

Alternativas para el tratamiento de aguas residuales para el pequeño caficultor en el municipio de Jericó



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 19/ Edición N.38
Junio-Diciembre de 2022
Reia3821 pp. 1-18

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Duran-Barragan, J. E.; Angulo-De-Castro, I. (2022) Alternativas para el tratamiento de aguas residuales para el pequeño caficultor en el municipio de Jericó. Revista EIA, 19(38), Reia3821. pp. 1-18.
<https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1556>

✉ Autor de correspondencia:

Duran-Barragan, J. E. (Jorge Emersom)
M.Sc. Diseño y gestión de Procesos,
Universidad de La Sabana
Ingeniera Ambiental y Sanitaria,
Universidad de La Salle
Correo electrónico:
ivonne.angulo@umb.edu.co
Docente. Universidad Manuela
Beltrán, Colombia

Recibido: 11-08-2021
Aceptado: 18-04-2022
Disponible online: 01-06-2022

✉ JORGE EMERSOM DURAN-BARRAGAN¹
IVONNE ANGULO-DE-CASTRO²

1. CORANTIOQUIA
2. Universidad Manuela Beltrán

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito proponer la alternativa más favorable para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café que son vertidas sin tratamiento al suelo o al agua, se partió de la contextualización del pequeño productor de café del municipio de Jericó, Antioquia; las afectaciones ambientales negativas que está causando como consecuencia del manejo inadecuado de las aguas residuales que genera con su actividad de beneficio cafetero y la revisión de las tecnologías utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales cafeteras. La metodología tuvo un enfoque cualitativo con un alcance descriptivo, a través de una matriz de ponderación se analizaron desde el punto de vista ambiental, técnico, económico y social siete tecnologías utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales cafeteras. Los resultados mostraron que las tecnologías más eficientes son los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA) que tienen buen desempeño ambiental, son de bajo costo económico, con buena eficacia técnica y sin afectación social, que combinados con un tratamiento adicional como los filtros de gravas de flujo ascendente o los humedales artificiales, pueden generar otros beneficios ambientales; la inversión del caficultor sería de aproximadamente de entre el 10% de sus ingresos anuales.

Palabras claves: Beneficio húmedo de café, Sistema de tratamiento, Aguas residuales cafeteras, Pequeño caficultor, vertimientos.

Alternatives for wastewater treatment for small coffee growers in the municipality of Jericó

ABSTRACT

The purpose of this research was to propose the most favorable alternative for the treatment of wastewater from the wet processing of coffee that is discharged without treatment to the soil or water. The starting point was the contextualization of the small coffee producer in the municipality of Jericho, Antioquia; the negative environmental affectations that are being caused as a consequence of the inadequate management of the wastewater generated by the coffee processing activity and the review of the technologies used for the treatment of coffee wastewater. The methodology had a qualitative approach with a descriptive scope, through a weighting matrix seven technologies used for the treatment of coffee wastewater were analyzed from an environmental, technical, economic and social point of view. The results show that the most efficient technologies are the Modular Anaerobic Treatment Systems (SMTA), which have good environmental performance, low economic cost, good technical efficiency and no social impact, which, combined with additional treatment such as upflow gravel filters or artificial wetlands, can generate other environmental benefits; the investment by the coffee grower would be approximately 10% of his annual income.

Key Words: Wet coffee mill, Treatment system, Coffee wastewater, Small coffee farmer, wastewater discharges.

