas), como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Recolección manual del fruto de café en su punto óptimo de maduración.

Por Kafé Loma Verde (2018). Recuperado de <https://www.kafelomaverde.com/procesos/>

Los datos más relevantes relacionados con el proceso de beneficio de las tres fincas, se resumen en la tabla 2. Así mismo, en el apéndice C se muestra a detalle la información primaria recopilada en la zona.

Tabla 2.

Características de los procesos de beneficio de las fincas.

Finca	Procesamiento	Insumos requeridos	Residuos generados	Disposición final	Fuente de abastecimiento hídrico
Finca A* Finca B**	Húmedo con secado mecánico	Café en cereza	Mucílago	Vertimiento a pozo séptico	Aljibe y quebrada* Aljibe**
		Agua	Pulpa	Elaboración de compostaje	
Finca C	Semiseco o honey con secado solar	Café en cereza	Aguas residuales	Vertimiento a pozo séptico	Acueducto
		Agua	Pulpa	Elaboración de bebidas aromáticas	
			Aguas residuales	Vertimiento directo sobre el suelo	

Se identificó que en las fincas A y B el procesamiento es convencional, sistematizado y con secado mecánico, debido a las grandes capacidades de producción todos los años, que se aproximan a 68.000 y 100.000 kg de café pergamino seco, respectivamente. Los recursos hídricos requeridos en casi todas las etapas del beneficio son captados de fuentes superficiales (quebradas) y subterráneas (aljibes) de la zona aledaña.

De otro modo, en la finca C se ha incorporado el beneficio semiseco con secado solar y el proceso es manual en su totalidad, debido a que la capacidad de producción cafetera es significativamente baja. Teniendo en cuenta que durante el beneficio semiseco se requieren menores cantidades de agua que durante el procesamiento por vía húmeda, el recurso hídrico es suministrado por el sistema de acueducto de la finca.

En las tres fincas, los frutos frescos son sometidos a una etapa de selección y clasificación con agua antes del despulpado; de este modo, son vertidos en tolvas o tanques con agua para separar los frutos flotantes o defectuosos, las piedras y los palos, por diferencias de densidad. Las etapas posteriores difieren en cada proceso y se describen a continuación.

4.1.1.1 Finca A y Finca B: beneficio húmedo. El café en cereza previamente seleccionado en la tolva húmeda es conducido por acción gravitacional a la zona de despulpado que consta de cuatro despulpadoras mecánicas con función de desmucilaginator, en las que se generan, con uso de agua, dos fracciones sólidas correspondientes a la pulpa y el café pergamino húmedo y una fracción combinada de mucílago y agua, conocida como aguas mieles (ver figura 5). La pulpa resultante del proceso es transportada con uso de agua hacia una fosa techada en donde se apila y se almacena hasta su descomposición. El agua utilizada en las diferentes etapas, finalmente se combina con las aguas mieles y la corriente total es vertida a un pozo séptico.

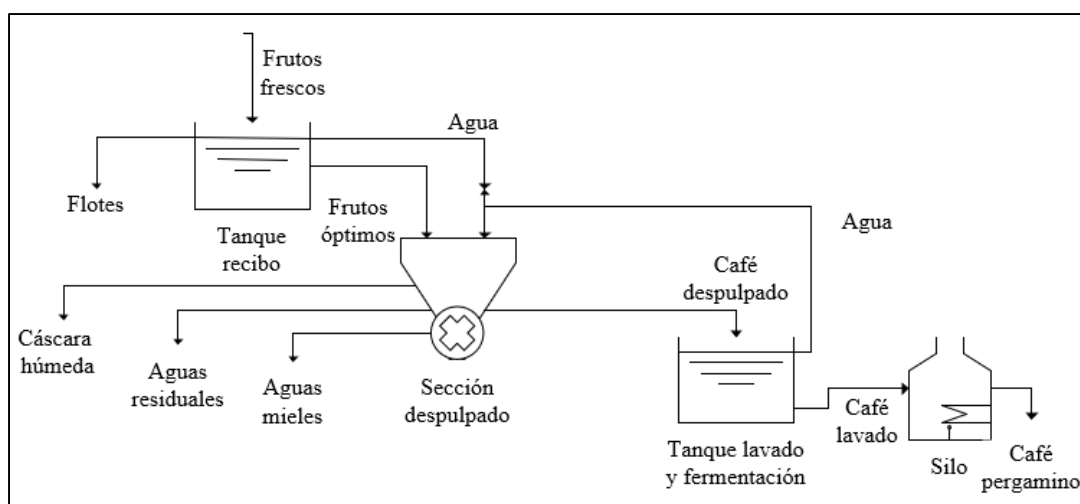


Figura 5. Diagrama del proceso de beneficio húmedo de las fincas A y B.

