

**Identificación de ecotecnología de sistemas de tratamiento de aguas  
mieles producidas por el beneficio húmedo del café**



**Leydy Carolina Suarez Arce**

**Víctor Daniel Trochez Pinto**

**Corporación Universitaria Autónoma del Cauca**

**Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible**

**Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria**

**Popayán, Cauca**

**2023**

**Identificación de ecotecnología de sistemas de tratamiento de aguas  
mieles producidas por el beneficio húmedo del café**

**Leydy Carolina Suarez Arce**

**Víctor Daniel Trochez Pinto**

Trabajo de investigación en la modalidad de monografía como requisito  
para optar al título de Ingenieros Ambientales y Sanitarias

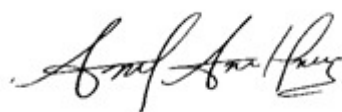
Director

**Esp. Arnol Arias**

**Corporación Universitaria Autónoma del Cauca  
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Popayán, Cauca  
2023**

### **Nota de aprobación**

El director y los jurados del trabajo de grado, modalidad Monografía: **IDENTIFICACIÓN DE ECO TECNOLOGÍA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES PRODUCIDAS POR EL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ**, realizado por: **Leydy Carolina Suarez Arce y Víctor Daniel Trochez Pinto**, una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de **Ingeniera Ambiental y Sanitaria**.



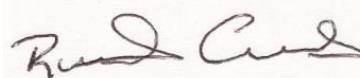
---

**Director. Esp. Arnol Arias Hoyos**



---

**Jurado 1. Ing. Edwin F. Sierra**



---

**Jurado 2. Mg. Ronald Cerón**

Popayán, 07 de junio de 2023

### **Dedicatoria**

Este trabajo de grado se lo quiero dedicar especialmente a Dios y a mis padres Oscar y Fany, por brindarme su amor y apoyo incondicional en todo momento, a quienes le debo mi vida entera por forjar un ser humano con sentimientos, virtudes, hábitos y valores, lo cual me han ayudado a salir adelante buscando siempre ser una gran persona.

A mis maestros, gracias por su tiempo y brindarnos sus conocimientos, en especial al director de trabajo de grado Arnol Arias Hoyos, por habernos guiado con el desarrollo de este trabajo y la culminación del mismo.

*Leydy Carolina Suarez Arce*

### **Agradecimiento**

Quiero agradecer a Dios y a mi familia por ser el pilar fundamental de mi vida que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes siempre han estado en los momentos buenos y en los no tan buenos, les dedico a ustedes este gran logro.

También quiero agradecer a todas aquellas personas que me ayudaron de alguna u otra manera para que esta meta se hiciera realidad.

*Leydy Carolina Suarez Arce*

### **Dedicatoria**

Este trabajo, es el fruto del esfuerzo y la constancia, va dedicado primeramente a Dios que con su bendición me permitió terminar uno de los anhelos más deseados en mi vida.

A mi madre que, con su esfuerzo y amor, me inculcó esas semillas, además de la responsabilidad, el deseo de superación y de triunfar con valores morales y espirituales para con ellos servir a Dios y a las personas que lo necesitan.

A mi familia por apoyarme siempre, a los profesores de la universidad por su paciencia y don de enseñar, ya que gracias a ellos y sus conocimientos logré cumplir con mis objetivos y así finalizar mi la carrera de la mejor manera.

¡Muchas gracias a todos!

*Victor Daniel Trochez Pinto*

### **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por haberme dado su bendición y protección en la consecución de mi carrera como profesional, de igual manera a mi madre quien siempre me apoyó, creyó en mí dándome ejemplo de superación, humildad, sacrificio para lograr mis objetivos y valorar todo lo que tengo.

A mi familia que siempre estuvo presente apoyándome para lograr culminar mis estudios, a mi padre, a la universidad que me abrió las puertas para formarme profesionalmente, a los profesores por su paciencia, dedicación y conocimientos

brindados, a mi novia quien estuvo presente acompañándome, apoyándome y dándome ánimo para finalizar mi carrera.

¡A todos muchas gracias por su apoyo y buenos deseos!

*Victor Daniel Trochez Pinto*



## Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
1.1. Descripción del problema	16
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación	18
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo general	19
1.4.2. Objetivos específicos	19
2. Estado del arte y bases teóricas	19
2.1. Estado del arte	19
2.2. Bases teóricas	21
2.2.1. Impacto de la agricultura en el medio ambiente	21
2.2.1.1. Difusión de la innovación	22
2.2.1.2. Teorías de la no adopción	23
2.2.1.3. Enfoque socio-ecológico	24
2.2.1.4. Sistema de Innovación Agropecuaria (SIA)	25
3. METODOLOGÍA	27
3.1. Investigación descriptiva	27
3.2. Procedimientos	27
3.3.1. Fase 1. Determinación de los impactos negativos causados al medio ambiente por la mala disposición final de aguas residuales en el beneficio húmedo del café.	27
3.3.2. Fase 2. Identificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con mayor eficiencia en el beneficio húmedo del café en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca.	31
3.3.3. Fase 3. Evaluación de las principales causas que llevan a reducir el nivel de adopción de tecnologías por parte de los productores.	32
4. RESULTADOS	33
4.1 Impactos negativos al medio ambiente originados por las malas prácticas en el beneficio húmedo de café	33

4.1.1. Métodos de beneficio del café	36
4.1.1.1. Procesamiento en seco	36
4.1.1.2. Procesamiento semilavado	37
4.1.1.3. Procesamiento húmedo	38
4.1.1.3.1. Método de piloto por lotes y piloto continuo para el procesamiento de cerezas de café	38
4.1.1.4. Procesamiento húmedo tradicional	39
4.1.1.4.1. Despulpar	40
4.1.1.4.2. Despulpadoras de tambor	40
4.1.1.4.3. Despulpadoras de discos	41
4.1.1.4.4. Eliminación de mucílago	41
4.1.2. Impactos del beneficio del café	42
4.1.3. Efectos negativos del beneficio húmedo del café	42
4.1.4. Impacto de efluentes y subproductos de plantas beneficiadoras húmedas de café	43
4.1.5. Características y efectos biológicos y fisicoquímicos de las aguas residuales del procesamiento del café	44
4.1.5.1. Residuos líquidos	45
4.1.6. Medición impactos del beneficio húmedo del café	48
4.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales más eficientes del beneficio del café en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca	49
4.2.1. Tratamientos de aguas residuales	50
4.2.2. Tratamiento preliminar	51
4.2.3. Tratamiento primario	51
4.2.4. Tratamiento secundario	52
4.2.5. Tratamiento de aguas residuales resultado del beneficio del café	53
4.2.5.1. Métodos biológicos	54
4.2.6. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales del café usadas en Colombia	56
4.3. Sistemas de tratamiento de aguas del beneficio del café	62
4.3.5. Principales causas que llevan a reducir el nivel de adopción de tecnologías de beneficio sostenibles por parte de los productores	62
4.3.6. Los esfuerzos actuales de sostenibilidad en el Café	66
4.3.7. Precios y Transparencia	68



5. Conclusiones	70
6. Recomendaciones	71
Bibliografía	73

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Convención de matriz de Leopold	29
Gráfica 2. Resultados primera búsqueda sobre impactos negativos del beneficio húmedo del café	33
Gráfica 3. Publicaciones descartadas y definitivas	34
Gráfica 4. Artículos que hacen referencia a Colombia	35
Gráfica 5. Diagrama esquemático del procesamiento del café	38
Gráfica 6. Resumen de los principales residuos generados en las etapas de procesamiento del café.	45
Gráfica 7. Estudios analizados	49

## Índice de tablas

Tabla 1. Preguntas orientadoras	27
Tabla 2. Palabras clave	27
Tabla 3. Criterios de inclusión y de exclusión	28
Tabla 4. Magnitud	28
Tabla 5. Importancia	29
Tabla 6. Preguntas orientadoras	30
Tabla 7. Palabras claves	31
Tabla 8. Análisis matriz de Leopold	47
Tabla 9. Ventajas y desventajas de las técnicas de tratamiento biológicas	53
Tabla 10. Información básica relacionada con los departamentos, estaciones meteorológicas utilizadas en los cálculos del cultivo del café y sus condiciones ambientales.	55

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Diseño modificado en Antioquia para tratamiento de aguas residuales	56
Ilustración 2. Tratamiento de aguas usadas en el proceso del beneficio del café mediante el bioadsorbente <i>Moringa oleifera</i> Lam	57
Ilustración 3. Sistema modular de tratamiento ANAERÓBICO – SMTA	59

## Resumen

El café es uno de los productos agrícolas más importantes del mundo. Debido a la gran demanda de café y al tamaño de la industria cafetera ya que se generan grandes cantidades de residuos, de los cuales muchos son tóxicos y representan serios problemas ambientales en las zonas caficultoras. Un ejemplo de esto es que 100 kg de bayas frescas generan aproximadamente unos 40 kg de pulpa de desecho húmedo que contiene cafeína, taninos, polifenoles y residuos sólidos orgánicos. Las aguas mieles se vierten directamente a los cuerpos de agua cercanos causando graves dolencias como sobreexcitación, irritación de la piel, dolor de estómago, náuseas y problemas respiratorios. La severidad de estos residuos provoca un grave problema ambiental entre los vecinos de la zona aledaña [2].

Por esta razón, se han llevado a cabo esfuerzos para desarrollar métodos para el tratamiento y manejo de los residuos de café, así mismo, su utilización como materia prima para la producción de bioenergía ya que está surgiendo como una nueva tecnología. Recientemente, se adelantaron algunos intentos de utilizar estos residuos para la producción de energía o compuestos de valor agregado como estrategias para reducir sus niveles de toxicidad [3]. El presente escrito brinda una visión general sobre el beneficio del café y las tecnologías ecológicas que se están usando en la actualidad para el tratamiento de las aguas mieles que son resultado del procesamiento del café. Con base en los datos, se concluyó que el café puede considerarse como uno de los productos primarios más valiosos en el comercio mundial, crucial para las economías y políticas de muchos países en desarrollo, ya que su cultivo, procesamiento, comercialización, transporte y mercadeo brindan empleo a millones de personas. Como consecuencia de este gran mercado, la reutilización de los principales residuos de la industria del café es de gran importancia desde el punto de vista ambiental y económico.

**Palabras claves:** producción de café, sistemas de beneficio, tecnologías agroecológicas

## **Abstract**

Coffee is one of the most important agricultural products in the world. Due to the great demand for coffee and the size of the coffee industry, large amounts of waste are generated, many of which are toxic and represent serious environmental problems in coffee-growing areas. An example of this is that 100 kg of fresh berries generate approximately 40 kg of wet waste pulp that contains caffeine, tannins, polyphenols and organic solid residues. The honey waters are poured directly into nearby bodies of water, causing serious ailments such as over-excitation, skin irritation, stomach pain, nausea, and respiratory problems. The severity of this waste causes a serious environmental problem among the residents of the surrounding area [2].

For this reason, efforts have been made to develop methods for the treatment and management of coffee residues, likewise, its use as a raw material for the production of bioenergy is emerging as a new technology. Recently, some attempts were made to use these residues for the production of energy or value-added compounds as strategies to reduce their toxicity levels [3]. This paper provides an overview of the benefit of coffee and the ecological technologies that are currently being used for the treatment of honey waters that are the result of coffee processing. Based on the data, it was concluded that coffee can be considered as one of the most valuable primary products in world trade, crucial for the economies and policies of many developing countries, since its cultivation, processing, commercialization, transport and marketing They provide employment to millions of people. As a consequence of this large market, the reuse of the main residues of the coffee industry is of great importance from the environmental and economic point of view.

**Key words:** coffee production, benefit systems, agroecological technologies

## Introducción

El café es una de las bebidas más populares del mundo y su estimación ha convertido al grano de café en el segundo producto más comercializado en el mercado mundial después de la gasolina [1]. En la actualidad hay cerca de 25 millones de agricultores y trabajadores involucrados en la producción de café en 50 países diferentes alrededor del mundo, lo que representa un importante impacto para el medio ambiente, derivado en especial del manejo de los desechos generados durante el procesamiento del grano [1]. El cual, ha generado la necesidad de innovar alrededor del manejo de estos residuos a partir de nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, que permitan que todo el proceso del café sea sostenible y propenda por la mejora del medio ambiente y los ecosistemas locales [4].

El mayor productor de café del mundo hoy en día es Brasil con una producción total de más de 50 millones de sacos de café de 60 kg en 2020, eso equivale a más de 3 millones de toneladas. Brasil produce más de un tercio de la cosecha mundial de café, con alrededor de 145 millones de sacos en 2020, lo que representa más del doble del café recogido por el segundo mayor país caficultor mundial, Vietnam que produjo 22 millones de sacos en 2019 [1]. La mayoría del café en el mercado es recogida por personas que viven en la pobreza como resultado de la economía global actual que explota la mano de obra barata y mantiene los precios bajos para los consumidores [5]. La cadena productiva del café es larga y consta de productores, intermediarios, exportadores, importadores, tostadores y minoristas, lo que hace que el productor esté totalmente desconectado del producto final, la taza de café que disfruta en su descanso [5].

La influencia negativa del procesamiento del café en el medio ambiente se origina en la presencia de contaminantes que se encuentran en las aguas residuales generadas en el proceso de despulpado, debido a la dificultad de degradar la capa de mucílago que rodea los granos. Las aguas residuales de las plantas de procesamiento de café son ácidas y las plantas y los animales difícilmente sobreviven cuando se exponen a ellas, y los azúcares contenidos en el mucílago pasan por un proceso de fermentación de los que se generan ácidos orgánicos y acéticos que hacen que estas aguas sean muy ácidas [5].

Como resultado del mucílago digerido en las aguas residuales, se forma una costra en la superficie que obstruye las vías fluviales y contribuye a las condiciones anaeróbicas. El mucílago y la pulpa de café tienen diferentes componentes. El mucílago se compone de agua, proteína, azúcar, ácido péctico y ceniza, los componentes de la pulpa del café pueden contaminar los cuerpos de agua locales y el medio ambiente receptor, por lo que es necesario generar tecnologías que permitan minimizar este impacto [6], [7].

De allí, es necesario implementar tecnologías para mejorar el procesamiento de las aguas mieles en las unidades productivas de café, que son resultado del beneficio del fruto especialmente en el método húmedo y que pueden llegar a las fuentes de agua, contaminándolas y afectando la calidad de las mismas tanto a nivel superficial como subterránea [7].

En este sentido, en Colombia se han adelantado investigaciones relacionadas con la gestión ambiental asociada con el procesamiento del café, los métodos de transformación y la calidad del café. A la luz de este concepto, es muy importante revisar la literatura disponible, sobre los adelantos en el tema en el país e identificar los vacíos en la investigación y la forma en la cual se han aplicado tecnologías de procesamiento ecológicas de las aguas mieles en las fincas caficultoras en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca [8].

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1. Descripción del problema**

El agua representa uno de los elementos más esenciales para consecución y el sostenimiento de la vida en nuestro planeta, pero debido al incremento poblacional y el descuido del hombre por satisfacer sus necesidades diarias a generado su contaminación y a la vez, su agotamiento [9]. Se presentan diferentes causas de contaminación hídrica, dentro de las más representativas se encuentra los vertimientos agroindustriales y domésticos, ocasionando la pérdida del recurso hídrico, así como también su disminución, deterioro de la salud poblacional, economía publica por la disminución en la recaudación de impuestos, efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos y sus componentes [10]. Colombia representa uno de los países más ricos en agua dulce, un elemento insustituible y esencial para las diferentes especies que habitan tierra firme al igual que la vida humana [2]. Actualmente los problemas de contaminación se están incrementando en un 60% de la disponibilidad de este recurso vital en su calidad, debido a las actividades agrícolas y al manejo inadecuado del agua que entra en contacto con material vegetal por el cual genera graves problemas de contaminación ambiental, en este caso el proceso de beneficio de café [2].

La contaminación del agua es uno de los principales problemas ambientales que existen a nivel mundial, siendo la producción agropecuaria una de las principales actividades que contribuyen mayormente a la contaminación del preciado líquido. La producción de café en su proceso de despulpado y lavado que genera aguas mieles que conjuntamente con la pulpa generan una grave contaminación para los cuerpos de agua [11].

El agua utilizada en el proceso de despulpado y lavado del café se convierte en agua residual (agua-miel), se considera como una de las mayores contaminaciones orgánicas en el sector cafetero, debido a que en el proceso de despulpado se descarta el 80% del fruto (cascara y mucílago), y solo se usa la almendra que representa el 20%, lo que ocasiona un riesgo para la sostenibilidad del proceso, cuando no se lleva a cabo el tratamiento correcto de los productos descartados [12].



En la forma como se lleva a cabo el proceso de beneficio del café se hace uso de grandes cantidades de agua, que se depositan en el suelo, afluentes y campo abierto, generando contaminación. Según el Manual Cafetero Colombiano, obtener un kilo de café pergamino seco requiere del consumo de 20 litros de agua limpia para su proceso de lavado y clasificación y una cantidad igual para el despulpado y transporte hidráulico de la pulpa y del café en baba [13].

Dar una solución a la problemática ambiental generada por las aguas residuales del café impacta positivamente en los recursos naturales, en la mejora de la calidad de vida de los caficultores del país, lo que evidenciaría menores riesgos de enfermedades debido a la contaminación hídrica. A pesar de que Colombia es un país rico en agua, las zonas de mayor producción cafetera tienen sistemas de abastecimiento reducidos, razón por la cual dichas zonas presentan dificultades en el manejo y uso eficiente del recurso hídrico, debido a la falta de conciencia ambiental por parte de los caficultores quienes a pesar del conocimiento de las investigaciones sobre la protección de los recursos naturales, no realizan el desarrollo e implementación de tecnologías y procesos no convencionales, que vayan de la mano con las necesidades que ellos poseen, ya sea por los costos derivados de estas tecnologías y procesos o por su resistencia al cambio [2].

El área de estudio se enfocó en los departamentos de Antioquia, Huila y Cauca. En Antioquia el 80 % del beneficio se adelanta de forma húmeda y tradicional, generando un consumo entre 20 y 40 litros de agua para producir un kilo de café pergamino seco, lo cuales se arrojan sin ningún tratamiento a los caudales de agua o al suelo, entregando altas cargas de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y pH con disoluciones hasta de 3 unidades de iones de hidrógeno en su escala de acidez [14].