Alternativas para o tratamento de águas residuais para o pequeno cafeeiro do município de Jericó

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi propor a alternativa mais favorável para o tratamento das águas residuárias do processamento úmido do café que é despejado sem tratamento no solo ou na água, baseou-se na contextualização do pequeno cafeicultor do município de Jericó, Antioquia; os efeitos ambientais negativos que está causando como resultado do gerenciamento inadequada das águas residuais geradas por sua atividade de processamento de café e da revisão das tecnologias usadas para o tratamento de águas residuais do café. A metodologia teve abordagem qualitativa com escopo descritivo, por meio de uma matriz de ponderação, sete tecnologias utilizadas para o tratamento de efluentes do café foram analisadas do ponto de vista ambiental, técnico, econômico e social. Os resultados mostraram que as tecnologias mais eficientes são os Sistemas Modulares de Tratamento Anaeróbico (SMTA) que apresentam bom desempenho ambiental, são de baixo custo econômico, com boa eficiência técnica e sem afetação social, que combinados com um tratamento adicional como filtros de cascalho o pântanos construídos podem gerar outros benefícios ambientais; o investimento do cafeicultor seria de aproximadamente 10% de sua receita anual.

Palavras-chave: Moinho de café úmido, Sistema de tratamento, Água residuária de café, Pequeno cafeicultor, descartes.

1. Introducción

Colombia es un país tradicionalmente reconocido por la calidad del café que produce, por lo que la actividad agrícola cafetera se ha convertido en uno de los pilares de la economía colombiana (Ocampo y Álvarez, 2017). Tan solo en el departamento de Antioquia, la actividad cafetera se concentra en casi el 50% del suelo agrícola con una cobertura del 75% de los municipios antioqueños (CORANTIOQUIA, Centro Nacional de Producción más Limpia [CNPML], 2016), correspondiente a 94 municipios, donde existen aproximadamente 123.000 hectáreas de café sembradas por 80.000 familias cafeteras (Federación Nacional de Cafeteros [FNC], Comité de Cafeteros de Antioquia, 2020).

Este producto agrícola, cuando está maduro es recolectado y transformado con prontitud de café cereza a café pergamino seco para asegurar la calidad y la conservación del mismo (FNC, Centro de Nacional de Investigaciones de Café [CENICAFE], 2015); dicha transformación o beneficio, puede efectuarse de manera convencional o de manera ecológica, este último con la ventaja de no generar vertimientos de aguas residuales que puedan generar contaminación al recurso hídrico o al suelo.

Boyacá (2018), describe como el beneficio húmedo del café a las etapas de despulpado, fermentación, lavado y secado del grano, en el despulpado se desprende la parte pulposa del fruto del grano mediante máquinas llamadas despulpadoras y con el uso del agua, el fruto del café queda envuelto en unas membranas llamadas mucilagos que son retiradas nuevamente con el uso del agua y la fermentación; este método de beneficio se conoce como convencional. El método convencional del beneficio húmedo del café es la técnica que más utiliza agua debido a que en las etapas de despulpado y lavado se emplean cerca de 40 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco, de los cuales el 50% se consume en el transporte de la pulpa, el 12,5% en el despulpado y el 37,5% en la etapa de fermentación y lavado para retirar el mucilago del grano (CORANTIOQUIA - CNPML, 2016), generando una alta presión en el recurso hídrico y causando su degradación.

Las aguas residuales del beneficio húmedo del café presentan una alta carga contaminante, esto debido a sus características fisicoquímicas tales como olor, color, turbidez, acidez, contenido de sólidos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) (Centro de Producción más Limpia de Nicaragua, 2010), lo cual tiene implicaciones ambientales en sus receptores (suelo y fuentes hídricas), por tal razón, es necesario tratarlas para disminuir el impacto negativo al momento de retornarlas de nuevo al medio ambiente. De acuerdo con la FNC y CENICAFE (2011), en la etapa de remoción del mucilago se produce la principal contaminación al recurso hídrico, con una carga orgánica en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que oscila entre 25.000 y 110.000 ppm (p. 14).

Las aguas residuales que se generan en el beneficio húmedo del café cuando son descargadas sin tratamiento previo para retirar la carga contaminante son nocivas para la flora y la fauna, además, contaminan las fuentes hídricas destinadas para el consumo humano; se calcula que el agua residual generada para beneficiar un kilogramo de café es igual al agua residual generada por una persona al día (UTZ Certified, 2017).