Los granos de café despulpado, son conducidos a los tanques de fermentación y lavado con el fin de retirar las fracciones residuales de mucílago. La fermentación dura de 12 a 18 horas, dependiendo de las condiciones del café y la calidad del agua. En esta etapa, el agua es bombeada e incorporada nuevamente al proceso. Finalmente, los granos lavados son sometidos a secado mecánico en un silo que opera a 50 °C aproximadamente, hasta alcanzar una humedad cercana al 11% en base húmeda.

4.1.1.2 Finca C: beneficio semiseco. En la Finca C se han modificado las técnicas de beneficio en los últimos años, implementado el proceso honey o semiseco, con el fin de disminuir el uso de agua y la generación de residuos.

Los frutos recolectados se almacenan en sacos o costales en donde son fermentados a condiciones ambientales durante 48 horas y posteriormente son seleccionados en un tanque con agua, como se observa en la figura 6.

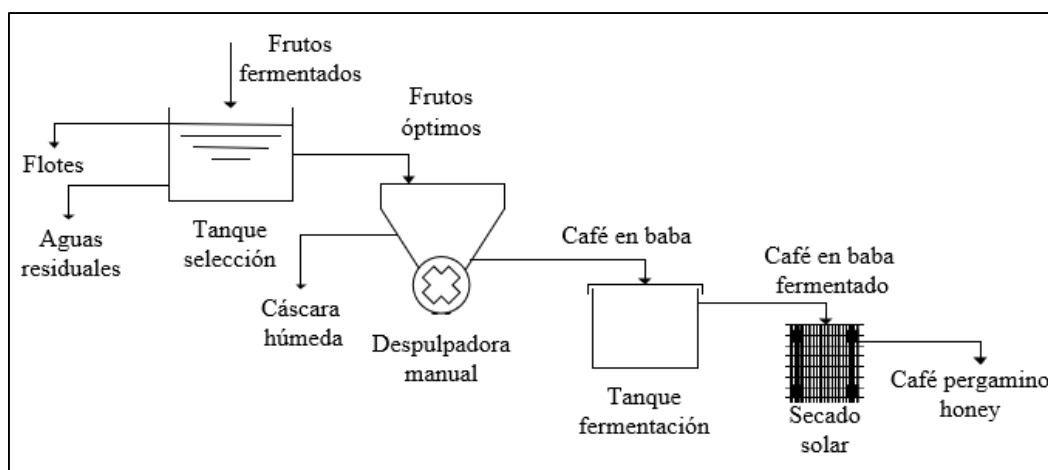


Figura 6. Diagrama del proceso de beneficio semiseco de la finca C.

Los frutos óptimos, son recibidos directamente en la tolva de la despulpadora manual en donde, sin uso de agua, se generan las fracciones de cáscara y café en baba o con mucílago.

El café en baba es fermentado en tanques destapados durante 24 horas con la finalidad de impregnar las propiedades del mucílago y obtener un producto diferenciador; finalmente es expuesto a secado natural. La cáscara obtenida también es secada hasta su deshidratación para su posterior aprovechamiento y utilización en la elaboración de infusiones aromáticas desarrolladas por la empresa Kafé Loma Verde. Las aguas residuales procedentes de la etapa de selección, son vertidas directamente sobre el suelo, dada la inexistencia de información para la disposición de las mismas.

4.1.2 Cuantificación y caracterización de los residuos.

4.1.2.1 Calidad de la materia prima. La masa de frutos sobremaduros registrada en cada lote, presentó una variación mínima en las tres muestras evaluadas (ver tabla D1 del apéndice D), lo que permitió determinar la calidad promedio de la materia prima recolectada en función del porcentaje de frutos óptimos (frutos maduros sin defectos) y defectuosos (frutos sobremaduros o flotes) para cada una de las fincas. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.

Calidad promedio de los frutos recolectados.

Finca	% Frutos óptimos	% Frutos defectuosos
A	95,937	4,063
B	95,873	4,127
C	95,893	4,107

Se observa que en la finca B se presentó un 4,127 % de frutos sobremaduros, correspondiendo al valor más alto, seguido del 4,107 % y 4,063 % en el caso de las fincas C y A, respectivamente, lo que significa un mayor índice de calidad en los frutos recolectados en la última finca. Los resultados radican en los métodos manuales de cosecha y recolección; sin embargo, en las tres fincas el porcentaje de frutos defectuosos es inferior al 5%, cumpliendo con los estándares estipulados por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) para la recolección óptima de café (FNC: Federación Nacional de Cafeteros, 2004).

4.1.2.2 Rendimiento de los procesos. El rendimiento de los procesos expresado en función de la masa de café pergamino seco (CPS), con respecto a la masa de café en cereza óptimo procesado, arrojó los resultados expuestos en la figura 7, en la que también se observa la relación correspondiente al porcentaje de café obtenido en la etapa de despulpado en cada una de las fincas.