En el departamento del Huila la industria caficultora tiene un importante espacio dentro de su economía, convirtiéndose en los últimos años en un productor reconocido por su volumen y calidad. Debido a esto ocasiona un impacto negativo elevando el nivel de consumo de agua necesario para procesarlo, lo que deriva efectos nocivos en las fuentes hídricas [8]; Finalmente en la producción de café en el Cauca, se ha detectado que el 98% de los

beneficiaderos de café generan vertimientos a las fuentes de agua, generando problemas de índole ambiental [9].

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son los sistemas de tratamiento eco tecnológicos más eficientes de aguas mieles producidas por el beneficio húmedo del proceso del café?

## **1.3. Justificación**

La razón por la cual se realiza esta investigación, surge a partir de la contaminación que genera el beneficio de café hacia las fuentes hídricas superficiales, dado que es una actividad agrícola que se ha desarrollado a lo largo del tiempo en el territorio nacional, ocasionando graves daños a la calidad del agua y al abastecimiento de las comunidades, perjudicando a la salud humana entre otros aspectos [10]. El agua representa uno de los recursos naturales más importantes para la vida en el planeta, razón por la cual, este recurso vital debe ser protegido y conservado con el establecimiento de sistemas apropiados en la producción agrícola, para lo que se requiere un trabajo arduo entre todas las partes involucradas para lograr mejorar y adoptar prácticas a nivel tecnológico y organizativo que permitan aportar a la producción sostenible de la agricultura [10]. Es necesario entonces tomar conciencia sobre la importancia de la preservación y protección de tan preciado líquido para todos los seres vivos del planeta.

Teniendo en cuenta la capacidad de producción cafetera de los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca y su constante crecimiento, se debe resaltar la problemática generada por las aguas mieles que resultan del beneficio húmedo del café, lo que se origina en especial por el escaso acceso de los pequeños productores a sistemas de tratamiento de aguas mieles más eficientes. La instalación de los Sistemas de Tratamiento de Aguas de Beneficio de Café, permiten remover aproximadamente un 80% de la contaminación causada por los subproductos del proceso convencional del café, el cual genera gran contaminación a las fuentes hídricas en las diferentes zonas de producción cafetera de todo el país [11]. Estos tratamientos contribuyen a disminuir la afectación causada al recurso hídrico generando un uso racional y eficiente. Esta

tecnología utilizada para el control de la contaminación de las aguas residuales del beneficio del café, permite utilizar menos cantidad de agua ya que en el proceso convencional normalmente se usan entre 40 y 50 Litros por Kilogramo producido. Con esta tecnología se reduce a 4 y 5 Litros por Kilogramo, lo que demuestra significativamente que se puede disminuir en gran medida el consumo excesivo de grandes cantidades de agua [12].

Este estudio tiene como finalidad realizar una revisión de diferentes fuentes documentales y de información que permitan determinar que Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales del Beneficio Húmedo del Café son los más utilizados, y a su vez evaluar la eficiencia en remoción de contaminantes que permitan establecer cuáles son los más indicados para este proceso [13].

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar los sistemas de tratamiento eco tecnológicos de aguas mieles producidas por el beneficio húmedo del proceso del café.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los impactos negativos al medio ambiente originados por las malas prácticas en el beneficio húmedo de café.
- Identificar los sistemas de tratamiento de aguas residuales más eficientes del beneficio del café en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca.
- Evaluar las principales causas que llevan a reducir el nivel de adopción de tecnologías por parte de los productores.

## **2. Estado del arte y bases teóricas**

### **2.1. Estado del arte**

El documento *diagnóstico del tratamiento de aguas residuales mediante los sistemas Cenicafé y Majavita del beneficio ecológico del café con módulo Becolsub en la Hacienda Majavita*, fue publicado en el 2012, y su objetivo es diagnosticar el manejo de las aguas residuales del beneficio ecológico del café con la tecnología Becolsub en la Hacienda Majavita. Con esto los autores

pretendían el mejoramiento del medio y que el tratamiento de los subproductos del café sea más eficiente, la metodología utilizada para esto es la cuantificación de subproductos a partir del peso y seguimiento de los componentes que forman los sistemas. Dentro del desarrollo del trabajo se diseñó y construyó un reactor UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*) que remueve de manera más eficaz el material contaminante. También se cuantificaron los subproductos obtenidos durante el beneficio de café, concluyendo que los sistemas actuales instalados en la finca son insuficientes para las proyecciones de producción que tienen sus propietarios [3].

Entre mayo y junio de 2019 se desarrolló el proyecto *sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú*, a través del cual se evaluaron tres sistemas de tratamiento de aguas mieles de café., i) un filtro físico compuesto por arena, carbón y piedra de río), ii) un filtro biológico diseñado a partir del jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna minor L.*) y, iii) un sistema de coagulantes naturales con moringa (*Moringa oleífera L.*) y tuna (*Opuntia ficus-indica*). Se tomaron muestras de agua cada de 15 días por dos meses consecutivos, es decir que se llevaron a cabo tres muestras por cada punto establecido. Luego de este proceso se concluyó que el filtro físico y el filtro biológico redujeron los parámetros de sólidos disueltos totales (SDT) de  $3,266 \text{ mg/L}^{-1}$  a  $2,55 \text{ mg/L}^{-1}$  y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) de  $2,763 \text{ mg/L}^{-1}$  a  $0,975 \text{ mg/L}^{-1}$  existiendo diferencia significativa entre los tratamientos [15].

En Circasia, Quindío se adelantó el proyecto *caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café*, en este se caracterizaron dos muestras de aguas mieles (M1, M2), evaluando el potencial en la extracción de biocomponentes. Se midieron los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), y componentes como el nitrógeno, amonio, cromo, oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad, acidez volátil, fósforo, cloruros, sólidos y color de las dos muestras de agua. Resultado de estas mediciones fue posible identificar discrepancias importantes entre las muestras, resultado del efecto del procesamiento del café. En las dos muestras se encontraron mesófilos y en la M2 coliformes y estafilococos, evidenciando la afectación que tiene en el agua el método de procesamiento de café [16].

En el estudio *Efecto de la Moringa oleífera en el tratamiento de Aguas Residuales en el Cauca, Colombia*, adelantado por la Universidad del Cauca en el año 2015, se usó como coagulante y floculante natural polvo de semilla de Moringa para tratar las aguas residuales que resultaron en el proceso de beneficio de café que presentaban una turbidez mayor a 2000 Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT), también se aplicó en las aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91,5 UNT. Se evaluaron aspectos de la calidad del agua como la turbidez, el pH, la conductividad eléctrica, los cloruros, y los sólidos suspendidos y fecales; también se adelantaron comparaciones con sulfato de aluminio. Se encontró que el polvo de semilla de moringa tiene resultados más efectivos sobre los parámetros evaluados [17].

## **2.2. Bases teóricas**

### ***2.2.1. Impacto de la agricultura en el medio ambiente***

La agricultura puede sustentar o degradar el medio ambiente, diversos estudios [18,19,20,21], han documentado los principales efectos negativos de la agricultura en el suelo y el agua dulce, así como la importancia de los paisajes agrícolas en la provisión de productos para el sustento humano, el apoyo a la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios de los ecosistemas. Impactos negativos como la conversión de bosques, pastizales y otros hábitats para uso agrícola, degradación de la calidad del suelo (el 20% de los suelos africanos están gravemente degradados), contaminación del suelo y las aguas superficiales, los acuíferos y los humedales costeros, debido al uso excesivo o inadecuado de plaguicidas y fertilizantes, pérdida significativa de diversidad genética de cultivos y ganado a través de la expansión de monocultivos industriales, lo que reduce la resiliencia frente al clima y otros cambios [22,23].

Muchas actividades agrícolas pueden tener impactos ambientales en el suelo, el agua y el aire. Estos efectos diferirán según la ubicación de la granja, el tipo de granja, las prácticas agrícolas y de manejo de la tierra específicas utilizadas, así como el momento de estas prácticas. Por ejemplo, los nutrientes y los pesticidas pueden filtrarse de los campos agrícolas a los cuerpos de agua superficiales o a las aguas subterráneas. El aumento de la carga de fósforo de la agricultura es uno de varios factores que han resultado en la proliferación de algas, ejemplo de

esto, se presenta tanto en el lago Erie, como en el lago Winnipeg, que como resultado del uso inadecuado de fertilizantes, se cubrieron cubiertos por una floración algas potencialmente dañinas [19,23,24].

#### **2.2.1.1. Difusión de la innovación**

La difusión de la innovación (DI) se ha utilizado ampliamente como un modelo de proceso general en la toma de decisiones y la investigación del cambio de comportamiento en la mayoría de las ciencias sociales para explicar y predecir las tasas de adopción de una innovación (práctica o tecnología) [18].

Esta teoría fue emprendida en el campo de la sociología agrícola en la década de 1940 por Ryan y Gross, quienes observaron la adopción de semillas híbridas de maíz en dos comunidades de Iowa [19]. La difusión es el proceso a través del cual una innovación, (determinada como una idea percibida como nueva), se difunde a través de ciertos canales de comunicación a lo largo del tiempo entre los miembros de un sistema social [19]. El proceso de difusión es uno de cambio de no adoptante a adoptante de una innovación en cinco etapas: conocimiento, persuasión, decisión, implementación y confirmación.

El orden de las etapas es fluido y está influenciado por las percepciones individuales de las características de la innovación, incluida la ventaja relativa; compatibilidad; complejidad; capacidad de prueba y observabilidad. La ventaja relativa refiere al grado en que se percibe que una innovación es mejor que la idea o práctica a la que reemplaza. La compatibilidad describe el grado en que se percibe que una innovación es consistente con los valores existentes, la experiencia pasada y las necesidades. La complejidad es el grado en que una innovación se percibe como difícil de deducir y utilizar. La capacidad de prueba es el grado en que se puede experimentar con una innovación antes del compromiso. De manera similar, la observabilidad es la medida en que los resultados de usar una innovación son visibles para los adoptantes potenciales. Se supone que las percepciones y expectativas subjetivas en el proceso de 'innovación-decisión' están influenciadas por una combinación de circunstancias sociales, económicas y culturales individuales [20].

Se aplicó la difusión de la innovación para identificar dónde estaban situados los agricultores en el proceso de decisión de innovación; identificar los

determinantes de las percepciones de los agricultores sobre una innovación; y examinar la influencia de las características/atributos percibidos de las prácticas en los comportamientos de adopción [18]. García et al. [20], examinó las opiniones de los pequeños agricultores sobre las redes ecológicas para el control de plagas utilizando conceptos de desempeño anticipado (creencia de que el uso de la innovación mejorará los medios de vida), facilidad de uso, presión social (grado en que uno es influenciado por la opinión de otros) y apoyo externo (acceso al conocimiento y financiación). Los altos requisitos de mano de obra percibidos se identificaron como la principal barrera para adoptar redes ecológicas, particularmente en cultivos de hortalizas más grandes, y entre agricultores que tenían poca o ninguna experiencia en un ensayo, y aquellos que vivían lejos de los servicios de extensión.

#### **2.2.1.2. Teorías de la no adopción**

Dos estudios se centraron específicamente en las características de una innovación que condujo a decisiones de innovación negativas, Tapsuwan et al. [21], explicó la no adopción de un boletín de información para prácticas de riego sostenible con referencia a los criterios de Walker [22] para la no adopción de herramientas de apoyo a la decisión en la gestión de recursos rurales (barreras como la irrelevancia, inaccesibilidad, inflexibilidad, falta de confianza, institucional y política). En una evaluación previa y posterior participativa del boletín, encontraron que la importancia relativa de los elementos que contribuyen a las causas de la no adopción cambiaba de los ensayos previos a los posteriores, lo que indica que las barreras para la adopción reflejaban las necesidades cambiantes de los usuarios finales a medida que se familiarizaban con la herramienta. Esto fue evidente, por ejemplo, al reemplazar el pronóstico del tiempo y la evapotranspiración por la representación de las cantidades irrigadas frente a los requisitos de agua del cultivo de la semana pasada, como el problema más importante para la relevancia de la herramienta.

McCarthy & Schurmann [23], enmarcaron su exploración de los factores que impiden la adopción de innovaciones en una muestra de productores australianos que practicaban diversos niveles de agricultura sostenible.

MacVaugh y Schiavone[24] , plantean la hipótesis de la difusión de la innovación como un sistema caracterizado por condiciones tecnológicas (utilidad, complejidad, complementariedad), sociales (contexto, orientación, contagio) y de aprendizaje (capacidad, habilidad, costos) que interactúan para influir y ser influenciados por los usuarios en varios dominios (individuo, comunidad y mercado/industria). McCarthy & Schurmann [23] descubrieron que la resistencia a la innovación se debía a una combinación de factores que incluían la complejidad percibida de la agricultura sostenible, la intensidad del trabajo y la necesidad de mano de obra calificada; riesgos financieros relativos a la seguridad del ingreso actual; conocimiento limitado o acceso a evidencia e información localizada que también reforzó el temor de estar encerrado en la horticultura orgánica; finalmente, las creencias sobre los símbolos de la 'buena' agricultura, incluidos los altos rendimientos y las granjas 'ordenadas' (p. ej., libres de malas hierbas), y la demanda de los consumidores de productos de alta calidad (p. ej., grandes y sin defectos) fueron barreras importantes para la adopción entre los agricultores más convencionales.

### **2.2.1.3. Enfoque socio-ecológico**

Los enfoques ecológicos sociales en las transformaciones agrícolas enfatizan las dimensiones sistémicas del cambio y las interdependencias entre las variables de nivel micro, meso y macro. Blesh y Wolf [25], adoptaron un enfoque socioecológico para examinar la adopción de nuevas prácticas de manejo agroecológico en la producción agrícola y ganadera industrializada en los Estados Unidos. Usando un modelo de innovación basado en recursos, describieron cómo las relaciones entre los actores internos (recursos ecológicos y de la empresa agrícola; recursos personales y cognitivos) y los recursos externos (relaciones de red con pares; organizaciones de conocimiento; política) permiten y restringen la adopción de innovaciones.

En este modelo de innovación, la implementación de prácticas de uso de la tierra nuevas y más sostenibles está mediada por la configuración específica de cada caso de las relaciones entre los recursos internos y externos. En su estudio, Blesh y Wolf compararon procesos de cambio técnico hacia sistemas agrícolas con el mayor potencial para reducir la contaminación por nitrógeno, en dos regiones contrastantes de Owa [25].



Blesh y Wolf [25], informaron que los actores en ambas regiones percibieron que el marco de la política macro agrícola fue diseñado para sistemas agrícolas convencionales. De manera similar, el manejo agroecológico de las fincas se consideró más complejo que los métodos industriales tradicionales, ya que requería un manejo más explícito de las relaciones biológicas. Sin embargo, las oportunidades y barreras encontradas en la transición a la agroecología diferían en las dos regiones debido a sus propiedades fisiográficas contrastantes.

#### **2.2.1.4. Sistema de Innovación Agropecuaria (SIA)**

Borremans et al. [26], utilizó el marco basado en sistemas de AIS [29], para comprender la implementación limitada de la agrosilvicultura que se ha promovido como parte de un movimiento más amplio hacia sistemas agrícolas diversificados en Flandes, Bélgica. La premisa conceptual de AIS es que la innovación en la agricultura es el resultado de un proceso interactivo y coevolutivo en el que participa una amplia red de actores. Los pensamientos y acciones de esos actores dan forma a la medida en que la política, el mercado o el entorno institucional permiten una innovación. Las similitudes y divergencias en los objetivos perseguidos por esos actores influyen en la velocidad y dirección de los procesos de innovación. Un sistema de innovación que funcione bien debe centrarse igualmente en cómo todo el sistema de innovación se adapta a los desafíos emergentes, así como en partes del sistema de innovación [29].

Metodológicamente, comprender las transiciones de innovación requiere análisis de los elementos estructurales del sistema en todos los dominios (por ejemplo, investigación y educación, gobierno); de las funciones realizadas por los elementos (por ejemplo, desarrollo de conocimientos, movilización de recursos, actividades empresariales), y de la coordinación, alineamiento y armonización entre estructuras y funciones [25]. A través de estos análisis, las fallas a nivel micro y macro de un sistema AIS son identificables en relación con las condiciones o procesos necesarios para la innovación. Las fallas a nivel micro pueden encontrarse en la estructura de los requisitos físicos, de conocimiento y financieros; en las condiciones institucionales duras y blandas; en las interacciones entre actores; las capacidades (competencias y recursos) de los actores; y las condiciones y relaciones entre las partes del mercado.

Se pueden observar fallas a nivel macro en términos de direccionalidad (p. ej., falta de metas y visión compartidas); articulación de la demanda (por ejemplo, necesidades insatisfechas de los usuarios para permitir la adopción de innovaciones); coordinación de políticas (p. ej., coordinación de políticas inadecuada en múltiples y entre niveles); y reflexividad, o la capacidad del sistema para monitorear, anticipar e involucrar a los actores en el autogobierno [29].

En su estudio, Borremans et al. [26] identificó elementos geofísicos, técnicos, financieros, legales, organizacionales y sociales que contribuyeron a fallas a nivel micro y macro que restringieron las transiciones a la adopción agroforestal. Por ejemplo, los agricultores consideraron que las máquinas modernas existentes eran incompatibles con tener árboles en los campos, particularmente con tamaños de tierra limitados. Los agricultores a menudo se sentían atrapados en los sistemas de producción existentes, ya que tenían reservas financieras limitadas para experimentar con la agrosilvicultura, que se percibía como más compleja y laboriosa; además, la sombra creada por la copa de los árboles tendría un impacto negativo en la producción.

Los marcos regulatorios y de políticas eran complejos y engorrosos, debido también a los desajustes en la legislación de diferentes sectores de políticas, como la agricultura, la naturaleza, la silvicultura y la planificación espacial. Por ejemplo, siguió siendo difícil obtener el permiso de los terratenientes para plantar árboles en terrenos arrendados. De igual forma, los subsidios que incentivaban el establecimiento de parcelas agroforestales no se extendían a su mantenimiento. Finalmente, el conocimiento de la agrosilvicultura no estaba muy extendido entre los agricultores y su contexto social, debido a su integración muy limitada en la red agroforestal flamenca y la falta de canales de difusión de comunicación para la comunidad en general [26].

### 3. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se determinó utilizar diferentes herramientas para la recopilación de la información que permita conocer los diferentes Sistemas Eco tecnológicos para el tratamiento de las aguas residuales del café, de igual manera establecer en diferentes zonas productoras del país, cuáles son los sistemas más eficientes para controlar los impactos ambientales generados al recurso hídrico debido al proceso del Beneficio Húmedo del Café.