Así pues, las aguas residuales generadas en el proceso del beneficio húmedo del café de manera convencional generan una gran problemática al medio ambiente; el municipio de Jericó, departamento de Antioquia, tiene una vocación cafetera de tradición, donde predomina el pequeño productor con cultivos de café que no supera

la hectárea (CORANTIOQUIA y CNPML, 2016, p.21). Este pequeño productor de café descarga las aguas residuales al suelo o a fuentes hídricas, causando un impacto negativo al ecosistema, situación que se viene presentando a lo largo de los años.

El Informe del Gerente de la FNC dado en el 87 Congreso Nacional de Cafeteros, se anunció que la producción de café por hectárea para el año 2019 llegó a 20,5 sacos de 60 kg, es decir 1.230 kg/ha (FNC, 2019, p. 3), esto significa que la producción de un pequeño productor cafetero no superará los 1.000 kg/año de café pergamino seco, lo que genera ganancias que varían entre los 7 y 9 millones de pesos al año que son destinadas básicamente para satisfacer todas las necesidades del grupo familiar del pequeño productor cafetero.

Según Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia (2020), en el municipio de Jericó existen aproximadamente 1.375 hectáreas en café productivo distribuidas en 1.003 fincas; en la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, tan solo once fincas del municipio de Jericó tienen permiso de vertimientos no doméstico para las aguas residuales provenientes del beneficio del café, con estos antecedentes se puede deducir que solo el 1% de las fincas productoras de café en el municipio cumplen con la normatividad ambiental en materia de vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales o al suelo (Resolución 631, 2015).

El objetivo principal de esta investigación es el de revisar las tecnologías o sistemas que se utilizan para el tratamiento de las aguas residuales agrícolas, especialmente las utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café, con el fin de priorizar un sistema de tratamiento favorable técnica, ambiental y económicamente para el pequeño caficultor.

Adicionalmente, con los resultados de esta investigación se pretenden aportar conocimiento, principalmente, al productor cafetero del municipio de Jericó, Antioquia, especialmente al pequeño productor, ya que se mejora el manejo ambiental de sus cultivos, a la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA y al Comité Municipal de Cafeteros de Jericó, que en sus programas de extensión rural y de asesoría puedan tener información clara y precisa sobre las mejores tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales cafeteras.

La metodología fue con un enfoque cualitativo y alcance descriptivo; la población estuvo determinada por siete tecnologías para el tratamiento de aguas residuales agrícolas identificadas en el municipio de Jericó, Antioquia, consultadas en CORANTIOQUIA y 5 tecnologías recopiladas de otras investigaciones; para cada tecnología se tuvieron en cuenta variables sociales, económicas, ambientales y técnicas. Los datos recolectados fueron analizados a través de una matriz adaptada para la investigación, con base a esta matriz se definió cual es la tecnología más apropiada para ser implementada por el pequeño caficultor.

2. Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en dos fases. La primera, consistió en contextualizar la investigación, por medio de las estadísticas cafeteras de la Federación Nacional de Cafeteros, el Comité de Cafeteros de Antioquia y el Departamento Nacional de Estadística (DANE), se determinó cual es el pequeño productor cafetero del municipio de Jericó, Antioquia; dentro de esta misma fase se revisaron y analizaron las características de algunas tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales del beneficio húmedo del café, esta información sería el insumo inicial y base para identificar la tecnología viable.