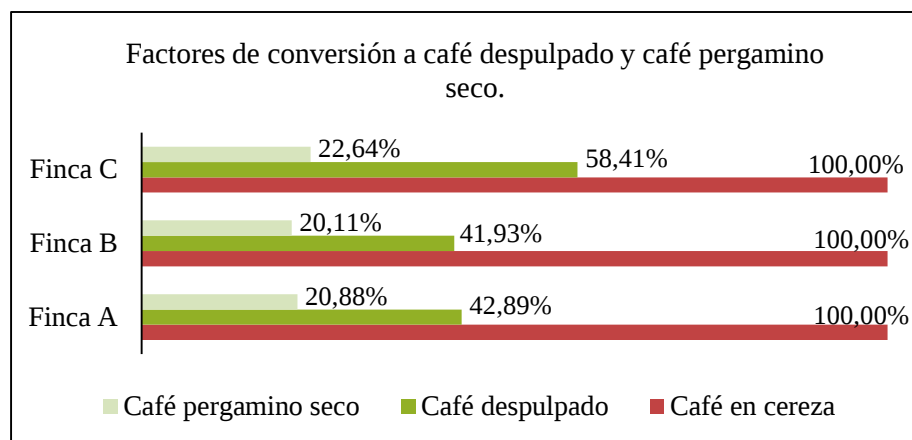


Figura 7. Relación porcentual promedio del café despulpado y el café pergamino seco en base húmeda, con respecto a la masa inicial de café en cereza de las fincas.

La finca C presentó el mayor rendimiento o factor de conversión del producto principal del beneficio del café, registrando un valor promedio correspondiente al 22,64% de los frutos frescos de las muestras evaluadas. Es decir, se necesitan 100 kg de café en cereza óptimo para producir aproximadamente 22,6 kg de café tipo honey con un 11% de humedad y las características necesarias para su comercialización. En el caso de las fincas A y B, los porcentajes de rendimiento registrados fueron de 20,88% y 20,11% respectivamente (Tabla D2 del apéndice D). En los tres casos los valores se aproximan a los registrados en la literatura por Montilla P. et al. (2008).

El beneficio semiseco empleado en la Finca C, permitió obtener el mayor porcentaje de rendimiento debido a la incorporación del mucílago en el producto final; de este modo, se evidencia la reducción favorable en las pérdidas de los subproductos de los frutos procesados. Lo anterior también se ve reflejado en los porcentajes en peso del café obtenido después de la etapa de despulpado, en la que se generó en promedio un 58,41% del total de los frutos frescos sometidos a beneficio, mientras que en los sistemas convencionales el valor estuvo alrededor del 42,00%.

4.1.2.3 Cuantificación de los residuos. Durante la etapa de despulpado en las tres fincas se generaron las fracciones de pulpa húmeda y café, en las proporciones que se exhiben en la figura 8. En la tabla D3 (apéndice D), se consignan los datos registrados in situ para cada muestra.

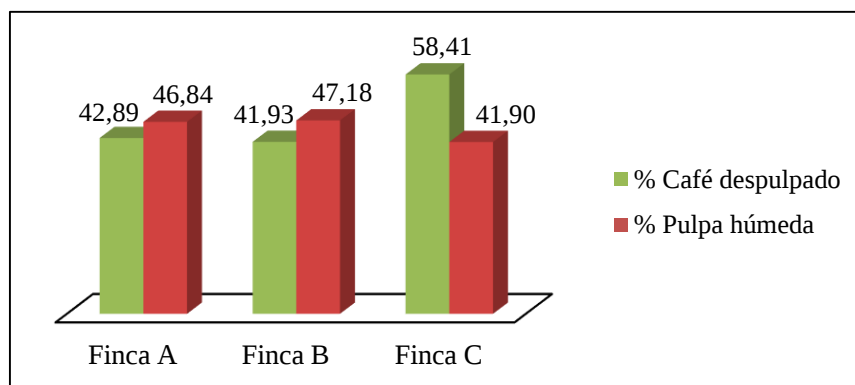


Figura 8. Relación porcentual promedio de café despulpado y cáscara en base húmeda, con respecto a la masa inicial de café en cereza de las fincas.

La pulpa resultó ser el subproducto más representativo en el procesamiento húmedo de las muestras de las fincas A y B, mientras que en la finca C las tres muestras procesadas por beneficio semiseco, generaron una mayor fracción de café (café con mucílago), que finalmente es el subproducto de interés en los procesos de beneficio. De lo anterior se infiere que los sistemas convencionales generan en promedio un 47% de pulpa, adicional a los otros residuos, mientras que en el beneficio honey, el 41,9% comprende, junto con los pequeños volúmenes de agua destinada a la etapa de selección, el porcentaje total de los residuos generados.

En la tabla 4 se presentan los caudales de las corrientes de vertimientos de las fincas con procesamiento húmedo (fincas A y B).