Se trata de una investigación mixta, un diseño de investigación de métodos mixtos es un procedimiento para recopilar, analizar y “mezclar” investigaciones y métodos tanto cuantitativos como cualitativos en un solo estudio para comprender un problema de investigación. Como resultado, gran parte de lo que los investigadores, consideran que la realidad consiste en un conjunto de impresiones, inferencias y opiniones en la mente de cada persona.

#### 3.1. Investigación descriptiva

Según Hernández [27], La investigación descriptiva como su nombre lo indica describe las diversas características de una población o fenómeno analizado, enfocándose de manera específica en dar respuesta al “qué” del sujeto de investigación y no en el “por qué” del sujeto de investigación. Este método pretende llevar a cabo una descripción de la naturaleza de una población con unas características claras, es decir que describe el tema de la investigación, sin preocuparse en el por qué sucedieron.

#### 3.2. Procedimientos

##### ***3.3.1. Fase 1. Determinación de los impactos negativos causados al medio ambiente por la mala disposición final de aguas residuales en el beneficio húmedo del café.***

Para adelantar esta fase se seguirán los pasos descritos por Petersen, et al. [28] que son: definición de pregunta de investigación, alcance de la revisión, realización de la búsqueda, elección de los documentos relevantes, lectura de resúmenes, extracción de datos, para adelantar una revisión de carácter sistémico

**Actividad 1:** En este apartado se presentan las preguntas base para poder identificar que impactos negativos se generan por la disposición inadecuada de las aguas residuales producidas por el beneficio húmedo del café. En la siguiente tabla se formulan los interrogantes que orientaran el desarrollo de este capítulo:

Tabla 1.

**Preguntas orientadoras**

Preguntas guía	Justificación
¿Qué documentos se han escrito sobre los impactos originados por las prácticas inadecuadas en el beneficio húmedo del café?	Establecer el número de publicaciones sobre las prácticas inadecuadas en el beneficio húmedo del café y sus impactos negativos
¿Cuántos de esos estudios hacen referencia a Colombia?	Identificar si hay estudios que se relacionen con el país
¿Cuáles son los hallazgos presentados por los estudios en relación con el impacto sobre el medio ambiente del beneficio húmedo del café?	Describir los impactos medioambientales del beneficio húmedo del café y sus prácticas asociadas

Nota: Construcción propia.

Para adelantar las búsquedas es necesario plantear una serie de palabras claves y combinaciones que facilitan el desarrollo de las mismas, estas se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 2.

**Palabras clave**

Palabras clave	Key words
Métodos de beneficio del café	Coffee processing methods
Beneficio húmedo de café	Wet coffee Benefit
Impactos del beneficio del café	Impacts of coffee processing

Fuente: construcción propia.

- **Actividad 2:** Consulta de fuentes bibliográficas, documentos y bases de datos: Dialnet, Science Direct, Scielo, Scopus. Para esto se siguieron los siguientes parámetros para incluir los artículos que se tendrán en cuenta dentro del documento:

Fecha de publicación 2010-2022

Idioma: inglés y español

Tecnologías de beneficio húmedo de café

Tabla 3.  
**Criterios de inclusión y de exclusión**

Criterio	Inclusión	Exclusión
<b>Idioma</b>	Publicaciones en español e inglés	Publicaciones en otro idioma diferente al español e inglés.
<b>Período</b>	Publicaciones desde al año 2010 a 2022.	Publicaciones anteriores a 2010
<b>Tipo de Publicación</b>	Artículos de revisión o de resultados completos disponibles en bases de datos o repositorios de revistas científicas.	Artículos incompletos o completos no disponibles en bases de datos o repositorios de revistas científicas. Editoriales
	Tesis de maestría o doctorado en físico o digitales disponibles en repositorios de universidades relacionadas con el tema.	Tesis de nivel de pregrado.
<b>Contenido</b>	Estudios de acceso al menos a resumen y/o abstract	Estudios sin resumen y/o abstract o sin acceso a estos.

Fuente: Construcción propia

- **Actividad 3.** Revisión y lectura de los resúmenes de documentos, para lo que se adelanta la revisión de los documentos que se han clasificado con base a los criterios de inclusión.
- **Actividad 4.** Finalmente se realiza la extracción de la información pertinente para responder a los interrogantes planteados.

Posteriormente se desarrollará una matriz de evaluación de impactos o matriz de Leopold, a partir de los resultados obtenidos en base de la calificación, de la magnitud y la importancia y las calificaciones obtenidas, según se observa en las siguientes tablas

Tabla 4.  
**Magnitud**

Calificación	Intensidad	Afectación
1	Baja	Baja
2	Baja	Media
3	Baja	Alta
4	Media	Baja
5	Media	Media
6	Media	Alta
7	Alta	Baja
8	Alta	Media
9	Alta	Alta

Calificación	Intensidad	Afectación
10	Muy Alta	Alta

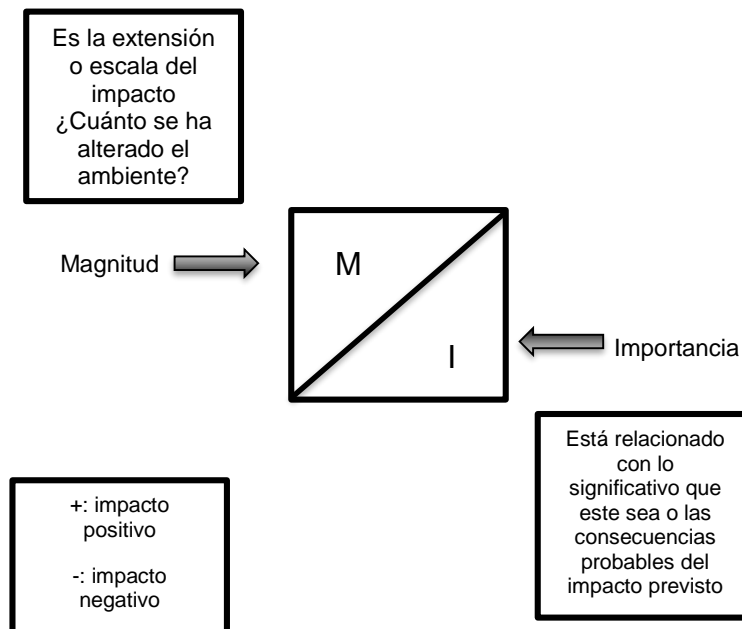
Fuente: construcción propia

Tabla 5.  
Importancia

Calificación	Intensidad	Afectación
1	Temporal	Puntual
2	Media	Puntual
3	Permanente	Puntual
4	Temporal	Local
5	Media	Local
6	Permanente	Local
7	Temporal	Regional
8	Media	Regional
9	Permanente	Regional
10	Permanente	Regional

Fuente: construcción propia

Gráfica 1.  
Convención de la matriz de Leopold



Fuente: construcción propia

**3.3.2. Fase 2. Identificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con mayor eficiencia en el beneficio húmedo del café en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca.**

Al igual que en la fase 1 se adelantará un proceso de mapeo sistemático basado en Petersen [28], y se realizarán las siguientes actividades:

**Actividad 1:** Se formularon las preguntas orientadoras relacionadas con los sistemas de tratamiento de aguas residuales de mayor eficiencia que pueden ser utilizadas en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca, estos fueron elegidos por ser productores de café, que en los últimos años han venido ocupando un papel importante a nivel nacional y mejorando sus cosechas. Con base en estas preguntas se determinan las palabras claves y las combinaciones y ecuaciones de búsqueda necesarias para encontrar la información requerida.

Al igual que en el capítulo anterior se seguirán los lineamientos dictados por Petersen [43], se han adelantado una serie de interrogantes que se encuentran relacionadas con el desarrollo del tema y permitirán resolver el objetivo de una manera clara. A continuación, se presenta la tabla 6.

Tabla 6.

**Preguntas orientadoras**

<b>Preguntas orientadoras</b>	<b>Justificación</b>
¿Qué estudios se han adelantado sobre el tratamiento eficiente de aguas residuales proveniente de la actividad agrícola?	Establecer el número de publicaciones sobre el tratamiento eficiente a las aguas residuales provenientes de la actividad agrícola
¿Cuáles son los sistemas de tratamiento de aguas residuales más eficientes?	Describir los diversos sistemas que se han implementado para tratar las aguas residuales que provienen de la actividad agrícola
¿Qué sistemas de tratamiento de aguas residuales son utilizados en los departamentos de Huila, Cauca y Antioquia?	Describir que sistemas de tratamiento de aguas residuales son utilizados por los productores agrícolas en los departamentos de Huila, Cauca y Antioquia

Fuente: Construcción propia

- **Actividad 2:** Se llevó a cabo la recolección de información a partir de fuentes como: Fuentes bibliográficas, documentos y bases de datos: Dialnet, Science Direct, Scielo, Scopus, referentes a los departamentos

de Huila, Antioquia y Cauca para determinar que tratamiento de aguas residuales genera una mayor eficiencia en el beneficio húmedo del café.

- Al igual que en el capítulo anterior, con el fin de facilitar la búsqueda se centró en una serie de palabras claves específicas, orientadas en el tema del tratamiento de las aguas residuales. A continuación, se presenta la tabla 7.

Tabla 7.  
**Palabras claves**

<b>Palabras claves</b>	<b>Key words</b>
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	Sewage treatment
<b>Eficiencia de los tratamientos de aguas residuales</b>	Efficiency of wastewater treatments
<b>Reducción contaminación en afluentes de agua por residuos agrícolas</b>	Reduction of contamination in water tributaries by agricultural residues

Fuente: construcción propia

- **Actividad 3.** Se analizan las publicaciones que son útiles para la investigación a partir de las preguntas formuladas y a los criterios establecidos se determina la viabilidad de las publicaciones seleccionadas con base en las variables.

### ***3.3.3. Fase 3. Evaluación de las principales causas que llevan a reducir el nivel de adopción de tecnologías por parte de los productores.***

- **Actividad 1:** Determinar cuáles son los orígenes de los problemas y el desarrollo de estrategias que conllevan a la adopción y aplicación de tecnologías en los agricultores. Mediante la recolección de información de la Federación Nacional de Cafeteros, fuentes documentales de las Asociaciones de Caficultores y productores de café que no pertenecen a ninguna asociación ni entidad privada, para determinar porque se presenta esta problemática de no adopción de Eco tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café.



## **4. RESULTADOS**

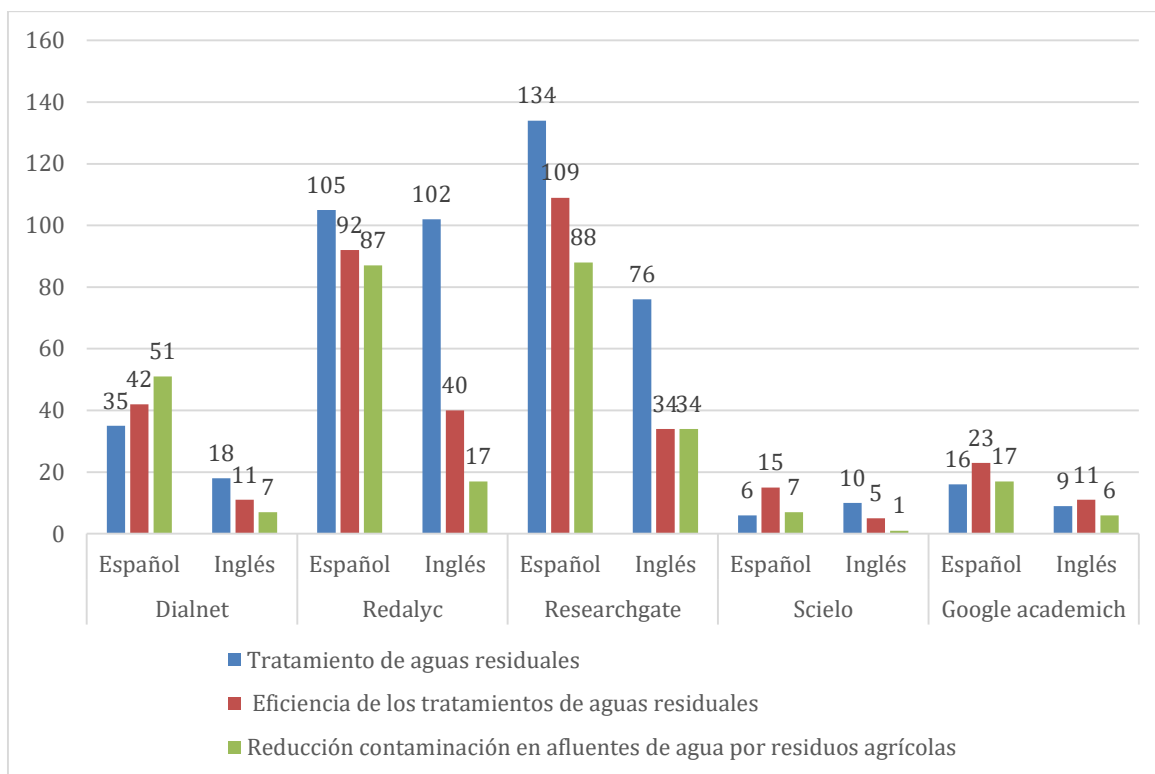
### **4.1 Impactos negativos al medio ambiente originados por las malas prácticas en el beneficio húmedo de café**

Colombia tradicionalmente ha sido un país líder en cultivo de café a nivel mundial. Sin embargo, estos cultivos producen una gran cantidad de desechos secos y húmedos. Estos desechos tienen un alto potencial de causar contaminación ambiental, especialmente en los cuerpos de agua [29]. Los dos subproductos principales del método húmedo de procesamiento del café, el mucílago y la pulpa, que contienen sustancias químicas que son peligrosas para la salud humana y animal [29]. En Colombia, estos efluentes del café se dejan en su mayoría en cuerpos de agua que son utilizados por las comunidades que viven alrededor de las industrias para diferentes propósitos, como beber, lavar y cocinar.

Con base en las palabras clave se adelantó una primera búsqueda que arrojó los siguientes resultados:

Gráfica 2.

**Resultados primera búsqueda sobre impactos negativos del beneficio húmedo del café**

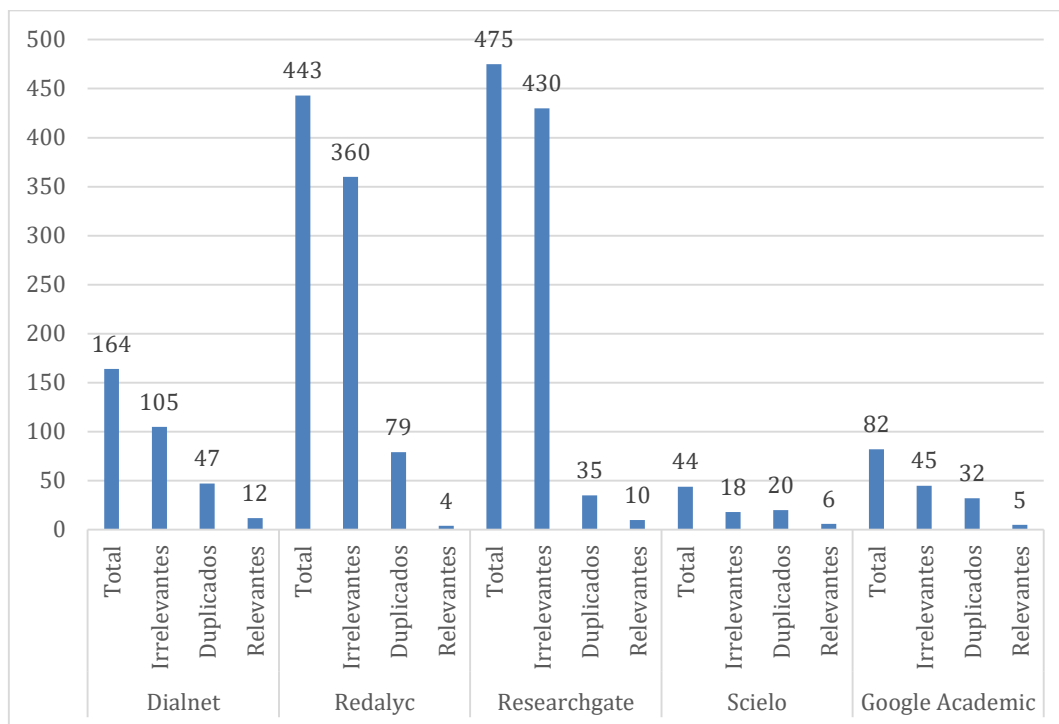


Fuente: construcción propia

Posterior a esto se dio paso a una primera selección de los artículos y documentos encontrados, separando los irrelevantes y los duplicados, en la gráfica 3, se observan la cantidad de documentos definitivos:

Gráfica 3.

**Publicaciones descartadas y definitivas**

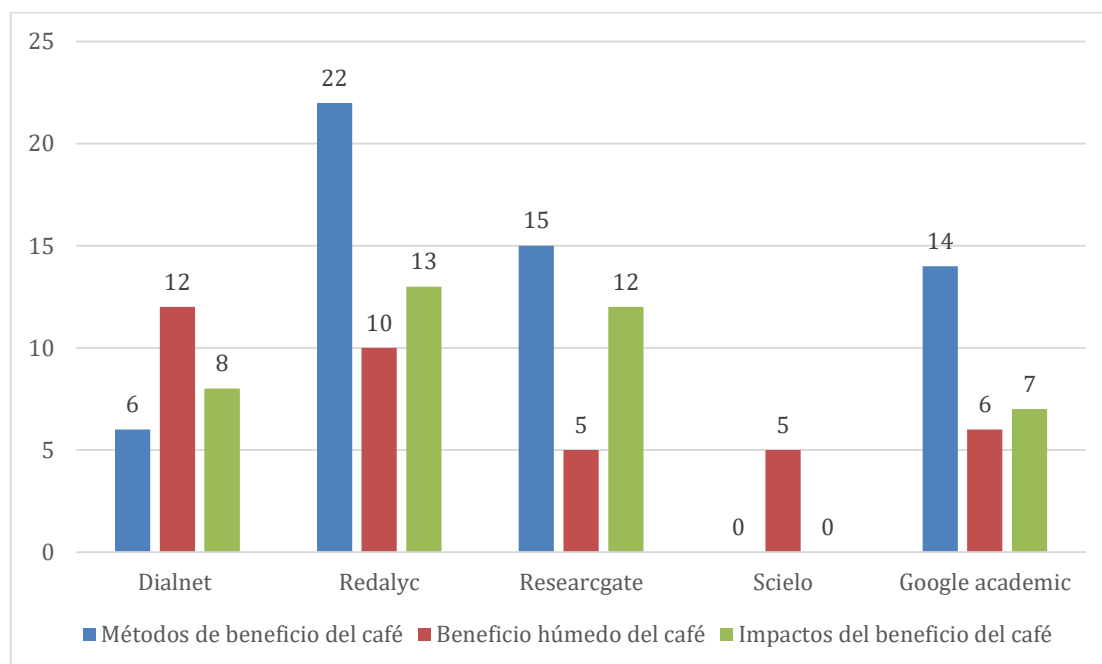


Fuente: construcción propia.