La primera búsqueda se realizó en la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, donde se identificaron los predios con actividad cafetera que cuenta con permiso para el vertimiento de aguas residuales no domésticas generadas en el beneficio de café dentro del municipio de Jericó, departamento de Antioquia, con el fin de identificar de primera mano las tecnologías utilizadas en el municipio, además, para conocer la carga contaminante que tienen las aguas residuales agrícolas cafeteras. Como fuentes de información secundaria se consultaron libros, revistas científicas, documentos e investigaciones nacionales como internacionales realizadas por autores independientes, instituciones públicas o privadas, disponibles en bases de datos y buscadores y repositorios de acceso abierto como Scopus, ScienceDirect, SciELO, Google Académico, LA Referencia, entre otros, ingresando las siguientes palabras: tratamiento de aguas residuales cafeteras, vertimientos cafeteros, remediación, vertimientos agrícolas; la búsqueda incluyó investigaciones a nivel nacional e internacional, especialmente de los países productores de café como Perú, Ecuador, México, Costa Rica y Brasil. Se procuró analizar investigaciones realizadas a partir del año 2000 dada la limitación de los resultados en la temática específica.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) describen que el enfoque cualitativo se considera que la realidad cambia de manera constante generando nuevos problemas, para lo cual se necesitan plantear nuevas soluciones. De acuerdo a la forma en que se recolectaron los datos de la investigación, el enfoque metodológico utilizado fue cualitativo.

Para el análisis de las tecnologías identificadas se adoptaron parte de los criterios utilizados por Lozano (2017) en la herramienta de selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales basada en modelos de decisión multicriterio. Las tecnologías se describieron y luego se analizaron desde los aspectos sociales, económicos, técnicos y ambientales, sistematizando en un cuadro comparativo en Excel los siguientes aspectos:

- Sociales: generación de olores, generación de vectores, generación de ruidos.
- Económico: costos de implementación, costos de mantenimiento, costos de operación.
- Ambiental: eficiencia de remoción de carga contaminante, recuperación de subproductos, reutilización de agua.
- Técnico: complejidad de operación, durabilidad de la tecnología.

Según Hernández, Fernández y Baptista (1997), el alcance descriptivo se centra en valorar con precisión las variables individuales, en este caso, se revisaron las variables de mayor relevancia en cada tecnología evaluada. La descripción se realizó sin manipular las características de cada tecnología ya existente, se basó fundamentalmente en el análisis dentro de su contexto natural.

En una segunda fase se analizaron las tecnologías identificadas tanto en el municipio de Jericó como en la literatura consultada; a cada aspecto evaluado se le otorgó la siguiente valoración cualitativa:

Tabla 1. Valoración cualitativa para cada variable. Fuente: Elaboración propia

Aspecto	Variable	IdV*	Característica	Valoración cualitativa
Social	Generación de olores	Go	No	+
			Si	-
	Generación de vectores	Gv	No	+
			Si	-
Económico	Costo de implementación	Ci	Inversión inferior a 1,5 millones COP	+
			Inversión superior a 1,5 millones COP	-
	Costo de mantenimiento y operación	Cmo	Inversión inferior a 0,2 millones COP anual	+
			Inversión superior a 0,2 millones COP anual	-
Ambiental	Eficiencia de remoción	Er	Superior al 80%	+
			Inferior al 80%	-
	Requiere tratamiento adicional	Rta	Si	+
			No	-
Reutilización de agua	Ru	Si	+	
		No	-	
Técnico	Complejidad de operación	Co	No requiere operador especializado	+
			Requiere operador especializado	-
	Durabilidad de la tecnología	Dt	Mayor a 10 años	+
			Menor a 10 años	-

*IdV: código de la variable

Las tecnologías que no describían alguna de las variables o características de manera precisa, no se les otorgó una valoración cualitativa.

La elección de la tecnología más apropiada para el manejo de las aguas residuales del beneficio húmedo del café que puede ser implementado por el pequeño caficultor del municipio de Jericó, departamento de Antioquia, se seleccionó mediante la matriz propuesta por Burkhard, Kandziora, Hou y Müller (2014). Consistió en colocar en la fila superior las de la matriz las tecnologías que se pretenden evaluar y en la columna izquierda las variables y características de evaluación. Las casillas se llenan con valores de 2 para la valoración positiva, 1 para la valoración negativa y 0 cuando no se otorgó ninguna valoración cualitativa.