Los datos tabulados, son el resultado del monitoreo presentado en las tablas E1 y E2 de los apéndices.

Tabla 4.

Caudales volumétricos de las aguas residuales generadas en los procesamientos húmedos.

Corriente	Caudal volumétrico (l/s)	
	Finca A	Finca B
Aguas mieles	0,0367	0,0346
Agua transporte pulpa	0,1470	0,1396
Agua transporte café despulpado	0,3387	0,2546

Estos caudales representan volúmenes aproximados de 3761, 57 y 3087,73 litros de aguas residuales, vertidas diariamente durante las épocas de cosecha en la Finca A y la Finca B, respectivamente. A partir de estos datos, se puede deducir que en la finca A se genera un mayor vertimiento de aguas residuales dados los volúmenes de agua destinados al proceso y las capacidades de producción de la finca.

En el caso de la finca C, no se hizo monitoreo de caudales de salida debido a que el procesamiento es semiseco y no se generan corrientes de vertimiento, a excepción del agua empleada en la etapa de selección, que es vertida directamente y en su totalidad, sobre el suelo; por esta razón, sólo se registró la lectura del contador de agua del beneficiadero al comienzo y al final del tiempo de llenado del tanque de selección.

El volumen de agua registrado fue de 250 l por día.

4.1.2.4 Consumo de agua. En la figura 9 se muestra el consumo específico de agua en unidades de volumen por masa de café pergamino seco (l de agua/kg de cps) determinado durante los procesos de beneficio asociados a las tres fincas. Estos resultados se hallaron a partir de los caudales de entrada de agua a los procesos (ver tabla E3 de los apéndices), para el caso de la fincas A y B, y a partir de la lectura del contador, para el caso de la finca C.

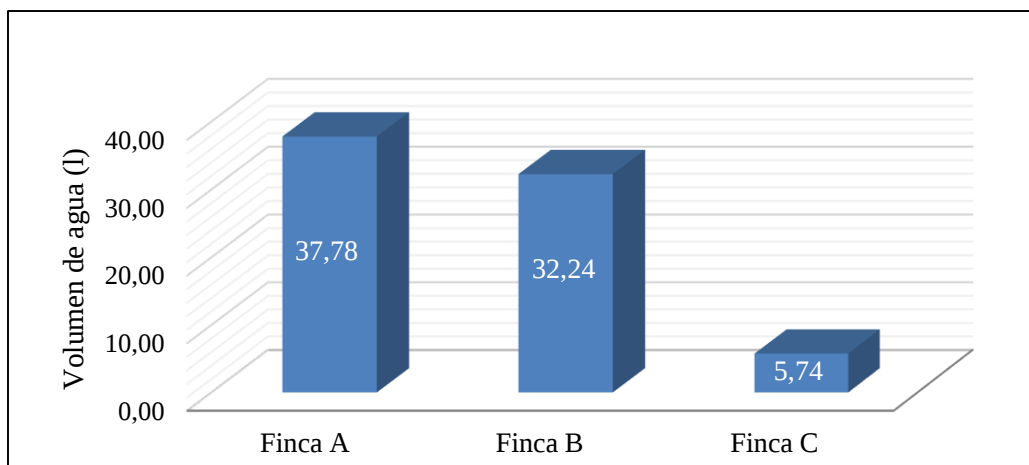


Figura 9. Consumo específico de agua en el proceso de beneficio de café de las fincas.

Se observa que en los casos A y B, se presentó un consumo de agua superior a los 30 l/kg de cps, siendo un valor seis veces más alto que el valor promedio registrado por las muestras procesadas en la finca C, lo que evidencia un bajo índice de consumo hídrico en el procesamiento semiseco, en el cual se requieren aproximadamente 5,74 l de agua para la producción de 1 kg de café pergamino honey; por consiguiente, se consumieron alrededor de 7,88 l y 6,48 l de agua por cada kilogramo de fruto fresco de las muestras procesadas por vía húmeda en las fincas A y B respectivamente; por otra parte, en el caso C, se destinaron apenas 2,5 l de agua por kilogramo de café en cereza (ver tabla E4 de los apéndices).

4.1.2.5 Caracterización de los residuos. En la tabla 5 se consignan los valores correspondientes a los parámetros necesarios para la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales (corriente combinada de aguas mieles, agua de transporte de la pulpa y agua de transporte del café), obtenidos a través de los análisis de laboratorio. El respectivo análisis se realiza en el apartado 4.1.3.1.

Tabla 5.

Parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales.