Finalmente se encontraron 37 documentos y artículos que se ajustan a los criterios de inclusión establecidos y son útiles para el desarrollo de la investigación. En cuanto a la segunda pregunta del total de artículos seleccionados, la gráfica 4, evidencia los que hacen referencia al tema en Colombia.

Gráfica 4.

### Artículos que hacen referencia a Colombia



Fuente: construcción propia

#### 4.1.1. Métodos de beneficio del café

Hay tres métodos dominantes de procesamiento de café que son de amplia aplicación en Colombia y en el mundo en general, en seco, semilavado y húmedo. El café, a partir de estos difiere en su perfil de calidad. Las tres formas de procesamiento también pueden tener diferencias en términos de impacto en los entornos cercanos, especialmente en los cuerpos de agua [30].

##### 4.1.1.1. Procesamiento en seco

Entre los diversos métodos de procesamiento del café, el procesamiento en seco es el más simple y menos costoso. Por lo general, produce cafés de sabor natural y se usa ampliamente en África occidental y Brasil. Las bayas se clasifican o limpian manualmente para eliminar la suciedad, las hojas y las ramas; luego, las bayas se esparcen al sol y se rastrillan regularmente para evitar la fermentación [31]. En conjunto, los granos de café se secan junto con su pulpa y mucílago en estado cereza. El procesamiento en seco es lento y puede conducir a la translocación de componentes químicos de la pulpa al interior del grano, así como a la transformación química que depende de las condiciones ambientales

y, por lo tanto, puede tener un efecto considerable en la calidad final del grano y de la taza [32].

En el método seco, se seca la cereza entera y una vez terminada se le quita la pulpa y el pergamino en una sola operación. Este es un método simple que incluye menos costos de mano de obra. Las cerezas se secan al sol o se secan a máquina con la fruta exterior intacta hasta que la fruta alcanza un contenido de humedad del 12%. Después del secado, se descascarillan mecánicamente, produciendo granos que son característicamente más bajos en acidez, dulces, suaves y de sabor más complejo que los cafés procesados por vía húmeda [33].

Aunque hay menos operaciones involucradas en el procesamiento en seco que en el procesamiento en húmedo, este método requiere más tiempo ya que secar las cerezas lleva más tiempo que secar el pergamino. El riesgo de fermentación secundaria es mayor por la presencia de mucílagos que son muy higroscópicos. Por lo tanto, los desechos obtenidos de este proceso en seco, son el mucílago seco y las cerezas, en este caso no se producen aguas contaminantes debido a que no se utiliza durante el proceso, lo que minimiza sus efectos negativos sobre el medio ambiente [33].

#### **4.1.1.2. Procesamiento semilavado**

En el procesamiento de café semilavado, la piel fresca de la cereza se elimina físicamente con la adición de agua mediante una máquina despulpadora. A continuación, se utiliza un desmucilagador para eliminar el mucílago inmediatamente después del despulpado. Como el mucílago se raspa mecánicamente, no hay fermentación del mucílago en este proceso. Limpio el pergamino está listo para secarse después de desmucilarlo una vez que el interior del frijol alcance un 12 % de humedad o menos. Por lo tanto, en este método, los granos de café despulpados no se colocan en tanques de fermentación, sino que se secan directamente, lo que da como resultado un café pergamino llamado café semilavado [34]. El procesamiento húmedo y seco del café son los dos procesamientos de café comunes en Colombia. Sin embargo, el tercer método de procesamiento de café (semilavado) está surgiendo con fuerza en Etiopía [35].

En este método se usa menos agua que en el procesamiento húmedo, pero esta también se ven contaminada con azúcares y ácidos producto del lavado y fermentado, también se genera cereza y mucilago húmedo que debe recibir tratamiento de secado [33].

#### **4.1.1.3. Procesamiento húmedo**

En el método de procesamiento húmedo del café, los granos de café se despulpan, la fruta y la piel se separan y el mesocarpio mucilaginoso se elimina en la fermentación. En los métodos húmedos de procesamiento de café, la fermentación ocurre en agua a temperaturas controladas, lo que produce niveles más bajos de sabores indeseables. Por eso, el café lavado suele asociarse con una mejor calidad en taza. La calidad del café verde y tostado, medida por el aroma, fue mejor después de la fermentación convencional que después de la eliminación mecánica del mucílago [34]. Sin embargo, este método es más favorable en lugares donde hay abundantes suministros de agua dulce. Además, los conocimientos técnicos necesarios y la enorme cantidad de aguas residuales generadas por este método se presentan como una de las principales deficiencias [15].

##### ***4.1.1.3.1. Método de piloto por lotes y piloto continuo para el procesamiento de cerezas de café***

En muchos países productores de café de América Latina, y especialmente en Guatemala, se practican comúnmente dos opciones principales de procesamiento (procesamiento por lotes piloto y húmedo continuo). Ambos métodos difieren en la composición del agua de lavado utilizada para producir los granos de café secos finales. Torres, Sanín y Arango [16], ofrecen una descripción general de las diferentes posibilidades técnicas. En el procesamiento por lotes, las cerezas de café se sumergen en agua para seleccionar las cerezas entre las inmaduras y las buenas maduras, la piel y la pulpa de la cereza se retiran presionando la fruta a través de un tamiz y los granos se colocan en un tanque de fermentación con un chorro de agua durante el lavado. Los granos de café fermentados se lavan para eliminar el mucílago y finalmente se secan al sol. El agua aplicada para lavar los granos fermentados puede consistir en un 50 % de agua dulce y un 50 % de aguas residuales provenientes de etapas anteriores

de despulpado y fermentación. Esta agua se recoge y se bombea de regreso al tanque de recepción para ser incluida en el procesamiento del próximo lote de café. Para procesar 60.000 kg de cerezas de café se aplica un caudal de 6,9 L/s durante 1,5 h. Por lo tanto, 1 kg de café procesado requiere 0,63 L de agua. Se usa agua dulce durante todo el proceso continuo y requiere aproximadamente de 48 horas para completar la fermentación [36].

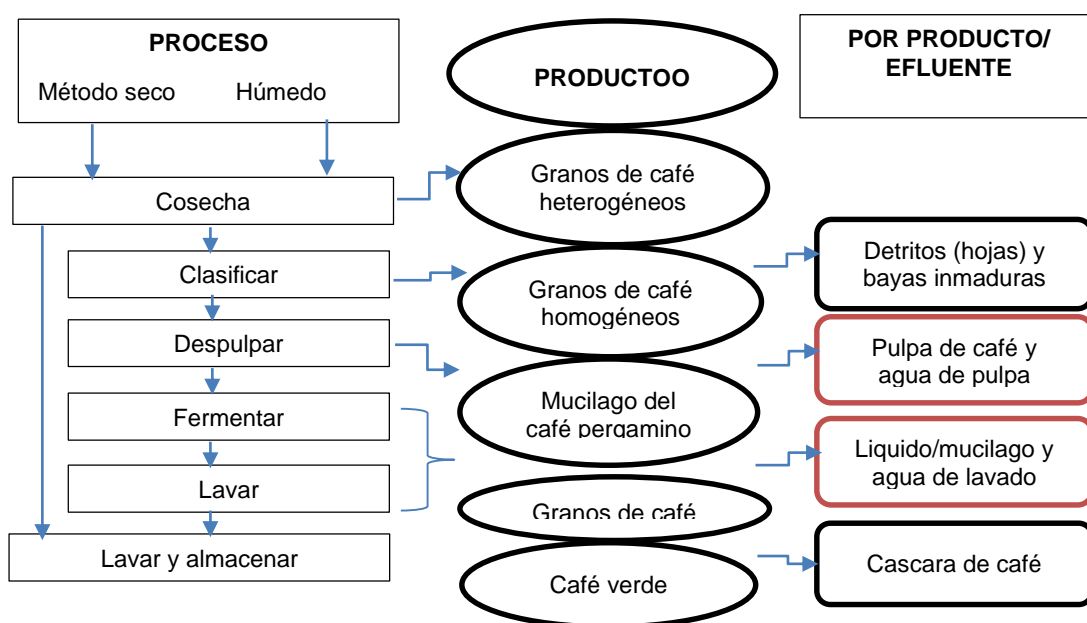
Posteriormente, los granos de café fermentados se dejan reposar en un tanque poco profundo durante otras 40 h, seguido de un paso de lavado. Para procesar 12.000 kg de café, generalmente se aplica un caudal de 4,9 L/s durante 2 h, por lo que se consume al menos 3 L de agua, para producir 1 kg de café procesado [37].

#### 4.1.1.4. Procesamiento húmedo tradicional

En este método, la cereza se exprime en una máquina despulpadora o maja y mortero que elimina el material carnoso exterior (mesocarpio y exocarpio) dejando el grano cubierto de mucílago. Este mucílago se fermenta y se dispersa y el grano se lava y se seca, en la siguiente gráfica se detalla el proceso del café, que habitualmente es llevado a cabo en las mismas fincas

Gráfica 5.

#### Diagrama esquemático del procesamiento del café



Fuente: Construcción propia

En la gráfica 5, se observa que del proceso de beneficio húmedo del café se obtienen diversos productos como detritos, pulpa de café, agua de residuo y la cascara del café, que cuando no son tratadas adecuadamente pueden generar impactos negativos en el suelo, el agua y otros cultivos. Por lo que se genera en términos de demanda química de oxígeno DQO, un 23% de contaminación potencial que tiene el proceso de beneficio del café y se expresa en gramos de DQO/Kg de café en cereza [38].

De acuerdo con Cenicafe, el 73,7% de la contaminación potencial se genera por la pulpa, que produce malos olores y plagas, cuando se lleva a cabo el procesamiento en seco esta puede reducir hasta la mitad de su peso, así como las aguas que se escurren durante su transporte lo que puede contaminar las fuentes hídricas. El mucílago fermentado, constituye un 26,3% de los contaminantes restantes, de los cuales el 80% son componentes solubles en agua de allí que sea muy importante su manejo y disposición adecuados [39].

Según Zambrano y Rodríguez [5], las aguas que son resultado del proceso del café tienen una alta acidez, grandes concentraciones de materia orgánica, sólidos en suspensión que se componen en su gran mayoría de pectina y protopectinas, en un estimado de 15.000 a 30.000 ppm para las aguas mieles y de 60.000 a 120.000 ppm de los lixiviados que se generan de la mezcla de la pulpa y el mucílago.

#### *4.1.1.4.1. Despulpas*

El despulpado implica la eliminación de la piel roja exterior (exocarpio) y la pulpa carnosa blanca (mesocarpio) y la separación de la pulpa y los granos. Las cerezas inmaduras son duras y verdes y por ende difíciles de despulpar. Si el café se va a procesar en húmedo, la cosecha correcta es esencial. Para las unidades a pequeña escala, las cerezas se pueden despulpar en un mortero, esto requiere mucha mano de obra. Las dos despulpadoras más comunes y adecuados para unidades de pequeña escala son las despulpadoras de tambor y de disco [40].

#### *4.1.1.4.2. Despulpadoras de tambor*

Se trata de un tambor giratorio con una superficie de lámina perforada y una placa superior ajustable entre los cuales se despulpan las cerezas de café, se



separan la pulpa y los granos. Hay que ajustar la distancia entre el tambor y la placa de pecho para que se saque la pulpa sin que se dañen los granos. Estos pueden ser operados manualmente o conectados a un pedal o bicicleta. Para unidades de mayor escala, hay despulpares de tambor motorizados disponibles [13].

#### *4.1.1.4.3. Despulpadoras de discos*

El mismo concepto está involucrado con el despulpador de disco. La única diferencia es que, en lugar de exprimir las cerezas entre una placa de pecho y un tambor, se utiliza un disco con una superficie rugosa [13].

#### *4.1.1.4.4. Eliminación de mucílago*

La fermentación del mucílago se lleva a cabo en grandes tanques durante 24 a 40 horas. Sin embargo, el procedimiento de fermentación que da como resultado la mejor calidad, además de permitir una rutina de fábrica razonablemente conveniente y rápida, es el proceso de fermentación "en seco" de dos etapas [12]. En la primera etapa se degrada el mucílago y en la segunda etapa se remoja en agua de 24 a 48 horas. El gel amorfo de mucílago alrededor del frijol consiste en hemicelulosas, sustancias pécticas y azúcares y es insoluble en agua. Esto se puede eliminar por métodos químicos, agua tibia o por un '*aqua pulper*'. Sin embargo, para unidades de pequeña escala, el único método factible es la fermentación [15].

La fermentación implica que los granos se coloquen en baldes o tanques de plástico y se dejen hasta que el mucílago se haya descompuesto. Enzimas naturales en los mucílagos y festines; las bacterias en el ambiente trabajan juntas para descomponer el mucílago. El café se debe remover de vez en cuando y se debe probar un puñado de granos lavándolos en agua [41].

Si el mucílago se puede lavar y los granos se sienten arenosos en lugar de resbaladizos, la almendra está lista, estas deben lavarse inmediatamente ya que los sabores desagradables se desarrollan rápidamente. Después de la fermentación, el café se conoce como 'café pergamino', ya que la semilla conserva su capa de endocarpio, en esta fase debe secarse hasta un contenido de humedad de aproximadamente 10-12% para garantizar la estabilidad [32].

#### **4.1.2. Impactos del beneficio del café**

El procesamiento húmedo del café es la eliminación mecánica de la cubierta exterior (pulpa) de la cereza completamente roja; Se realiza con una máquina accionada por motor o con un despulpador manual. En ambas operaciones se utiliza agua para facilitar el proceso de despulpado [1].

El lavado intermedio se realiza mientras el café pergamino está en el tanque de fermentación; Y en algunas otras máquinas, el mucílago se elimina mediante una máquina de desmucílago mediante el método de rascado. Además, la clasificación se realiza por flotación mientras se lava en un canal de lavado con agua. Del mismo modo, el material con la densidad pesada se hunde mientras que las más livianas fluyen hasta el final del canal de lavado, por último, el lavado finaliza para purificar la almendra y, finalmente, la descarga del agua de lavado se suele descargar en las fuentes de agua [21].

#### **4.1.3. Efectos negativos del beneficio húmedo del café**

Los principales efectos negativos del procesamiento de café húmedo se presentan en el suelo, afluentes de agua y de manera indirecta a la comunidad. La composición química de la pulpa compostada y no compostada desencadena un problema de contaminación ocasionado por el mal manejo del subproducto del café que impacta de manera directa en los recursos naturales [34].

La contaminación del agua por el procesamiento húmedo del café es una consecuencia significativamente negativa. De hecho, los subproductos de las pulpas de café sólidas del mucílago y el agua residual de la planta de procesamiento de café húmedo son predominantemente de naturaleza biológica orgánica, por lo que se fermentan rápidamente produciendo ácido orgánico afectando a los que viven en la comunidad circundante [7].

Por lo tanto, hacen que el agua de los acuíferos no sea apta para uso doméstico, por lo que es un problema que tiene un impacto negativo para las plantas y los animales. Además de los ríos que rodean las fincas que producen café se contaminan con productos químicos de la cáscara del café a través de la lixiviación. Por otro lado, el uso de los recursos naturales es ineficiente porque el beneficio social es menor que el costo social [47].

Esas industrias influyen en los cultivos, el ganado, la salud humana, la pesca y otras industrias adyacentes que utilizan el mismo recurso y que se encuentran después de las fuentes influyentes de la industria primaria.

La mala gestión de las aguas mieles producidas en el procesamiento del café en húmedo, afecta la salud humana en torno al ecosistema a través de la contaminación del agua y el aire, lo que impacta la salud de las personas que utilizan esta agua para beber y preparar alimentos [12].

También impacta en la producción ganadera pues el agua es importante para la producción de ganado, pero a través del beneficio de café húmedo, el agua se contamina y causa deterioro en la salud del ganado, disminuyendo su producción [15].

En cuanto a la producción de plantas o cultivos, después de que la industria del café desecha el agua del beneficio, en muchos casos esta puede ser reusada en la tecnología de riego para producir cultivos. Estos afluentes afectan las características fisicoquímicas del suelo a través de la acidez y la actividad microbiana del suelo y también se genera una alta concentración de contaminación del aire, estos afectan la evapotranspiración de la planta [42].

En relación con la pesca o animales acuáticos, los afluentes húmedos de la industria de procesamiento de café contienen mucílago y mocos con propiedades ácidas. Por lo tanto, afecta la respiración y el ecosistema de los animales acuáticos y también causa un entorno desfavorable para la pesca después de que la industria influya alrededor del ecosistema o la sombra del agua [43].

En consecuencia, la mala gestión de la industria de procesamiento de café húmedo afecta los recursos naturales (agua, planta y suelo), lo que conduce a impactos no deseados en las condiciones ambientales, sociales y económicas, a través de los afluentes y la contaminación [43].

#### ***4.1.4. Impacto de efluentes y subproductos de plantas beneficiadoras húmedas de café***

Los compuestos químicos como la cafeína, los taninos y el ácido clorogénico presentes en los subproductos del café tienen una preocupación ecotoxicológica

que puede limitar sus aplicaciones de valor agregado. El resultado del estudio de Yemane [42] ha indicado claramente que la calidad del agua del río se vio significativamente afectada por la descarga de efluentes sin tratar y subproductos de las plantas de lavado de café. Por lo tanto, sugirieron una intervención urgente hacia las opciones de gestión de efluentes para evitar más daños innecesarios al medio ambiente. El procesamiento húmedo del café genera dos subproductos, como la pulpa de café y las aguas residuales (conocidas como agua miel o efluentes); esta agua residual es ácida, lo que mata a los microorganismos y plantas que eliminan y absorben la contaminación en el agua generada por el beneficio húmedo [36]. Los efluentes del café se vierten directamente a los cuerpos de agua cercanos y causan dolencias graves como sobreexcitación, irritación de la piel, dolor de estómago, náuseas y problemas respiratorios. También podría haber impactos socioeconómicos principalmente debido a problemas de salud humana y pérdida de biodiversidad [44].