Finalmente, la propuesta de la tecnología más apropiada que el pequeño caficultor del municipio de Jericó, departamento de Antioquia, puede emplear para el tratamiento de las aguas residuales generadas con el beneficio húmedo del café será la que tenga el mayor puntaje.

La metodología empleada en la presente investigación proporcionó la obtención de resultados claros y facilitó el manejo e interpretación de la información recolectada.

3. Resultados y Discusión

Los resultados de la investigación se presentan en tres secciones: el contexto de la investigación, las alternativas para el tratamiento de aguas residuales agrícolas existentes y la valoración de la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas residuales cafeteras del pequeño productor.

3.1. Contexto de la investigación

La Federación Nacional de Cafeteros (2021) reportó 844.740 hectáreas de café sembradas en todo Colombia para el año 2020, la producción de café verde para ese mismo periodo fue de 13,9 millones de sacos de 60 kilogramos y el valor promedio de una carga de café pergamino de 125 kilogramos fue de \$1.048.184. La Organización Internacional del Café (2020) determinó, con fines estadísticos, que un saco 60 kilogramos de café verde representa a 75 kilogramos de café pergamino. De acuerdo a lo anterior, la producción promedio de una hectárea de café para el año 2020 en cifras de café pergamino fue de 1.234,1 Kilogramos, con un valor monetario de \$10.348.510.

Los datos cafeteros para el municipio de Jericó, muestran la existencia de 1.375 hectáreas sembradas con café distribuidos en 1.003 predios y 852 caficultores, el promedio de área cultivada de café es de 1,61 hectáreas con una densidad de siembra de 5.836 árboles por hectárea (Comité de Cafeteros de Antioquia, 2020). De acuerdo con esto, el ingreso monetario promedio de un caficultor, como primera actividad productiva en el municipio de Jericó durante el año 2020 fue de \$16.661.101, correspondiente a \$1.388.425 mensuales.

Según el informe del DANE (2021), para el año 2020 en Colombia un hogar que se compone de cuatro (4) personas está en la pobreza monetaria extrema si sus ingresos mensuales fueron inferiores a \$580.016 y si sus ingresos mensuales fueron inferiores a \$1.326.752 están en pobreza monetaria, de igual manera, el DANE (2021) define como la línea de pobreza al “valor en dinero que necesita una persona al mes para adquirir una canasta básica de alimentos, servicios y otros bienes mínimos para vivir”.

Ramírez y Rodríguez (2002) manifestaron en su investigación que la pobreza y la subsistencia van por el mismo camino, ser pobre es no tener los recursos monetarios suficientes para obtener los medios mínimos de subsistencia. Así las cosas, un cafetero del municipio de Jericó tendría que tener un área cultiva de mínimo de 1,53 hectáreas o sembrados 8.929 árboles para que la producción sea igual o superior a 1.888,1 kilogramos de café pergamino seco al año, correspondientes a \$15.921.024 anuales, de esta manera superar la línea monetaria de pobreza estipulada por el DANE.

Con lo anterior, se definió que el pequeño productor de café del municipio de Jericó es aquel que se dedica de forma exclusiva a producir café un área máxima de 1,53 hectáreas con aproximadamente 8.929 árboles de café sembrados y una producción anual que no supere los 1.888 kilogramos de café pergamino seco.

3.2. Alternativas para el tratamiento de aguas residuales agrícolas identificadas

En el municipio de Jericó se identificaron 5 permisos de vertimientos vigentes tramitados ante CORANTIOQUIA para las aguas residuales de la actividad cafetera, en la tabla 2 se describen las características de los permisos de vertimientos otorgados.

Tabla 2. Permisos de vertimientos otorgados por CORANTIOQUIA para aguas residuales cafeteras vigentes. Fuente: CORANTIOQUIA, fecha de consulta: 10 de mayo de 2021.