Parámetro	Unidades	Finca A		Finca B		Finca C	
pH	Unidades de pH	4,43		4,87		3,84	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l O ₂	3347		25617		11980	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/l O ₂	1060		7908		5194	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	286		118		268	
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/l	No presenta sólidos sedimentables		185		170	
Grasas y aceites	mg/l	<10		<10		<10	
Fósforo Total (P)	mg/l	8,9		39,3		32,8	
Nitrógeno Total (N)	mg/l N	94		194		150	
Color Real	m ⁻¹	λ=436 nm	8,9	λ=436 nm	64,0	λ=436 nm	11,8
		λ=525 nm	4,1	λ=525 nm	25,0	λ=525 nm	4,1
		λ=620 nm	2,4	λ=620 nm	10,0	λ=620 nm	<1,8

En cuanto a la fracción cáscara-pulpa, la composición depende del modo de procesamiento, la variedad y las condiciones del cultivo; sin embargo, la naturaleza de los compuestos presentes es muy similar (Pandey, y otros, 2000) y está compuesta por un 76,7% de humedad, 23,3% de materia seca, 3,4% de fibra, 1,5% de cenizas y 15,8% de extracto libre de nitrógeno. Otros compuestos de interés están relacionados a taninos (1,8-8,56%), sustancias pécticas (6,5%), azúcares reductores (12,4%), cafeína (1,3%) y ácido clorogénico y caféico (2,6 y 1,6% respectivamente) (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 1998).

4.1.3 Análisis del efecto ambiental de los procesos.

4.1.3.1 Normatividad ambiental: caracterización de las aguas residuales. Los vertimientos de aguas residuales provenientes de los tres sistemas de beneficio presentaron algunas características fisicoquímicas no deseables que se encuentran fuera de los estándares de la

resolución 631 de 2015, como se observa en la tabla 5 (datos en rojo). Estas características están relacionadas a pH bajos (acidez alta) y altas cargas de materia orgánica expresadas en DQO y DBO₅. En las tres fincas se superan los límites permisibles de DQO y sólo en las fincas A y B, se presenta una alta carga de materia orgánica biodegradable (DBO₅). Así mismo, la presión contaminante de las fincas B y C, se ve reflejada en la cantidad de sólidos sedimentables vertidos, mientras que en el caso A se presentó una particularidad, ya que, transcurrido el tiempo del análisis, la muestra no se sedimentó (ver apéndice F). Se repitió el análisis, sin embargo, el comportamiento fue el mismo.

A pesar de que los demás parámetros se encuentran dentro de los estándares de la normatividad colombiana, se infiere que las aguas residuales procedentes de las fincas, presentan un bajo índice de calidad que repercute en el entorno cafetero de la provincia de Guanentá.

4.1.3.2 Cenicafé: Índice de manejo de agua. En la tabla G1 del apéndice G, se describen las prácticas empleadas en cada etapa del beneficio de las fincas y la ponderación respectiva para cada una de ellas. Los valores obtenidos corresponden a 0,883 para la finca C y 0,408 para las fincas A y B. En el caso de la finca C se presenta el acumulado más próximo a uno (1) en la escala del indicador, lo que representa un mayor ahorro de agua en las prácticas empleadas en esta finca. Lo anterior era de esperarse debido a que, en este caso específicamente, se ha incorporado el beneficio semiseco precisamente con el fin de hacer un uso eficiente del agua en cada una de las etapas del proceso. Por otra parte, en las fincas A y B, las etapas de despulpado, transporte de pulpa y transporte del café despulpado representan un índice de gran consumo de agua que finalmente se interpreta como una acción de presión sobre el recurso hídrico superficial, constatando así los resultados obtenidos sobre el consumo específico de agua.

4.1.3.3 Cenicafé: Índice de calidad ambiental. En la tabla 6 se observa que el índice de calidad ambiental de finca A y finca B, es significativamente menor que el ponderado obtenido para la Finca C, por lo que se infiere que en el primer caso se presenta mayor impacto ambiental sobre los recursos naturales, mientras que en el último, el valor es muy cercano a uno (1), significando un índice de buen manejo, valorización y tratamiento de los subproductos, con bajo impacto en el entorno cafetero, como ya se ha mencionado anteriormente.

Tabla 6.

Índice de calidad ambiental de los procesos.

Parte del fruto responsable de la contaminación	Finca/ponderación	
	Finca A y Finca B	Finca C
Pulpa	0,301	0,721
Mucílago	0,100	0,260
Indicador total	0,401	0,981

En el caso A y B, los indicadores presentaron el mismo valor, como resultado de la incorporación de prácticas similares en las dos fincas. Por otra parte, es importante resaltar que en las tres fincas la pulpa resultó ser el residuo con mayor carga contaminante sobre el ecosistema, como ya se ha constatado anteriormente, (Ver tabla G2 de los apéndices).

4.2 Alternativas para el manejo de los residuos

4.2.1 Manejo de la cáscara.

4.2.1.1 Producción de abono orgánico. El lombricompostaje se considera la práctica más sencilla para el aprovechamiento eficiente de la fracción cáscara-pulpa, dado que acelera su proceso de transformación, mejora los rendimientos del abono obtenido y disminuye la mano de obra, la proliferación de microorganismos y los malos olores (Cenicafé: Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2011).