#### ***4.1.5. Características y efectos biológicos y fisicoquímicos de las aguas residuales del procesamiento del café***

Varios estudios han informado que las aguas residuales del café se caracterizan por tener una demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), contenido ácido, olor y color muy altos [45].

Es de suma importancia señalar que el principal efecto ambiental de la contaminación orgánica en el agua es la disminución o insuficiencia de oxígeno y opacidad. La presencia de químicos tóxicos como taninos, fenólicos y alcaloides inhibe la degradación biológica o de materia orgánica en los cuerpos de agua donde se ha vertido el efluente. Los procesos microbianos descomponen lentamente las sustancias orgánicas liberadas en los cuerpos de agua, consumiendo el oxígeno del agua. A medida que la demanda de oxígeno comienza a exceder el suministro, la disminución del contenido de oxígeno crea lentamente una condición anaeróbica [46].

Este fenómeno da como resultado una gran cantidad de oxígeno necesario para descomponer los desechos orgánicos en las aguas residuales (DBO) y también una gran cantidad de oxígeno necesario para combinarse con productos químicos (DQO). Las condiciones anaeróbicas creadas en las aguas residuales

son responsables del olor y podrían ser muy fatales para los habitantes acuáticos; las bacterias que se filtran en las fuentes de agua potable también pueden tener consecuencias directas para la salud de los seres humanos [46]. El color es un factor significativo para la vida acuática en la fabricación de alimentos a partir de los rayos del sol. La actividad fotosintética disminuye debido al color oscuro. Esto, a su vez, afectará a otros parámetros como la temperatura, el OD y la DBO [44].

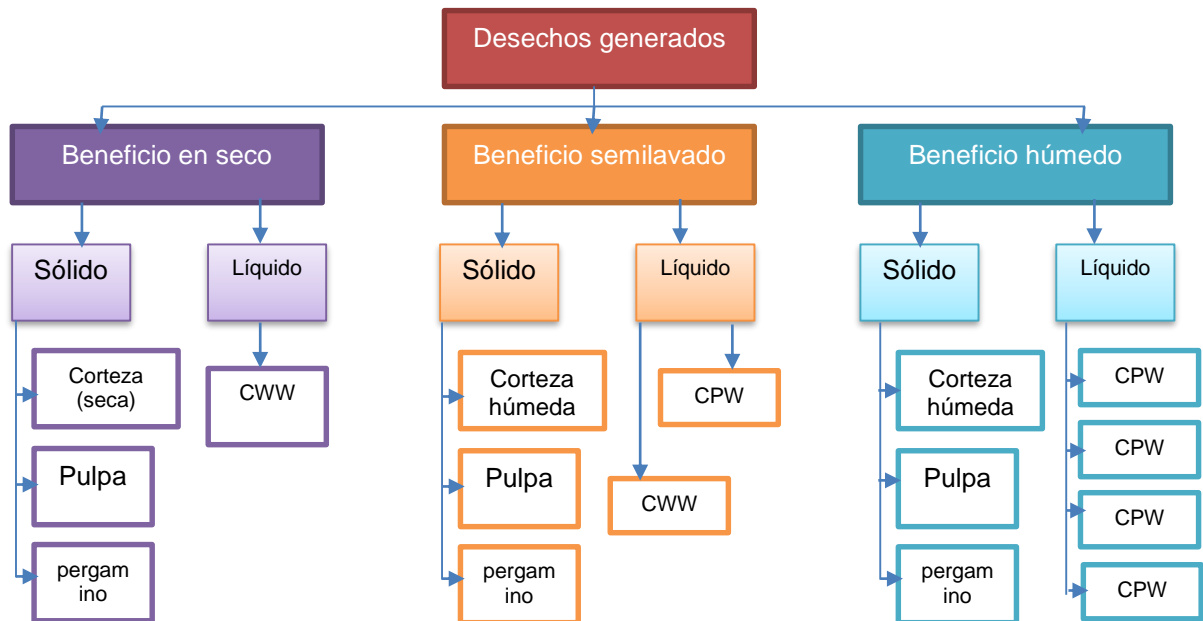
En general, la necesidad de prácticas sostenibles de gestión de aguas residuales para las industrias está impulsada por muchos factores, incluida la legislación, los límites de eliminación en cuerpos de agua sensibles, la protección contra riesgos relacionados con el agua, la consideración económica con respecto al costo del agua, la imagen corporativa (como un forman parte de la responsabilidad social corporativa de la empresa o incluso como parte de la obligación de la corporación con el medio ambiente). Por lo tanto, esta revisión analiza los métodos que se han utilizado hasta el momento y brindan una tecnología poco común en el manejo de las aguas residuales del procesamiento del café [44].

#### **4.1.5.1. Residuos sólidos y líquidos**

Los residuos líquidos son los generados durante el procesamiento que se realiza con agua; en el caso del café, el uso es bastante significativo. Los residuos líquidos (aguas residuales de café) se pueden clasificar en CWW (Coffee washing wastewater), CPW (Coffee peeling wastewater), CFW (Coffee fermentation wastewater) y CMW (Coffee mucilage wastewater), siendo la vía seca la única que produce CWW; vía semiseca, CWW y CPW; y la vía húmeda puede producir los cuatro tipos de aguas residuales, en la gráfica 6, se presenta el resumen de los principales residuos generados por el proceso del café [44].

Gráfica 6.

**Resumen de los principales residuos generados en las etapas de procesamiento del café.**



Fuente: Barrios, Chacón y Santos [12].

La primera etapa del café poscosecha es el lavado, que elimina la carga inicial de suciedad y además promueve la separación hidráulica de frutos de la más alta calidad. Estos, a su vez, van al fondo y se separan de los de menor calidad (también llamados frutos “flotantes”) que emergen a la superficie. El CWW se puede clasificar como agua con la mayor cantidad de suciedad, ya que es el agua que primero entrará en contacto con la fruta recién cosechada. De esa forma, puede transportar arena, tierra, piedra, hoja, pedazos de tierra, pedazos de madera, insectos, microorganismos, pesticidas, entre otros. Por otro lado, en esta agua se puede encontrar una cantidad razonable de nutrientes del café. Esta cantidad puede incrementarse si el café permanece en reposo en los tanques de lavado [16].

Cabe señalar que durante las etapas de separación hidráulica se puede reducir el consumo de agua, debido a la implementación de la recirculación y/o reutilización del agua en las lavadoras, especialmente mecánicas, práctica que comúnmente se realiza en las propiedades del café. Esta recirculación tiende a aumentar la concentración en el agua de lavado de los constituyentes bióticos y abióticos presentes en el café cosechado [50].

Resulta que los altos valores de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) indican que los CWW tienen una alta carga orgánica y, en consecuencia, causan problemas para los cuerpos de agua receptores, si se vierten sin un tratamiento previo. Estudios adelantados por Beyene et al. [63], encontraron que hay un problema resultado de la liberación de aguas con elevados niveles de residuos orgánicos por parte del procesamiento de café. Al medir el DBO demostraron que los residuos de café tienen altas concentraciones de materiales de origen orgánico oxidables, lo cual origina desoxigenación en los ríos, afectando los organismos que viven en ellas [7].

Se evidencia la necesidad de diseñar procesos de reutilización del agua en otros sectores y así aprovechar los nutrientes que contienen y disminuir su potencial de contaminación. Esto lleva a que se implementen adecuadas prácticas agrícolas, como la cosecha manual que reduce el nivel de impurezas como hojas, tierra o ramas, que aumentan la contaminación de las aguas [42].

En cuanto a CPW, hay una mayor concentración de partículas y compuestos del café en comparación con CWW. Dado que el café ha sido limpiado antes de ser pelado, se espera que esta agua tenga menos suciedad de las mencionadas y una mayor cantidad de componentes de la fruta. Esto se debe a que, además de la cáscara, parte de la pulpa termina siendo removida y diluida en el CPW, enriqueciéndola y haciéndola más nutritiva [42].

El CMW puede corresponder a una de las aguas con mayor concentración de nutrientes, especialmente azúcares, ya que se relaciona con la remoción de mucílagos adheridos a los granos. Esto ocurre porque el demucilaginador, que trabaja con agua, tiene un control estricto de la salida de este componente, pudiendo controlar cuánto será procesado, lo que permite generar agua con una mayor concentración de nutrientes. Es decir, para la industria alimentaria, este subproducto sería muy interesante desde el punto de vista nutricional, por la alta concentración de nutrientes (principalmente azúcares), y desde el punto de vista económico, a diferencia de otras aguas residuales, ya que tiene menos suciedad; por lo tanto, la industria gastaría menos para preparar CMW para su uso [42].

#### 4.1.6. Medición impactos del beneficio húmedo del café

Se realizó una matriz de impacto ambiental (tabla 3), basada en los resultados y análisis de las investigaciones que han llevado a cabo mediciones de los impactos del beneficio húmedo del café sobre el medio ambiente que han sido presentados y analizados dentro de este mismo capítulo, a continuación, se presenta la tabla 8.

Tabla 8.

#### Análisis matriz de Leopold

Proceso de beneficio tradicional del café		Actividad			Total	
Componente	Impacto	Despulpado	Desmucilaginado	Lavado		
Dimensiones físicas	Geomorfología	Erosión			-7 5	-7 5
	Suelo	Cambio en las condiciones fisicoquímicas del suelo	+8			+8
		Cambio de uso	+5			+5
	Hidrogeología	Contaminación de aguas subterráneas			-3	-3
		Modificación del nivel freático			4	4
	Aire	Deterioro de la calidad del aire	-4			-4
		Aumento en decibeles del ruido				3
	Recurso hídrico	Alteración calidad del agua			-10	10
		Disminución del recurso hídrico	-9	-6	-9	-25
		Disminución en la capacidad de transporte		6	9	24
		Alteración del cauce			-6	-6
		Calidad microbiológica			8	8
		Vertimientos		-3	5	-7
	Ecosistemas dulceacuícolas	Afectación de la calidad hábitat dulceacuícola			-10	-10
		Cambio en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológica			10	10
	Flora	Perdida de la cobertura vegetal			-2	-2
		Pérdida de biodiversidad			3	3
		Cambio en la estructura composición florística			-9	-9
	Fauna	Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre			8	8
		Afectación de especies focales			-8	-8
				7	7	

Fuente: Guzmán (2021) y Mora y Mendoza (2017)

Dentro de toda la información bibliográfica recabada sobre el impacto del beneficio húmedo del café, se encontró que cuando las fincas y unidades



productivas del café que no cuentan con sistemas de tratamiento de las aguas mieles, afectan negativamente las fuentes hídricas, principalmente durante el proceso de despulpado, desmucilaginado y lavado, alterando los cauces y disminuyendo la cantidad y calidad del recurso hídrico.

Esta alteración se ha evidenciado en diversos estudios [10][16][45][47], donde los cambios fisicoquímicos en los cuerpos de agua como resultado del depósito de aguas mieles, se evidencian en valores altos de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sup>5</sup>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Grasas y Aceites, pH in Situ ácido, y Sólidos Suspendidos Totales (SST), que superan los límites permisibles por la Resolución 0631/2015 donde se establecen los valores máximos de los vertimientos de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de agua superficiales [54].

En relación con la disminución del recurso hídrico, este se ocasiona por el elevado consumo de agua, aproximadamente 6000 L para despulpar y desmucilaginar 560 Kg de café, esta cantidad de agua se multiplica, en función del número de lavados que se llevan a cabo en cada finca [54].

En cuanto a los resultados obtenidos en la matriz sobre los factores ambientales, se obtuvo una media de -4,5 y una desviación estándar de 9,3, según esto los factores ambientales se encuentran por debajo de la media, lo cual indica una compatibilidad relativa del procesamiento y beneficio del café, pero que es necesario brindar una prioridad en la atención de los mismos, para que sus afectaciones negativas se minimicen a mediano plazo.

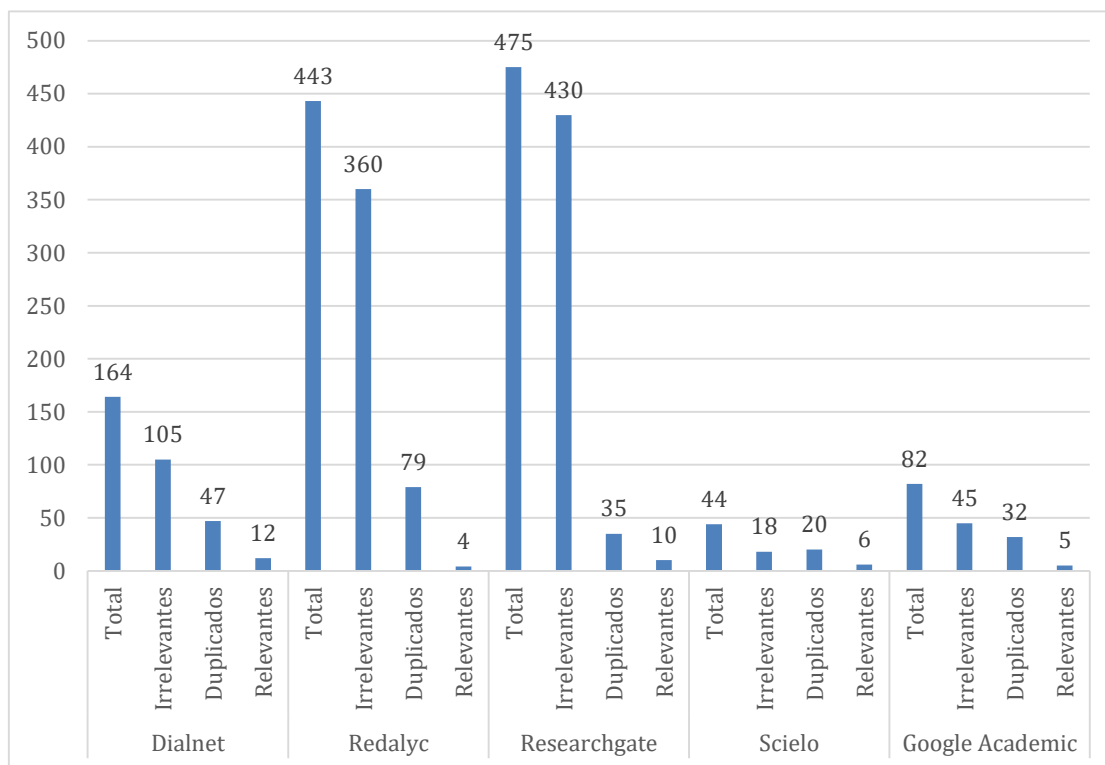
En el punto de afectación del agua, por disminución de la calidad y cantidad del recurso hídrico, se encuentran los valores más elevados, lo que significa que es necesario dar prioridad a la atención de estos.

#### **4.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales más eficientes del beneficio del café en los departamentos de Huila, Antioquia y Cauca**

Con base en los criterios descritos en el apartado de metodología para adelantar las búsquedas, se encontró que para el período establecido se publicaron un total de 1208 documentos que cumplen con los parámetros determinados para ser incluidos de manera inicial dentro del estudio. Sin embargo, solo 25 son

relevantes para el propósito del capítulo, se presenta grafica número 7 con los estudios analizados.

Gráfica 7.  
Estudios analizados



Fuente: construcción propia

#### 4.2.1. Tratamientos de aguas residuales

El sistema convencional de aguas residuales radica en la mezcla de métodos y operaciones físicas, químicas y biológicas para eliminar los sólidos, la materia orgánica y, a veces, los nutrientes de las aguas residuales. Los métodos generales que se utilizan para describir los diferentes grados de tratamiento, en orden creciente de nivel de tratamiento, son tratamiento de aguas residuales preliminar, primario, secundario y terciario y/o avanzado. En algunos países, la desinfección para eliminar patógenos a veces sigue al último paso del tratamiento [29].

#### **4.2.2. Tratamiento preliminar**

El objetivo del tratamiento preliminar es la eliminación de sólidos gruesos y otros materiales grandes los cuales se separan mediante rejillas y tamices de diferente grosor ya que estos interfieren en el proceso. La separación de estos materiales es necesaria para optimizar la operación y el mantenimiento de las unidades de procedimientos posteriores. Las operaciones de tratamiento preliminar suelen incluir el cribado grueso, la eliminación de arena y, en algunos casos, la trituración de objetos grandes.

Además, en las cámaras de arena, la velocidad del agua a través de la cámara se conserva lo suficientemente alta, o se utiliza aire, para evitar la sedimentación de la mayoría de los sólidos orgánicos. La eliminación de arena no se incluye como un paso de tratamiento preliminar en la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas ya que este es un proceso de sedimentación. A veces se adoptan trituradores para complementar el tamizado grueso y sirven para reducir el tamaño de partículas grandes para que se eliminen en forma de lodo en los procesos de tratamiento posteriores. Los dispositivos de medición de flujo, a menudo canales de onda estacionaria, siempre se incluyen en la etapa de tratamiento preliminar [5].

#### **4.2.3. Tratamiento primario**

Esta etapa tiene como objetivo remover a través de la sedimentación los sólidos orgánicos e inorgánicos, y por medio del desnatado los materiales flotantes o escoria. Se ha establecido que durante este tratamiento se eliminan entre el 50% y el 70% de los sólidos suspendidos y el 65% del aceite, mejorando la demanda bioquímica de oxígeno entrante (DBO<sup>5</sup>). Otros elementos como el nitrógeno y el fósforo orgánico, así como los metales pesados son eliminados por la sedimentación primaria, sin embargo, no afecta los constituyentes coloidales y disueltos [46]

En algunos países, este tratamiento es considerado como el nivel mínimo para tratar las aguas residuales antes de usarlas para el riego de cultivos que no son para el consumo de seres humanos o servirán para elaborar alimentos procesados. Sin embargo, con el fin de controlar condiciones que puedan afectar

la compensación de flujo, se recomienda llevar a cabo algún tipo de tratamiento secundario adicional [46].

#### **4.2.4. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario busca retirar del agua los residuos orgánicos y sólidos que quedan suspendidos luego de llevarse a cabo el tratamiento primario. Habitualmente se desarrolla posterior al tratamiento primario y a partir de procesos biológicos aeróbicos pretende eliminar toda la materia orgánica y coloidal disuelta y en suspensión. Es realizado por microorganismos aeróbicos que tiene la capacidad de metabolizar las partículas orgánicas presentes en el agua residual, transformándolas en microorganismos y productos inorgánicos como el CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O [46], [47].

Si el proceso se lleva a cabo a alta velocidad se distinguen por manejar volúmenes pequeños, pero con altas concentraciones microorganismos, al contrario de lo que sucede en los procesos de baja velocidad, debido a esto los nuevos organismos crecen a mayor velocidad en sistemas de alta tasa como consecuente del ambiente controlado.

En el tratamiento secundario los microorganismos son separados mediante la sedimentación de las aguas residuales con el fin de obtener un efluente secundario clarificado. Los tanques de sedimentación también son llamados clarificadores secundarios, operan de manera similar a los tanques primarios. Los sólidos biológicos obtenidos en la sedimentación secundaria, llamados lodos suelen combinarse con los lodos primarios para ser procesados posteriormente [48].

Dentro de estos procesos se encuentran: los procesos de lodos activados, filtros percoladores o biofiltros, zanjas de oxidación y contactores biológicos giratorios (RBC), en algunas ocasiones se puede usar dos de estos procesos en serie, cuando se tratan las aguas residuales municipales que contienen una alta concentración de material orgánico de fuentes industriales [44].

#### **4.2.5. Tratamiento de aguas residuales resultado del beneficio del café**

El proceso descrito anteriormente incluye la descarga de grandes cantidades de aguas residuales resultantes de los diversos pasos del procesamiento: clasificación de cerezas por flotación; remoción de pulpa; y lavado de los granos después de que se completa la fermentación. En general, esta agua es ácida, desoxigenada y cargada de sólidos en suspensión y material orgánico de la pulpa y el mucílago. En muchos beneficios tradicionales, las aguas residuales simplemente se descargan en el arroyo o río más cercano, sin considerar las consecuencias ambientales [50].

Los diseños modernos y “ecológicos” (beneficio ecológico) reducen el requerimiento general de agua y brindan tratamiento a las aguas residuales antes de su descarga. La reducción de volumen se logra en gran medida mediante el uso de despulpadores diseñados para operar con menos flujo de agua y mediante el diseño del molino para que requiera menos agua para el transporte de las cerezas y los frijoles entre las etapas. El agua restante, en gran parte de la etapa de lavado, generalmente se trata en un conjunto de pozos de sedimentación antes de infiltrarse en el suelo o descargarse en las aguas superficiales [48]. En las fincas más pequeñas, estos pozos a menudo se excavan sin ningún diseño formal, y el agua generalmente no recibe tratamiento previo antes de descargarse en ellos. En las instalaciones más avanzadas, que generalmente se encuentran solo en las haciendas más grandes, el tratamiento de las aguas residuales puede incluir una digestión anaeróbica cuidadosamente diseñada con captura de biogás para combustible agrícola [51].

La descarga de aguas residuales contaminadas degrada el medio ambiente general de la granja y la calidad del agua para los vecinos río abajo, lo que afecta el agua potable, los cultivos de sustento y el ganado. Además, algunas certificaciones deseadas requieren que las aguas residuales reciban al menos un tratamiento mínimo antes de su descarga [44].

Para que cualquier tratamiento se considere efectivo, el método debe tener en cuenta el costo operativo, el respeto al medio ambiente y las diferentes demandas de calidad del agua en relación con los usos del agua para optimizar

la reutilización en función de la tasa de agua por uso. Las aguas residuales deben descargarse según los límites de descarga predeterminados [52]. También se debe considerar la estabilidad y confiabilidad del método de manejo. Habiendo destacado la gravedad del manejo inadecuado del efluente de café, esta sección destaca varios métodos que se han aplicado en el manejo del efluente de café con sus contras y pro.

#### 4.2.5.1. Métodos biológicos

Se han estudiado varias formas de filtración en conexión con biorreactores para acelerar la descomposición biológica, Hubbe et al. [52] afirma que se debe tener en cuenta el efecto sobre la salud y el medio ambiente de la descarga directa del efluente de café sin manejo. El tratamiento biológico se practica ampliamente; uno de los principales objetivos del tratamiento biológico es la eliminación de DBO, y se ha descubierto que dicho tratamiento es ineficaz para reducir el color u otros componentes ácidos de las aguas residuales del café y los procesos requieren un período prolongado (unos pocos meses) para degradarse por completo materiales orgánicos. El tratamiento biológico incluye, entre otros, tratamiento aeróbico/anaeróbico, riego por aspersion, lodo activado, inmovilización, tratamiento enzimático, uso de biorreactores [53]. Se presenta la tabla 9.

Tabla 9.

#### Ventajas y desventajas de las técnicas de tratamiento biológicas

Método	Ventajas	Desventajas
Hierro cerivalente (ZVI)	Eficaz en la eliminación de color y carbono orgánico total TOC	Los materiales necesitan reemplazo después de cada tratamiento
Foto fenton	Eficiente en la eliminación de color en aguas residuales de café	Se requiere suministro adicional de peróxido de hidrógeno. También hay un pH muy bajo que no se neutraliza. Toma mucho tiempo
Oxidación	Costo relativamente bajo, el mayor porcentaje de tratamiento obtenido fue 75,99% para ácido cafeico	Vida útil catalítica corta de la enzima cuando el proceso de polimerización no está activo. La actividad de la enzima depende de la temperatura, lo que hace que el proceso sea engorroso

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Especies de hongos</b>	Los hongos tienen un alto potencial para eliminar parámetros fisicoquímicos	Toma más tiempo para que los hongos produzcan resultados considerables. Baja tolerancia de las especies de hongos a los cambios en el nivel de pH
<b>Riego por aspersión</b>	Bajo costo y no requiere habilidad especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El proceso no tiene en cuenta el hecho de que el agua subterránea</li> <li>• Puede ser confinado y no confinado.</li> <li>• Además, puede tomar más tiempo para que los contaminantes se filtren al agua subterránea.</li> <li>• También podría resultar en anaerobiosis.</li> </ul>
<b>Digestión aeróbica/ Anaeróbica</b>	Es el método de tratamiento más popular.	<p>Este proceso necesita mucho tiempo, ya que los consorcios bacterianos responsables del proceso de degradación requieren tiempo para adaptarse al nuevo entorno antes de comenzar a consumir materia orgánica para crecer;</p> <p>Otra desventaja de este método es el hecho de que el volumen y la fuerza del efluente pueden no ser consistentes y por lo tanto inhibir el proceso y la eficiencia requerida para tratar el efluente.</p> <p>Finalmente, este método requerirá un tratamiento posterior adicional para cumplir con el estándar ambiental para la eliminación.</p>
<b>Coagulación</b>	Logró 71,9 % y 97,8 % de eliminación de color DQO, respectivamente, con 7,5 g/L de FeCl <sub>3</sub> a pH 5	El resultado final tiene un pH bajo
<b>Carbón activado</b>	Removió 98.2 y 99.1 de DQO y DBO, mientras que el carbón activado comercial 99.02% y 99.35%, respectivamente. El método más eficaz para eliminar DQO y color.	Requiere gran cantidad de energía

Método	Ventajas	Desventajas
<b>Filtración por membrana</b>	Muy útil como método de cotratamiento	Obstrucción y ensuciamiento de la membrana, así como la presión requerida Altos costos de implementación
<b>Coagulación electroquímica</b>	Muy eficaz para la recuperación y reutilización de lodos (64–85 %) eliminación de color a pH 6 con sulfato ferroso	Requiere un alto nivel de experiencia, no es rentable para los fabricantes de café a pequeña escala y no es eficiente en la eliminación del color. Los factores que afectan este proceso incluyen el material de los electrodos, las características de las aguas residuales
<b>Radiación gama</b>	El método es seguro, rápido y eficaz y no genera contaminación	La irradiación es un tratamiento de alto costo.

Fuente construcción propia a partir de [58] [64] [65] [66]

#### **4.2.6. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales del café usadas en Colombia**

Para este estudio se seleccionaron en tres departamentos colombianos de larga tradición cafetera (Antioquia, Cauca y Huila). Estos departamentos fueron elegidos porque son representativos de todo el país en cuanto a producción de café y con una amplia gama de condiciones ambientales de la zona cafetalera en Colombia (Tabla 10).

Tabla 10.

**Información básica relacionada con los departamentos, estaciones meteorológicas utilizadas en los cálculos del cultivo del café y sus condiciones ambientales.**

Departamento	Estación meteorológica	Promedio de precipitación anual (mm/año)	ETa (mm año)	Capacidad de los suelos (%)	Punto de marchitamiento permanente de los suelos (%)
Antioquia	El Rosario	1.724	969	36,8	26
Cauca	Manuel Mejía	1270	770	58,8	46,8
Huila	Benito Salas	1.455	1.008	19,7	10

Fuente Cenicafe (2020).

De acuerdo con Sepulcre [72], en el departamento del Cauca, debido al predominio de las pequeñas parcelas y cultivos de café, cuando los campesinos optan por algún tipo de tratamiento para las aguas que son resultado del lavado del café, optan por métodos económicos y de fácil montaje como son el de arena



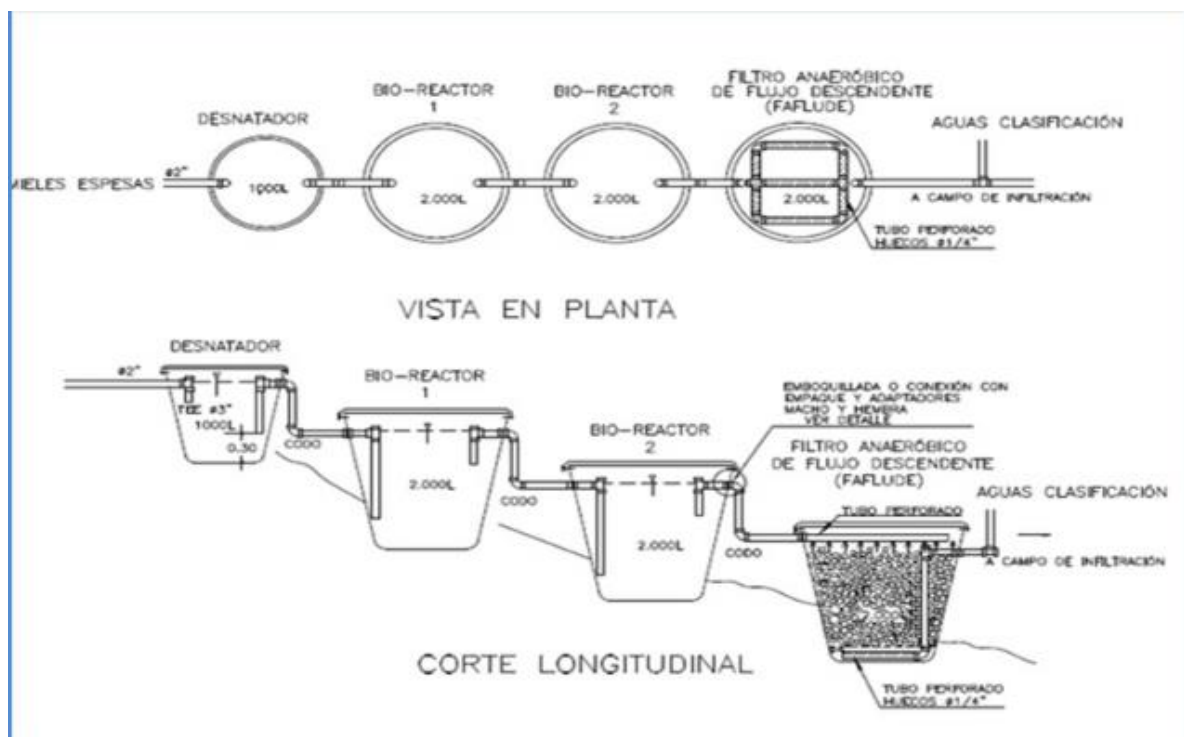
y los biodigestores en especial de plástico, debido a su bajo costo, fácil mantenimiento y adaptabilidad frente al clima.

Los biodigestores son un tratamiento de aguas residuales muy extendido debido a que son una opción competente en función de costos/beneficio. Este método se basa en fermentación orgánica del agua en un entorno anaeróbico, que genera residuos como el biogás, que además puede ser aprovechado por los campesinos en sus cocinas o en caso de ser un volumen adecuado en producir electricidad. El segundo desecho es un residuo líquido, que puede ser utilizado como fertilizante, debido a su gran concentración de nitratos.

El Comité de Cafeteros de Antioquia recomienda los cultivadores de café del departamento, el uso de plantas que integran tecnologías SMTA para el proceso de descontaminación de aguas. Para lo cual diseñó un nuevo modelo para ser más eficiente y económico, un tanque séptico o reactor hidrológico ácido génico (ilustración 1).

Ilustración 1.

### Diseño modificado en Antioquia Para Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: [54], p. 48

Dentro de este tanque se presentan una serie de procesos físicos y biológicos, a partir de los cuales se lleva a cabo la transformación de la materia por procesos anaeróbicos, transformándose en gases, sólidos y líquidos, los cuales conforman tres capas bien definidas, a saber: 1. Natas en la superficie, 2. lodos en el fondo y 3. una capa intermedia líquida que es la que pasa al filtro anaeróbico.

El mismo estudio de Mejía [54], encontró que en las fincas más pequeñas se había adoptado como una opción viable el uso de extractos vegetales como una forma de tratamiento natural, algunas de estas plantas son: moringa (*moringa oleífera*), cadillo (*cenchrus echinatus*), balso (*ochroma pyramidale*), jatropha (*jatropha curcas*) y astromelio (*alstromelia aurea*).

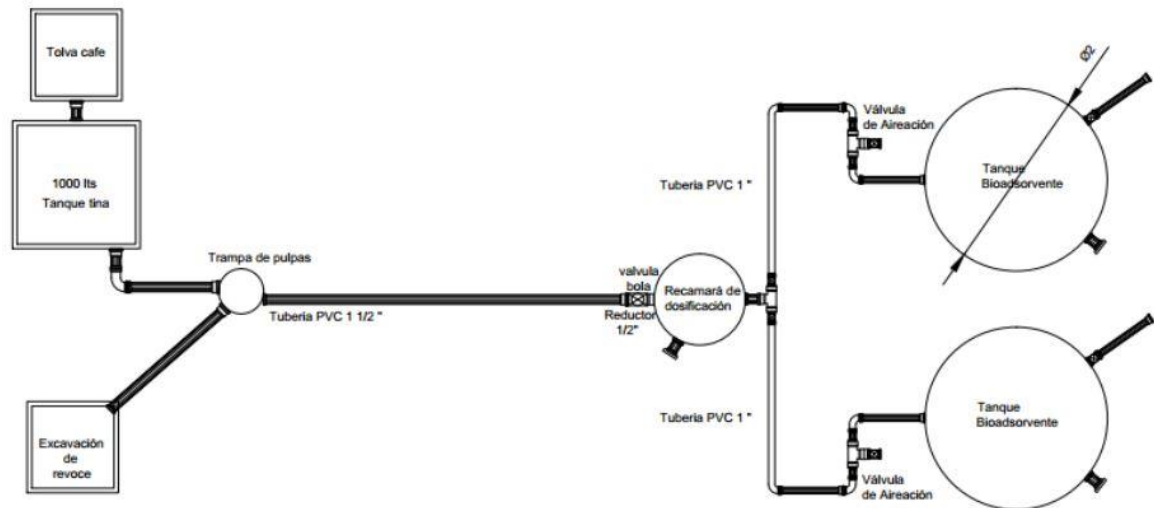
En las investigaciones llevadas a cabo por Cenicafe sobre este punto, se encontró que cuando se hace uso de la *Moringa oleífera* los porcentajes de esta deben estar entre 5000 y 6000 ppm (5,0 g/L para agua con DQO de 25000 ppm y 6,0 g/L para agua con DQO de 12500 ppm), obteniendo una disminución de DQO entre un 65 y un 72% a partir del efluente del tratamiento primario [17].

En cuanto al extracto de Jatropha esta es aplicada sobre el agua residual del beneficio del café con pH ácido, permitiendo que se reduzca la carga orgánica hasta en un 70%. La dosis óptima de Jatropha se ubica entre 1500 y 2500 ppm, lo que representa 1,5 g/L para agua con DQO de 12500 ppm y 2,5 g/L para agua con DQO de 25000 ppm. Al aplicar la jatropha mezclada con hidróxido de calcio se facilita el proceso de floculación, logrando mayores eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales [55]

En el departamento del Huila, también se han puesto en marcha ensayos con el uso de plantas para tratar las aguas mieles del beneficio del café, específicamente con la *Moringa oleífera lam*, haciendo que actúe como bioadsorbente, para lo cual se puso en marcha un sistema como se muestra en la ilustración 2.

Ilustración 2.

**Tratamiento de aguas usadas en el proceso del beneficio del café mediante el bioadsorbente *Moringa oleífera Lam***



Fuente: [17], p. 108

Este tipo de sistemas tienen un bajo costo de instalación y el problema de suministro de moringa se puede solucionar a partir del cultivo de la planta en la misma unidad productiva, lo que facilita el proceso. Además, los desechos obtenidos pueden ser utilizados como abono orgánico a partir de un montaje de compostaje con lombrices lo que permite el desarrollo de una unidad productiva sostenible [17]

En otras fincas con mayor producción se ha implementado el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA), debido a que según algunas investigaciones ofrece mayores porcentajes de remoción de contaminantes superior al 80% de la DBO y la DQO. Estos porcentajes se alcanzan debido a que el sistema se compone de dos unidades, que facilitan la separación de fases de la digestión anaerobia [14].