Esta alternativa, es una medida sencilla y atractiva para el aprovechamiento de grandes cantidades de pulpa, y su implementación podría posicionarla como un excelente subproducto para el acondicionamiento de los suelos, teniendo en cuenta que es un residuo que presenta una alta capacidad de retención de agua. La adecuación de esta práctica representa bajos costos, pues los lombricultivos pueden construirse con lechos en guadua, esterilla, ladrillo o cajas plásticas y se necesita un área efectiva de 1 m² para el manejo de una tonelada de pulpa (Rodríguez V. et al. 2015). Las prácticas de compostaje actualmente empleadas en la Finca A y B podrían mejorarse mediante la implementación de esta alternativa y se convierte en una buena opción para el manejo del residuo en la finca C, teniendo en cuenta que las cantidades del pulpa generadas en los tres casos, superan el 40% de la producción, en tiempos de cosecha.

4.2.1.2 Elaboración de bebidas de cáscara de café. Actualmente, la empresa Kafé Loma Verde ha implementado la elaboración de bebidas e infusiones a partir de la cáscara que se genera durante el procesamiento del café cosechado en la finca C, con el fin de aprovechar las propiedades fisicoquímicas como el contenido de cafeína, compuestos fenólicos y taninos. La preparación de la cáscara es muy sencilla y comprende básicamente la deshidratación de la misma al ser sometida a secado solar, de manera similar al secado natural del café pergamino.

Heeger et al., (2016) estudiaron la utilización de la pulpa proveniente de frutos óptimos en el desarrollo de una bebida refrescante que presentó propiedades antioxidantes y una buena aceptación en el mercado. Estos resultados representan un punto a favor para las fincas en mención, pues la recolección del café en cereza es cuidadosa y la etapa de selección evidenció un gran porcentaje de frutos de alta calidad.

Teniendo en cuenta lo anterior y que, la cáscara resultó ser el subproducto mayormente generado y con mayor impacto sobre los recursos naturales, se sugiere realizar la deshidratación

del total o parte de la masa de pulpa generada en las fincas A y B. La cantidad de cáscara que se destinaría a este proceso, depende de la demanda en el mercado actual y de las características organolépticas del subproducto, por lo que habría que analizar estos aspectos.

A pesar que, en estas fincas, la cáscara es almacenada en fosas techadas para su descomposición y transformación en abono orgánico, la elaboración de la bebida generaría un ingreso económico adicional.

4.2.2 Manejo de los vertimientos.

4.2.2.1 *Despulpado y transporte de pulpa y café sin agua.* Rodríguez V. N. et al. (2015), en conjunto con Cenicafé, sugieren algunas prácticas y propuestas que enfocan su interés en las fincas cuyo consumo específico de agua se encuentra alrededor de los 40 l.kg⁻¹ de cps y que presentan una alta Demanda Química de Oxígeno (DQO), como es el caso de las fincas A y B. De este modo, el objetivo principal es suprimir el uso de agua en algunas etapas del procesamiento húmedo, de tal manera que se conserven las propiedades del café dispuesto a comercialización y se cumpla con el ciclo completo de las empresas orgánicas.

Una alternativa, es realizar una fermentación natural a los frutos recolectados con el fin de despulpar sin uso de agua y conservar la calidad del producto final; seguidamente, se sugiere transportar la pulpa por acción gravitacional hasta la fosa techada que ya se ha implementado en las fincas mencionadas, con lo que se estaría evitando la mayor contaminación, pues la pulpa representa el mayor porcentaje de aporte contaminante del proceso de beneficio del café según el Índice de Calidad Ambiental.

En efecto de lo anterior, la pulpa podría aprovecharse en el cultivo de hongos comestibles y medicinales (Rodríguez V. & Jaramillo L., 2005) o producción de fuentes de energía amigables con el ambiente (Sanz U. J. , Oliveros T., Ramírez G., López P., & Velásquez H. , 2011).

De otro modo, resulta importante evaluar el volumen óptimo de agua para los procesos húmedos, de tal manera que se eviten pérdidas del recurso hídrico y se obtengan productos de alta calidad.

4.2.2.2 Incorporación del mucílago a la pulpa. Como es evidente, el procesamiento semiseco o honey incorporado en la finca C, constituyó los mejores porcentajes de rendimiento y los menores valores relacionados a generación de residuos, consumo de agua e impacto ambiental, entre las tres fincas inspeccionadas. Este es un excelente indicador que sugiere la adición del mucílago a los granos, sin necesidad de retirarlo y suprimiendo algunas etapas con uso de agua, lo que permite aumentar el factor de conversión del café pergamino seco y obtener un producto de especialidad con valor agregado.