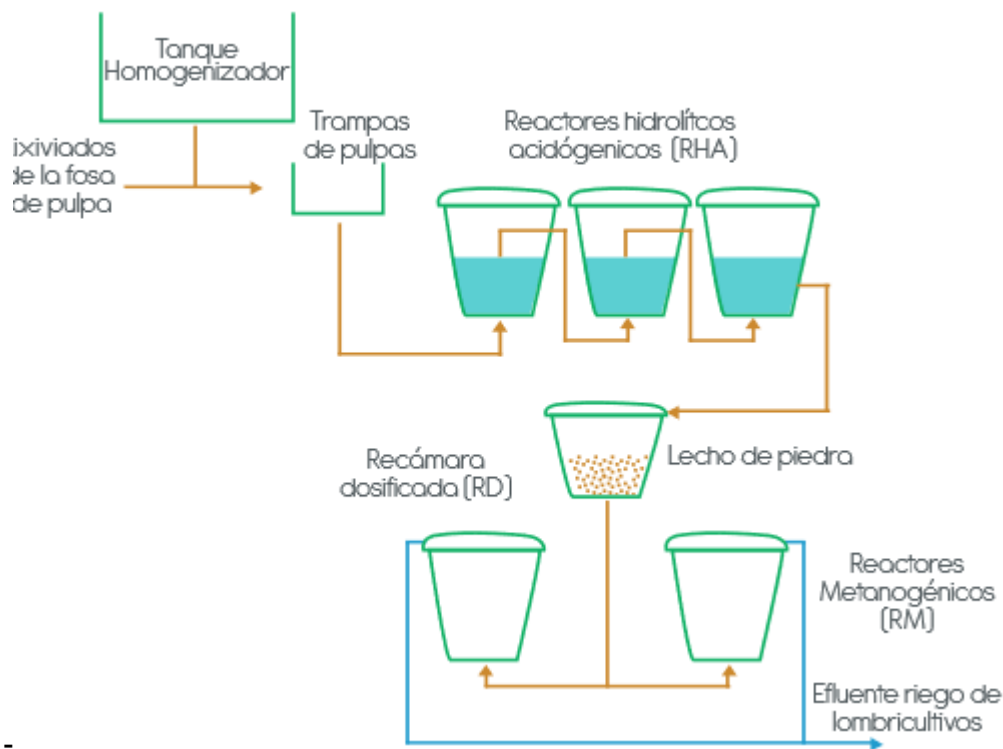
En Antioquia, se ha reducido la forma tradicional de beneficio del café en un 53% en los últimos años, con la construcción de beneficiaderos ecológicos los cuales reducen el consumo total de agua y facilita el manejo de los subproductos que se generan en el proceso a través de la puesta en marcha de buenas prácticas. El agua resultante del proceso, es tratada a través del sistema modular de tratamiento anaeróbico [17].

Este mecanismo no utiliza energía para el bombeo, aprovechando la topografía de la región para bombear por gravedad, llevando el agua hasta unidades de polietileno con tapa y de color negro, donde la temperatura alcanza los 30° y se

puede controlar los malos olores, se utilizan microorganismos metanogénicos para el tratamiento de las aguas mieles [17] (ilustración 3).

Ilustración 3.

### Sistema modular de tratamiento ANAERÓBICO – SMTA



Fuente: tomado de [17], p.49.

En el estudio de Barajas [56], se analizó la puesta en marcha de un biodigestor en fincas en una región del Cauca, para el tratamiento de las aguas residuales del proceso del café en el cual también se optó por el uso de métodos basados en materiales vegetales, debido a su facilidad de montaje, economía y buenos resultados.

Con base a los diferentes métodos expuestos, se evidencia que todos presentan pros y contras, tanto a nivel económico como de tipo ambiental, en especial para la aplicación de los pequeños productores. En este caso los métodos biológicos ofrecen diversas alternativas, pues en su gran mayoría son de bajo costo y no requieren de conocimientos técnicos específicos para su uso, por lo que puede ser utilizado por los campesinos en pequeños terrenos, con una inversión mínima y de manera básica [57].

Uno de los métodos más utilizados y que permite obtener excelentes resultados, es el basado en el uso de plantas y tecnologías SMTA implementado en tanques

plásticos en diversos niveles que facilitan la descontaminación de las aguas, y con la limpieza de las mismas a partir del uso de extractos vegetales, pueden ser devueltas a los afluentes con mínimos porcentajes de DQO, lo que facilita su reutilización, minimizando su contaminación [57].

### **4.3. Sistemas de tratamiento de aguas del beneficio del café**

Los productores de café llevan a cabo los pasos descritos anteriormente en la finca en una instalación de “beneficio húmedo” conocida como beneficiadero. Este espacio protegido y bien ventilado, que contiene la maquinaria de despulpado, los tanques de fermentación y el canal de lavado, requiere una fuente abundante de agua limpia, tanto para transportar las cerezas y los granos dentro del molino como para lavarlos a fondo. El beneficio también debe proporcionar la eliminación de una gran cantidad de aguas residuales, que están muy cargadas de carbohidratos y otros nutrientes provenientes del despulpado y el lavado [49]. En comunidades pequeñas, los vecinos inmediatos pueden compartir un beneficio al coordinar sus horarios de recolección y procesamiento. Las comunidades menos favorecidas a veces carecen incluso de esta instalación básica de procesamiento compartido, a menudo recurriendo al uso de sacos de plástico tejido para la fermentación y métodos de lavado improvisados en tinas. Sin un beneficio limpio y bien ventilado, no se puede esperar que los productores produzcan café de la más alta calidad [49].

#### ***4.3.5. Principales causas que llevan a reducir el nivel de adopción de tecnologías de beneficio sostenibles por parte de los productores***

La sostenibilidad dentro del proceso productivo, en especial en el beneficio del café, posee tres componentes importantes: ambientales, sociales y económicos; que deben ser atendidos simultánea y responsablemente con el objetivo de generar tanto buen producto final como un proceso productivo amigable con el medio ambiente, es decir eco tecnológico [58]. A continuación se abordan los tres componentes y las respectivas consideraciones a tener en cuenta:

**La sostenibilidad ambiental** abarca dos aspectos, en primero lugar la disponibilidad permanente de servicios que sean de carácter eco sistémico y

resilientes, así como que se preserve la naturaleza, es decir, requiere resiliencia climática.

El café es un sistema de carácter agroforestal que ofrece diversos servicios ecosistémicos, y a su vez permite que se mantengan y restauren sistemas biológicos y sociales resilientes. Kufa [59], sostiene que existe la necesidad a la producción del café bajo los sistemas agroforestales dentro de los acuerdos climáticos, basándose en la compensación generada por los múltiples servicios ecológicos producidos por la adopción de dicho sistema en cada país. Méndez et al [60], recomiendan la siembra del café de sombra frente a las autoridades agrícolas y los responsables de crear políticas públicas agrarias en los países en desarrollo como una opción para una correlación positiva entre la conservación del medio y el necesario crecimiento económico de estas regiones.

Se ha establecido que hay una necesidad de minimizar los impactos negativos generados por la producción de café, a partir de la creación de ambientes de donde se reduzcan la deforestación y la degradación forestal, para esto es necesario diseñar medidas de identificación, diseño e implementación de estrategias de conservación que permitan contrarrestar las consecuencias originadas en el cambio climático para la ecología y la producción de café, todo esto con el fin de garantizar el éxito de la sostenibilidad ambiental y la conservación de la biodiversidad.

Coltro et al. [61] llevo a cabo una valoración del ciclo de vida (ACV) del perfil ambiental de la producción de café en Colombia, se recopilaron datos precisos del inventario de producción (inventario del ciclo de vida, LCI) y se identificaron los impactos ambientales potenciales del cultivo, como una vía para diseñar mecanismos que faciliten la reducción de los impactos ambientales. Los resultados del estudio demostraron que, para la producción de 1.000 kg de café verde en Brasil, los insumos requeridos fueron 11.400 kg de agua, 94 kg de diesel, 270 kg de fertilizantes y NPK, 900 kg de fertilizantes totales, 620 kg de correctivos (como piedra caliza para corregir la acidez del suelo) y 10 kg de pesticidas. También proporcionó resultados que permiten desarrollar una mejor correlación entre el cultivo del café y sus posibles impactos ambientales. Comprender el impacto que tiene el proceso productivo del café es un paso

importante para entender las posibles huellas ambientales y así determinar la base para la sostenibilidad del producto [61].

**La sostenibilidad social** tiene en cuenta los impactos que los cultivos poseen sobre las personas, dentro de esto se tienen la prevención de daños como el trabajo infantil o el acaparamiento de tierras. También se consideran medidas positivas como mejorar la seguridad alimentaria de los campesinos, por lo que va unida a la sostenibilidad económica, al orientarse la capacidad que deben tener los productores y campesinos para producir lo suficiente dentro de sus respectivos roles en la producción de café para vivir una vida digna [62].

**La sostenibilidad económica** exige que a largo plazo la producción de café sea rentable económicamente. Es probable que aquellos productores que siembran por debajo de un umbral mínimo de hectáreas, no lleguen a ser nunca viables económicamente, por lo tanto, es imposible controlar o evitar que proliferen la pobreza cuando las fincas y unidades productivas son muy pequeñas [63].

La viabilidad económica se considera como el eje central de la **sostenibilidad económica**. Más allá de la viabilidad misma del cultivo, la sostenibilidad económica debe tener en cuenta las ganancias de los campesinos caficultores, estableciendo si son una compensación suficiente y digna por su labor. Allí radica el concepto de ingreso digno, entendido como el ingreso neto anual necesario para que un hogar, ubicado en un sitio específico pueda permitir un nivel de vida decente para todos los miembros de ese hogar. Este nivel de vida decente comprende aspectos tales como alimentación de calidad, vivienda digna, educación acorde y atención médica adecuada y oportuna [63].

El concepto de ingresos dignos puede implicar el origen variado de los ingresos del hogar. Esto es acorde con la realidad de muchos productores agrícolas, para quienes la diversificación y adelantar labores por fuera de la finca, puede complementar los ingresos y/o limitar el riesgo, estas variaciones son importantes como una forma de adaptación climática [80]. Sin embargo, el reconocimiento de las realidades en torno a la diversificación y su importancia no significa que estas deban restar importancia a los desafíos de lograr que la producción de café sea más sostenible económicamente para los productores [43].



Cuando hay etapas donde los precios son muy bajos, la sostenibilidad económica de la producción de café mundial se puede lograr a partir de cambios en los mecanismos de fijación de precios o por la complementación de ingresos. También se puede promover una mayor rentabilidad de los agricultores a nivel individual y de asociación, a partir de factores como una mayor productividad, eficiencia y/o calidad, ajustados a los contextos individuales y las oportunidades de mercado [63].

Para los trabajadores agrícolas, la sustentabilidad económica implica un trabajo decente y salarios dignos adecuados [63], que sean suficientes para que el trabajador y su familia tengan un nivel de vida digno. En Colombia, no existen leyes que garanticen un salario mínimo para los trabajadores agrícolas, por lo tanto, los campesinos no suelen tener salarios, es importante que los ingresos de los trabajadores del campo aumenten para que la sostenibilidad económica de la producción cafetera sea considerada como algo real, pero este aumento podría incrementar drásticamente los costos de producción, poniendo en riesgo la propia capacidad económica de los caficultores, que solo puede ser compensada con precios altos y estables que permitan generar ganancias adecuadas [62].

Esto permite inferir que el primer desafío que tienen en especial los pequeños productores al momento de poner en marcha nuevas tecnologías que mejoren los procesos y los hagan sostenibles y sustentables alrededor del cultivo y beneficio del café, es fundamentalmente el económico y todas las variables que orbitan alrededor del mismo.

Estos tres aspectos de sostenibilidad están superpuestos y se relacionan. Ejemplo de esto es que una mayor sostenibilidad económica representada en ingresos mejores para los productores de café, permite mejorar las falencias sociales, al reducir el trabajo infantil y la inseguridad alimentaria en las zonas rurales. Los procesos relacionados con la sostenibilidad ambiental, permiten que los productores agrícolas estén preparados para los impactos del cambio climático, fortaleciendo su sostenibilidad económica a largo plazo.

También se encuentra que dentro de los factores que limitan la adopción de tecnologías ecológicas de beneficio, están el desconocimiento real del pequeño

caficultor del impacto que tienen las aguas mieles sobre las fuentes de agua, por lo que suelen alegar que el beneficio del café se ha realizado de una forma tradicional por generaciones y no tienen el conocimiento real para entender la afectación de estas sobre su calidad de vida [62,63].

Otro aspecto, es el desconocimiento de los métodos de beneficio ecológico, y los efectos positivos que estos pueden tener sobre su producción, esto originado en buena parte en lo expuesto anteriormente y la falta de productores que abordan aspectos de tipo ambiental [62,63].

Finalmente se identifican aspectos de carácter técnico como espacios inadecuados, aumento de los costos de operación, mano de obra poco preparada para tal fin, además estos factores sumados implican un aumento del tiempo de beneficio, afectando el rendimiento en general del proceso caficultor [62,63].

#### **4.3.6. Los esfuerzos actuales de sostenibilidad en el Café**

Al considerar los tres mecanismos de la sostenibilidad mencionados en párrafos anteriores, es claro que el sector del café en Colombia aún no es sostenible, lo que se evidencia en aspectos como la pobreza rampante entre los productores, el uso de mano de obra infantil, la ardua vulnerabilidad climática y los retos para acceder a los servicios básicos en las regiones cafetaleras, demuestran un panorama prospectivo de lo que debe hacer este sector para ser sostenible.

Esta realidad actual es evidente pese a los esfuerzos de caficultores y de compañías individuales, así como de algunos miembros dentro del gremio colombiano del café, para promover la sostenibilidad de dicho cultivo. A nivel internacional, se han diseñado múltiples plataformas con el fin de reunir a los entes interesados para lograr que el cultivo del café sea más sostenible. Estos incluyen, por ejemplo, la Plataforma Global del Café (GCP) y el Reto del Café Sostenible (SCC), que han originado un marco de sostenibilidad para el café.

Este marco de sostenibilidad entrega un punto de partida útil para adelantar prácticas transparentes y llevar a cabo el monitoreo potencial de los esfuerzos de sostenibilidad, con 15 vías de mediación definidas, cada una con sus adecuadas inversiones, acciones y productos sugeridos, junto con condiciones,

resultados e impactos. Sin embargo, en Colombia aún está en desarrollo y su puesta en marcha se ha orientado en cafés especiales, lo que no ha beneficiado a la mayoría de los productores tradicionales y más pequeños [64].

La mayor parte de la producción mundial de café se desarrolla en cercanías de ecosistemas biodiversos y donde las comunidades tienen altos niveles de dependencia de la producción de café como fuente de empleo e ingresos lo que ha generado impactos en las condiciones sociales en los países productores de café [47], [57]. Debido a la naturaleza pública que tienen los impactos de la producción y el comercio de café sobre la comunidad global, aspectos como la preservación del bienestar social, económico y ambiental básico depende de los esfuerzos implicados a lo largo de cadenas de suministro específicas y de la sociedad en general [65].

La inexistencia de reglas y mecanismos de aplicación para la protección del medio ambiente o normas laborales en la cadena de suministro del café, facilita a algunos de los actores la obtención de ventajas competitivas al externalizar los costos asociados a través del uso de los bienes públicos. Por lo tanto, la regulación nacional debe constituir la base para proteger el medio ambiente, sin embargo, el carácter internacional de la industria del café aunado a la inexistencia de una normatividad que obligue a su cumplimiento a nivel nacional o internacional, impone límites severos a los mecanismos regulatorios tradicionales como herramientas. para proteger los bienes públicos básicos dentro del sector cafetalero [65].

La implementación de un enfoque integrado de la sostenibilidad ambiental, obliga a la puesta en marcha de prácticas de producción, comercialización y consumo ecológicas a nivel internacional. En la última década se ha producido un rápido crecimiento en los estándares de sostenibilidad lo que ha originado interés hacia la gestión de las actividades de la cadena de suministro relacionadas con la sostenibilidad a nivel mundial. Algunos de los estándares de sostenibilidad más establecidos incluyen: Eco-OK de Rainforest Alliance; Normas orgánicas de IFOAM; Organizaciones de etiquetado de comercio justo Estándares internacionales del café Criterios Utz Kapeh; estándares de café Eurepgap; Criterios de Café del Centro Smithsonian de Aves Migratorias [57].

Además de mejorar la conciencia sobre los problemas de sostenibilidad en el sector cafetalero, se han diseñado sistemas únicos para implementar y hacer cumplir metodologías internacionales basadas en reglas para proteger bienes públicos ampliamente reconocidos. Sin embargo, los impactos precisos y la adecuación de diversos sistemas a contextos ambientales, económicos y sociopolíticos específicos siguen siendo, en gran medida, un misterio [57], [66]. Además, la proliferación de una variedad de etiquetas de sostenibilidad y sistemas de estándares corre el riesgo de diluir el apoyo de los consumidores y las políticas para tales iniciativas a través de la posible confusión y contradicción asociadas con las definiciones yuxtapuestas de sostenibilidad. Además de reducir la claridad sobre el significado de la sostenibilidad en general, la propagación de múltiples sistemas expone a las partes interesadas del café a mayores costos a través de la multiplicación de los procedimientos de "gestión" que pueden operar como barreras no arancelarias para la entrada al mercado. Para los productores más pequeños, estas barreras suelen ser prohibitivas. Finalmente, las barreras sistémicas para la penetración en el mercado de los sistemas de estándares "sostenibles" existentes dentro de los canales principales requieren un replanteamiento de las estrategias de sostenibilidad con estos mercados específicamente [65], [66].

#### **4.3.7. Precios y Transparencia**

Muchos factores en especial de índole comercial, inciden al momento de constituir los precios del café a pesar de que se trate de café de alta calidad, producido bajo estándares de certificación. También es necesario al momento de establecer el precio de café la influencia que tienen conductas que se pueden considerar como negativas, entre ellas la falta de claridad y confianza en el precio de referencia al momento de negociar la cosecha, lo que influye en la reducción de los precios de los cafés especiales que deberían sentirse menos amenazado por estos cambios [63].

De allí la importancia de entregar información fiable y veraz sobre los precios del café especial en la finca como en FOB lo que entrega a los caficultores una gran capacidad de negociación frente a los intermediarios al dar un punto de referencia para dar un precio. Es así como surgió la Guía de transacciones de

cafés especiales [84], donde se encuentra información detallada de las últimas transacciones de cafés especiales.

Finalmente, la implementación de estas tecnologías para tratar las aguas mieles tiene un costo, los cuales se compensan en aquellas fincas que se caracterizan por tener un manejo ambiental positivo, sin embargo, en las fincas donde las ganancias económicas son bajas y no existen incentivos por parte de las autoridades públicas para poner en marcha este tipo de proyectos, es complejo asumir este tipo de costos.

## 5. Conclusiones

De acuerdo con lo establecido durante el desarrollo del primer capítulo se encontró que hay tres métodos básicos para el beneficio del café, pero a efectos del presente trabajo esta conclusión se enfoca en el método húmedo del beneficio debido al impacto que tiene en los cuerpos de agua y a los desechos que se producen durante su proceso. Este tipo de beneficio del café trae consigo diversos impactos negativos relacionados especialmente con la contaminación de las fuentes superficiales de agua, generando que no sea útil para el uso doméstico, afectando la salud de los animales y la personas y la producción de cultivos para el consumo humano, de allí que sea necesario implementar acciones para procesar y limpiar estas aguas para que disminuyan su potencial de contaminación.