En el caso de los sistemas de beneficio húmedo, Rodríguez V. N. et al. (2015) y Cenicafé, sugieren la aplicación de las aguas mieles sobre la pulpa, dado que esta última presenta una alta capacidad de retención al ponerse en contacto con residuos muy concentrados; sin embargo, se generan lixiviados que deben ser reintegrados a la pulpa para evitar vertimientos. La adopción de esta práctica, podría constituir un sencillo sistema de control de las corrientes de aguas mieles de los casos A y B, manteniendo las mismas etapas y características de los procesos actuales, lo que no representaría ningún costo de operación adicional.

5. Conclusiones

Se evidenció que la pulpa es el principal residuo que se genera en los dos sistemas de beneficio identificados en las fincas de referencia, con valores promedio del 47% y 41,9% en base húmeda, de la masa de café en cereza procesada por beneficio convencional y semiseco, respectivamente.

Los procesamientos convencionales generan diariamente, durante las épocas de cosecha, volúmenes de aguas residuales mayores a los 3000 litros, que superan 12 veces el volumen del vertimiento en el beneficio semiseco y que, finalmente representan un impacto negativo en el ecosistema cafetero de la zona, reflejado principalmente por las altas concentraciones de contaminantes orgánicos y un consumo específico de agua superior a 30 litros por kilogramo de café pergamino seco.

De acuerdo con la revisión de literatura, para las características y cantidades de residuos sólidos (cáscara-pulpa) en los sistemas de beneficio húmedo y semiseco, estos podrían ser aprovechados a través de la elaboración de compostaje con procesos tecnificados o en la producción de bebidas aromáticas con propiedades antioxidantes. En los sistemas de beneficio húmedo, adicionalmente, sería necesario establecer el volumen de agua óptimo para la operación, que permita disminuir las corrientes de aguas residuales; así como implementar sistemas de separación del mucílago de las aguas mieles, para su aprovechamiento, mezclado con la pulpa, en la fabricación de compostaje.

6. Recomendaciones

Se recomienda profundizar el análisis en otras fincas de la región cuyas características difieran en la topografía del terreno, las condiciones del cultivo, las variedades de café, la capacidad de producción, los sistemas de beneficio y las prácticas empleadas para el procesamiento de los frutos, teniendo en cuenta que las fincas de referencia presentaron características similares entre sí y que los parámetros mencionados, influyen en los resultados obtenidos.

El sistema de beneficio adoptado en la finca C, permitió hacer un análisis del estado actual de los procesamientos semisecos en comparación con los convencionales; sin embargo, sería interesante realizar una inspección en otras fincas de la provincia que hayan incorporado el beneficio semiseco, para obtener una comparación y análisis que permita dar una mejor aproximación de los resultados.

Evaluar la factibilidad de las alternativas propuestas en las tres fincas y analizar la efectividad en el manejo de los residuos generados actualmente y la calidad ambiental de la zona.

Referencias bibliográficas

- Adams, M., & Dougan, J. (1981). Biological management of coffee processing wastes. *Tropical Sci.*, 23, 177-195.
- Andrade-Vieira, L. F. (2012). Toxicity of landfills assessed by plant cytogenetic approaches. En G. C. Cabral, & A. B. Botelho, *Landfills: Waste Management, Regional Practices and Environmental Impact* (Vol. 1, págs. 319-330). New York: Nova Publishers.
- Arcila P., J., Farfán V., F., Moreno B., A., Salazar G. , L., & Hincapié G. , E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná: Banecolor. Cenicafé.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food chemistry* (4 ed.). Heidelberg: Springer.
- Bonilla H., V. A., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). Utilization of coffee byproducts obtained from semi-washed process for production of value-added compounds. *Bioresource Technology*, 166, 142-150.
- Bravo Monroy, L., Potts, S. G., & Tzanopoulos, J. (2016). Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices. *Food Policy* , 49-61.
- Cenicafé: Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2004). Beneficio del café: Despulpado, remoción del mucílago y lavado. En FNC-Cenicafé, *Cartilla cafetera*. Chinchiná.
- Cenicafé: Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2011). *Cenicafé*. Obtenido de Manejo de Subproductos: Valorización de los subproductos del café: https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/manejo_de_subproductos/P2

- Chanakya, H. N., & De Alwis, A. P. (2004). Environmental issues and management in primary coffee processing. *Process Saf. Environ. Prot. Trans. ChemE B.* , 82, 291-300.
- Dadi, D., Mengistie, E., Terefe, G., Getahun, T., Haddis, A., Birke, W., . . . Van der Bruggen, B. (2018). Assessment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality. *Ecohydrol. Hydrobiol*, 201-211.
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food International*, 488-495.
- FNC: Federación Nacional de Cafeteros. (2004). Cartilla cafetera. Tomo II. *Cenicafé*, 230.
- FNC: Federación Nacional de Cafeteros. (2012). *Federación Nacional de Cafeteros*. Obtenido de Comité de cafeteros de Santander: nuestros cafeteros: [http://santander.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestros cafeteros/category/118](http://santander.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestros%20cafeteros/category/118)
- Haddis, A., & Devi, R. (2008). Effect of effluent generated from coffee processing plant on the water bodies and human health in its vicinity. *J. Hazard. Mater*, 152, 259-262.
- Heeger, A., Kosin, A., Cantergiani, E., & Andlauer, W. (2016). Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of cascara beverage. *Food chemistry*.
- IDEAM . (2007). *SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 - 105 °C TP0088*.
- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . (2007). *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES TI0187*.

- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (1998). *Pulpa de café: composición, tecnología y utilización*. Bogotá.
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry byproducts: a review. *Resources, Conservation & Recycling*, 110-117.
- Knopp, S., Bytof, G., & Selmar, D. (2006). Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology*, 223, 195-201.
- Kulandaivelu, V., & Bhat, R. (2012). Changes in the physico-chemical and biological quality attributes of soil following amendment with untreated coffee processing wastewater . *Eur. J. Soil. Biol*, 50, 39-43.
- Matos, A. T., Eustáquio Júnior, V., Pereira, P. A., & Matos, M. P. (2007). Tratamento da água para reuso no descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro. *Eng. Agric.*, 15(2), 173-178.
- Mejía L., F. M., Acero R., N. L., Duque B., L. F., & Serna J., J. A. (2016). FERMENTACIÓN DE CAFÉ POR VÍA SEMI HÚMEDA PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ ESPECIAL HONEY. *Vitae*, 657.
- Montilla P., J., Arcila P., J., Aristizábal L., M., Montoya R. , E., Puerta Q., G., Oliveros T., C., & Cadena G. , G. (2008). *PROPIEDADES FÍSICAS Y FACTORES DE CONVERSIÓN DEL CAFÉ EN EL PROCESO DE BENEFICIO*. Avances técnicos Cenicafé, Cenicafé, Chinchiná.
- Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2015). An overview of the potential uses for coffee husks. En *Coffee in Health and Disease Prevention* (pág. 283). Belo Horizonte: Academic Press.

- Oliveros T., C. E., Sanz U., J. R., Ramírez G., C. A., & Tibaduiza V., C. A. (2013). *ECOMILL: tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café (Avances Técnicos No.432)*. CENICAFE. Chinchiná: FNC.
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., & Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochem. Eng. J.*, 6, 153-162.
- Prata, E. B., & Oliveira, L. S. (2007). Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 1555-1560.
- Puerta Q., G. I. (1999). INFLUENCIA DEL PROCESO DE BENEFICIO EN LA CALIDAD DEL CAFÉ. *CENICAFÉ*, 79.
- Puerta Q., G. I. (2012). FACTORES, PROCESOS Y CONTROLES EN LA FERMENTACIÓN DEL CAFÉ. *Procesos técnicos Cenicafé*, 2.
- Puerta, G., & Ríos, S. (2011). COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ, SEGÚN EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y REFRIGERACIÓN. *Cenicafé*, 24, 23-40.
- Ramos G., P. J., Sanz U., J. R., & Oliveros T., C. E. (2010). IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE FRUTOS DE CAFÉ EN TIEMPO REAL, A TRAVÉS DE LA MEDICIÓN DE COLOR. *Cenicafé*, 315-326.
- República de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015: Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al alcantarillado. 8.

Rodríguez V., N., & Jaramillo L., C. (2005). *Cultivo de hongos medicinales sobre los residuos agrícolas de la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafe N°28*. Chinchiná, Caldas.

Rodríguez V., N., & Quintero Y., L. (2015). Índice de calidad ambiental en el proceso de beneficio húmedo del café. *Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación* , 2.

Rodríguez V., N., & Quintero Y., L. (2015). Índice de manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café. *Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación* , 2.

Rodríguez V., N., Sanz U., J., Oliveros T., C., & Ramírez G., C. (2015). 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. En FNC-Cenicafe, *Beneficio del café en Colombia* (págs. 4-35). Caldas.

Sanz U., J. R., Oliveros T., C. E., Ramírez G., C. A., Peñuela M., A. E., & Ramos G., P. J. (2013). Proceso de beneficio. En FNC-Cenicafe, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (págs. 9-47). Chinchiná.

Sanz U., J., Oliveros T., C., Ramírez G., C., López P., U., & Velásquez H. , J. (2011). *Controle los flujos de café y agua en módulo Becolsub. Avances Técnicos Cenicafe*.

Woldesenbet, A. G., Woldeyes, B., & Chandravanshi, B. S. (2014). Characteristics of wet coffee processing waste and its environmental impact in Ethiopia. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 2, 1-5.