Dentro de la investigación se encontró que los sistemas de tratamiento fisicoquímicos o biológicos de aguas residuales, pueden ser preliminares, primarios o secundarios, y con estos se persigue eliminar los distintos tipos de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos. La elección del método debe ajustarse a las necesidades establecidas previamente por los cultivadores, su tamaño, recursos y niveles de producción. Para el caso colombiano, se encontró que hay dos métodos muy utilizados, el primero son los biodigestores y el segundo son los extractos de plantas como la moringa (*Moringa oleífera*) y la jatropha (*jatropha curcas*), debido a su bajo costo de instalación y a la posibilidad de aprovechar recursos existentes y a obtener como en el caso de los biodigestores nuevos subproductos como el gas, que pueden ser utilizados dentro de las fincas.

También se evidenció que, a pesar de las diferencias de precio dentro de los diferentes sistemas analizados, y que algunos entregan beneficios adicionales para las fincas y los agricultores, como es el caso de los biodigestores, aun plantean costos adicionales que los pequeños caficultores no tienen en muchos casos como asumir la instalación y puesta en marcha de estos sistemas.

Sin embargo, y a pesar de los múltiples beneficios que entrega la puesta en marcha de los sistema de tratamiento de aguas mieles dentro del proceso del café, debido a la precariedad en la cual se desarrollan estos en la mayoría de las

pequeñas unidades productivas colombianas, y a la exclusiva dependencia económica que los campesinos tiene de la venta de sus cosechas, para muchos de ellos es casi impensable implementarlos pues representa un costo que no tienen como asumir e impactaría negativamente en su economía doméstica.

## **6. Recomendaciones**

Es necesario establecer diseños con materiales que se pueden encontrar en las fincas, a partir de proyectos de autoconstrucción comunitaria, donde a través de la participación de los habitantes de las veredas, donde los propietarios de las fincas elaboren los biodigestores, lo que facilitaría la adquisición de los insumos necesarios, abaratando los costos, permitiendo que todos los campesinos conozcan del funcionamiento de los biodigestores, y reduciendo al mínimo los costos asociados a la mano de obra, facilitando que todos tengan acceso al tratamiento de la aguas mieles.

Por lo tanto; es necesario poner en marcha mecanismos y métodos de tratamiento de aguas mieles que faciliten a los productores de café de las pequeñas fincas la reducción de las aguas que se arrojan a las fuentes de agua, produciendo biogás que se utiliza en las cocinas o para el secado del café, o en un proyecto más ambicioso en tostar el café para tener una marca propia.

Dentro de las principales actividades descritas, se tiene que es necesario que todos los productores tengan acceso, sin discriminación (p. ej., por género o edad), a servicios, insumos e información para mejorar la productividad y la calidad del café. Algunas de las prácticas que se pueden desarrollar para esto son permitir que los productores tengan acceso a la información con base a las necesidades de cada unidad productiva, los servicios de extensión deben apoyar a los caficultores para mejorar la calidad del producto y la sostenibilidad ambiental del cultivo.

Los productores deben proteger y restaurar los recursos naturales, incluida la biodiversidad, el suelo y el agua, esto a partir del desarrollo de capacitaciones orientadas a la adaptación al cambio climático y recibir una remuneración por los servicios ambientales que brindan a la sociedad. Dentro de estos servicios se pueden llevar a cabo protección de bosques y ecosistemas naturales,

conservación de la flora y faunas nativas, a partir de un tratamiento adecuado de las aguas residuales y los desechos obtenidos de la producción del café.



## Bibliografía

- [1] J. G. Mona Raigoza y C. D. Restrepo Galeano, «Caracterización de los sistemas de beneficio de café, de los integrantes de la Asociación De Caficultores De Café De Altura (Apraycafes) vereda Santa Rita del municipio de Concordia Antioquia», Tesis de especialidad, Universidad de Antioquia, Andes, 2018.
- [2] N. Rodríguez Valencia, J. R. Sanz Uribe, C. E. Oliveros Tascón, y C. A. Ramírez Gómez, *Beneficio del café en Colombia*. Bogotá: Cenicafé, 2015.
- [3] L. A. Salazar Salas, Quiroga Mateus Ruth Yesenia, L. F. Castillo Rojas, y H. A. Vega Serrano, «Diagnóstico del tratamiento de aguas residuales mediante los sistemas Cenicafé y Majavita del beneficio ecológico del café con módulo Becolsub en la Hacienda Majavita», Tesis de pregrado, Universidad Libre, Socorro, 2013.
- [4] R. C. Cárdenas Garzón y Ortiz Prieto Julio Enrique, «MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO AGUA, EN EL PROCESO DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ, PARA LA ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CAFÉ ESPECIAL "ACAFETO" EN EL MUNICIPIO DE FRESNO, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA», Universidad de Manizales, Manizales, 2014.
- [5] D. Zambrano Franco, N. Rodríguez Valencia, U. López Posada, P. A. Orozco, y A. Zambrano Giraldo, «Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café», Chinchiná, 2006.
- [6] F. A. Cristancho Aguirre, «Diseño De Un Sistema De Tratamiento De Las Aguas Residuales Del Proceso De Desmucilagínación Del Café Con Extractos Vegetales En La Finca "La Pedregosa" Municipio De Anolaima -Cundinamarca», Tesis de postgrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2015.
- [7] G. I. Quintero Puerta, «Buenas Prácticas: estrategia para asegurar la calidad del café», Tebaida, 2015.

- [8] A. E. Peñuela y J. R. Sanz-Urbe, «Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio», *Guía más agronomía, más productividad, más calidad*, pp. 189-218, 2021, doi: 10.38141/10791/0014\_11.
- [9] M. J. Acosta Rojas, L. D. Ortiz García, A. P. Garzón Espejo, y J. Franco Espitia, «GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN», Bogotá, 2020.
- [10] Corpocaldas, «Plan de gestión ambiental regional 2020-2031», 2020.
- [11] Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Sostenibilidad en Acción*. 2012.
- [12] M. A. Barrios Orozco, Chacón Carlos Alberto, Santos Daniel Antonio, y J. L. Monterroso Yanes, «Buenas prácticas de beneficiado húmedo del café, fundamentales para mantener la calidad», 2018.
- [13] N. Rodríguez, V. ; Diego, A. Zambrano, F. ; César, y A. Ramírez Gómez, «Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café», *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, vol. 3, pp. 111-136, 2013, doi: 10.38141/cenbook-0026\_31.
- [14] N. V. Ortiz Salazar y C. A. Montes Campos, «Diseño Preliminar De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales De Bajo Impacto Ambiental Para Una Finca Cafetera En El Municipio Del Pital Huila», Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2018.
- [15] E. Morales Rojas, S. M. Oliva Cruz, J. Rascón Barrios, M. E. Milla Pino, D. A. Villegas Rivas, y S. G. Chavez Quintana, «Sistemas de tratamiento de aguas mieles de café en la Provincia de Rodríguez de Mendoza, Perú», *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, vol. 7, n.º 1, 2020, doi: 10.23850/24220582.2918.
- [16] L. S. Torres-Valenzuela, A. Sanín-Villarrea, A. Arango-Ramírez, y J. A. Serna-Jiménez, «Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café», *Revista ION*, vol. 32, n.º 2, pp. 59-66, dic. 2019, doi: 10.18273/revion.v32n2-2019006.

- [17] J. C. Barreto Zuñiga, «Viabilidad de un sistema de tratamiento de aguas mieles producto del beneficio del Café con base en el bioadsorbente Moringa Oleifera Lam \_», Tesis de Maestría, Universidad Sur Colombiana, Neiva, 2018.
- [18] «Mesa\_Manzano\_Rafael\_Eje4».
- [19] R. M. Manzano y J. E. Pérez, «Diffusion of innovations in organic farming and social network analysis: An application essay», *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 41, n.º 1, pp. 133-159, jun. 2021, doi: 10.5209/AGUC.76727.
- [20] E. Juan, G. García, M. de Las, y M. Carmona Martínez, «Modelos De Difusión De Innovaciones. Aplicación A La Agricultura Ecológica».
- [21] S. Tapsuwan, J. Hunink, F. Alcon, A. N. Mertens-Palomares, y A. Baille, «Assessing the design of a model-based irrigation advisory bulletin: The importance of end-user participation», *Irrigation and Drainage*, vol. 64, n.º 2, pp. 228-240, abr. 2015, doi: 10.1002/ird.1887.
- [22] R. S. Walker y I. Brown, «Big data analytics adoption: A case study in a large South African telecommunications organisation», *SA Journal of Information Management*, vol. 21, n.º 1, oct. 2019, doi: 10.4102/sajim.v21i1.1079.
- [23] B. Mccarthy y A. Schurmann, «Sustainable horticulture: understanding barriers to the adoption of innovation».
- [24] J. MacVaugh y F. Schiavone, «Limits to the diffusion of innovation: A literature review and integrative model», *European Journal of Innovation Management*, vol. 13, n.º 2, pp. 197-221, 2010. doi: 10.1108/14601061011040258.
- [25] J. Blesh y S. A. Wolf, «Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis», *Agric Human Values*, vol. 31, n.º 4, pp. 621-635, nov. 2014, doi: 10.1007/s10460-014-9517-3.
- [26] L. Borremans, F. Marchand, M. Visser, y E. Wauters, «Nurturing agroforestry systems in Flanders: Analysis from an agricultural innovation systems perspective», *Agric Syst*, vol. 162, pp. 205-219, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.004>.

- [27] Hernández Sampieri Roberto, Fernández Collado Carlos, y Baptista Lucio Pilar, *Metodología de la Investigación*. 2014.
- [28] K. Petersen, H. Flensburg, R. Feldt, M. Mattsson, y S. Mujtaba, «Systematic Mapping Studies in Software Engineering», *School of engineering*, vol. 5, pp. 1-11, 2008, [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/228350426>
- [29] D. Zambrano, J. Isaza-Hinestrosa, N. Rodríguez-Valencia, y U. López-Posada, *Tratamiento de aguas residuales del lavado del café*, vol. Boletín Técnico 20. 1999.
- [30] F. G. Andrade Torres, «TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN Y BIOFILTROS», Tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, 2014.
- [31] ICC, «Assessing the economic sustainability of coffee growing», 2016.
- [32] C. Eugenio Oliveros Tascón, C. Alberto Tibaduiza Vianchá, E. Cecilia Montoya Restrepo, J. Rodrigo Sanz Uribe, y C. Augusto Ramírez Gómez, «TECNOLOGÍA DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL PARA EL LAVADO DEL CAFÉ EN PROCESO CON FERMENTACIÓN NATURAL», 2014.
- [33] F. O. Romero Hernández, Reyes Picado Oscar Danilo, Dicovski Rioboó Luis Maria, y Pichardo Hernández Claudio Benito, «Caracterización de tres beneficios húmedos colectivos y uno industrializado de café con énfasis en una propuesta de mejora de un modelo de beneficio húmedo colectivo en la Unión de Cooperativa Agropecuaria del Norte UCANOR, Jinotega», Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Estelí, 2012.
- [34] Duarte Mantilla Jesús, «Optimización Del Proceso Conocido Como “Beneficio Humedo Y Seco” En La Industria De Café. Caso: Finca “Villa Ilma Maria”», Tesis de Especialización, Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019.
- [35] E. Novita, A. Yekti Bagastyo, y G. Sudarjanto, «Chemical Coagulation of Coffee Wastewater for smallholder coffee agro-industry», *Engineering Goes Green*, vol. 6, n.º 7, pp. 131-134, 2012.

- [36] A. Alarcó López, «Modelo De Gestión Productiva Para El Cultivo De Café (Coffea Arabica L.) Ee El Sur De Ecuador», Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2011.
- [37] E. Pérez-soto, F. Godínez-montoya, y L. Ecorfan, *La producción y el consumo del café*. [En línea]. Available: [www.ecorfan.org/spain](http://www.ecorfan.org/spain)
- [38] Federación Nacional de Cafeteros, «Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad», *Avances técnicos*, vol. 454, pp. 1-12, 2015, doi: 10.38141/10779/0404.
- [39] Cenicafé, «Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana», 2011.
- [40] Zuluaga Vasco Jaime y Zambrano Franco Diego, «Manejo Del Agua En El Proceso De beneficio Húmedo Del Café Para el control De La Contaminación», *Avances Técnicos Cencafé*, vol. 187, pp. 1-5, 1993.
- [41] V. M. Martínez Castro, J. J. Rodríguez Valenzuela, y J. D. Roa Ramos, «Evaluación del proceso de beneficio semiseco (Honey) en las variedades de Café (Coffee arábica) Castillo, Colombia y Caturra y su efecto en la calidad en taza», *Ingeniería y Región*, vol. 27, pp. 6-11, mar. 2022, doi: 10.25054/22161325.3148.
- [42] D. Yemane Tekle, «Effect of Coffee Processing Plant Effluent on the Physicochemical Properties of Receiving Water Bodies, Jimma Zone Ethiopia», *American Journal of Environmental Protection*, vol. 4, n.º 2, p. 83, 2015, doi: 10.11648/j.ajep.20150402.12.
- [43] D. J. Nozaic y Freese, *Process design guide for small wastewater works : report to the Water Research Commission*, vol. WRC Report 389/09. Water Research Commission, 2010.
- [44] H. Duguma y M. Chewaka, «Review on Coffee (Coffea arabica L.) Wet Processing more Focus in Ethiopia», *Acta Scientific Agriculture*, vol. 3, n.º 11, pp. 11-15, oct. 2019, doi: 10.31080/asag.2019.03.0676.
- [45] P. M. B. Chagas, J. A. Torres, M. C. Silva, y A. D. Corrêa, «Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing

wastewater», *Int J Biol Macromol*, vol. 81, pp. 568-575, nov. 2015, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.08.061.

- [46] Asrat Gebremariam Woldesenbet, B. Woldeyes, y B. S. Chandravanshi, «Characteristics of Wet Coffee Processing Waste and Its Environmental Impact in Ethiopia», *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) ISSN*, vol. 2, pp. 1-05, 2014, [En línea]. Available: [www.ijres.org](http://www.ijres.org)
- [47] I. Linares-Hernández *et al.*, «Oxidación De Materia Orgánica Persistente En Aguas Residuales Industriales Mediante Tratamientos Electroquímicos», *ACI*, vol. 2, n.º 1, pp. 21-36, 2011.
- [48] E. M. Ijanu, M. A. Kamaruddin, y F. A. Norashiddin, «Coffee processing wastewater treatment: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative», *Appl Water Sci*, vol. 10, n.º 1, ene. 2020, doi: 10.1007/s13201-019-1091-9.
- [49] The world bank, «Enhancing Agricultural Innovation How To Go Beyond The Strengthening Of Research Systems», Washington, 2006.
- [50] A. Beyene *et al.*, «The impact of traditional coffee processing on river water quality in Ethiopia and the urgency of adopting sound environmental practices», *Environ Monit Assess*, vol. 184, n.º 11, pp. 7053-7063, nov. 2012, doi: 10.1007/s10661-011-2479-7.
- [51] W. Siddiqui y Waseem Muhammad, «A Comparative Study of Sugar Mill Treated and Untreated Effluent- A Case Study», *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 28, n.º 4, pp. 1899-1904, 2012.
- [52] M. A. Hubbe *et al.*, «Wastewater treatment and reclamation: A review of pulp and paper industry practices and opportunities», *Bioresources*, vol. 11, n.º 3, pp. 7953-8091, 2016, doi: 10.15376/biores.11.3.hubbe.
- [53] T. A. Takashina, V. Leifeld, D. W. Zelinski, M. R. Mafra, y L. Igarashi-Mafra, «Application of Response Surface Methodology for Coffee Effluent Treatment by Ozone and Combined Ozone/UV», *Ozone Sci Eng*, vol. 40, pp. 293-304, 2018.
- [54] S. Zuleyma y M. Zuluaga, «Manejo De Aguas Residuales Provenientes Del Beneficio Humedo Del Café En La Zona Cafetera Central De Colombia

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD Escuela De Ciencias Agrícolas Pecuaria y Del Medio Ambiente CEAD Medellín Agronomía Colombia Septiembre 25 del 2018».

- [55] Kremer Cristian, Parada Felipe, Homer Ian, y Seguel Oscar, «Eficiencia del uso del agua transpirada (w) y normalizada (kDa) en plantas jóvenes de *Jatropha*(*Jatropha curcas* L.), en la región de Coquimbo, Chile», *Idesia (Arica)*, vol. 38, n.º 4, pp. 65-72, 2020.
- [56] J. A. Barajas Villarreal, «Modelo Circular De Aprovechamiento De La Biomasa Residual De Café En Colombia», Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2021.
- [57] Global coffee platform, «Coffee Sustainability Reference Code», 2019. [En línea]. Available: <http://www>.
- [58] S. Krishnan, «Sustainable Coffee Production», en *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, Oxford University Press, 2017. doi: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.224.
- [59] T. Kufa, «Environmental Sustainability and Coffee Diversity in Africa», 2010. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/345002146>
- [60] V. E. Méndez, C. M. Bacon, M. Olson, K. S. Morris, y A. Shattuck, «Agrobiodiversity and shade coffee smallholder livelihoods: A review and synthesis of ten years of research in Central America», *Professional Geographer*, vol. 62, n.º 3, pp. 357-376, ago. 2010, doi: 10.1080/00330124.2010.483638.
- [61] L. Coltro, A. L. Mourad, P. A. P. L. V. Oliveira, J. P. O. A. Baddini, y R. M. Kletecke, «Environmental profile of Brazilian green coffee», en *International Journal of Life Cycle Assessment*, ene. 2006, vol. 11, n.º 1, pp. 16-21. doi: 10.1065/lca2006.01.230.
- [62] R. J. Hijmans, S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, y A. Jarvis, «Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas», *International Journal of Climatology*, vol. 25, n.º 15, pp. 1965-1978, dic. 2005, doi: 10.1002/joc.1276.

- [63] International Coffee Organization, «Assessing the economic sustainability of coffee growing», 2016.
- [64] R. Bernal *et al.*, «Informe final», 2017.
- [65] Feed the future, «Climate-smart coffee in Honduras», 2014.
- [66] J. Potts, «Building a Sustainable Coffee Sector Using Market-Based Approaches: The Role of Multi-stakeholder Cooperation A Background Paper for the Meeting of Sustainable Commodity Initiative: “Sustainability in the Coffee Sector: Exploring Opportunities for International Cooperation-Assessment and Implementation”». [En línea]. Available: <http://www.cabi.org>.