EXPEDIENTE	VEREDA	PREDIO	SISTEMA DE TRATAMIENTO
CA7-2005-62	Quebradona	Jordán	Tolva seca, despulpado sin agua, lavado en tanque, pulpa en fosa, mucílago y agua de lavado al suelo.
CA7-2005-40	Buga	Santa Catalina	Tolva seca, despulpado sin agua, lavado en tanque, pulpa en fosa, mucílago y agua de lavado al suelo.
CA7-2007-51	Patudala	La Patudala #4	Tolva húmeda, pulpa, agua de despulpado y de lavado a la fuente.
CA7-2007-47	La Hermosa	El Titán	Tolva húmeda, pulpa, agua de despulpado y de lavado al suelo.
CA7-2018-10	La Mama	Aguas Blancas	Sistema modular compuesto por un tanque sedimentador y un tanque con filtro de gravas de diferentes tamaños, descarga del efluente al suelo.

Se aprecia que son pocos los predios con actividad cafetera que tienen permiso de vertimientos para las aguas residuales producto de su actividad, ni el 1% de los predios cuentan con sistema de tratamiento para las aguas residuales; en cuatro (4) de los permisos de vertimientos otorgados no se tiene definido un sistema de tratamiento como tal, sino que se describe el tipo de beneficio de café que se tiene, tampoco se tiene información de la carga contaminante que remueve con cada sistema de tratamiento y poder verificar la eficiencia de la tecnología.

En el análisis que se realizará en la Tabla 2 (características de las tecnologías STARC – Sistema de Tratamiento de Agua Residual Cafetera - investigadas) y en la Tabla 3 (matriz de valoración), solo se tendrá en cuenta el sistema de tratamiento del Expediente CA7-2018-10, ya que los demás expedientes no describen un sistema de tratamiento, sino un método de beneficio del café; la valoración de las características analizadas se realizará con información de otras investigaciones, el Id de esta tecnología será el N1.

La tabla 3 consolida las tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales cafeteras utilizadas en los departamentos de mayor producción cafetera de Colombia y de algunos otros países cafeteros. En cada tecnología se describe con su nombre el sistema general del tratamiento y se revisan las características sociales, económicas, ambientales y técnicas.

Tabla 3. Tecnologías identificadas para el tratamiento de las aguas residuales a nivel nacional e internacional.

Id*	TECNOLOGÍA STARC	IdV**	CARACTERÍSTICAS
N1	Sistema Modular y Filtro de Gravas (Expediente CA7-2018-10). País de aplicación: Colombia.	Go	Cuando el sistema opera de manera correcta no hay generación de olores (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007). Lo filtros de gravas son utilizados en los tratamientos de aguas residuales y permite remover materia orgánica y controlar olores (Ávila, Moreno, 2016).
		Gv	Cuando el sistema opera de manera correcta no hay generación de vectores (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007). No se tiene información, pero se considera que no hay generación de vectores debido a que no hay encharcamiento de agua.

Id*	TECNOLOGÍA STARC	IdV**	CARACTERÍSTICAS
N1	Sistema Modular y Filtro de Gravas (Expediente CA7-2018-10). País de aplicación: Colombia.	Ci	El sistema modular tiene un valor de entre \$671.723 y \$806.623 para el pequeño productor de café (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007). El filtro de gravas de diferentes tamaños en tanque plástico tiene un valor de \$402.000 (Ávila, Moreno, 2016).
		Cmo	Requiere mantenimiento entre cosechas (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007), se calcula inferior a 0,2 millones COP anual. El mantenimiento del filtro es más complejo, requiere equipo especializado para bombear agua a presión a través del filtro (Ávila, Moreno, 2016), se calcula superior a 0,2 millones COP anual
		Er	El tratamiento modular de aguas residuales cuando está funcionando de manera eficiente garantizan la remoción del 80% de la carga contaminante (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007); el filtro de gravas es un tratamiento adicional que permite seguir reteniendo carga contaminante.
		Rta	El filtro de gravas funciona como un tratamiento adicional.
		Ru	El agua trata con el sistema modular permite reutilizar el efluente en remojo de lombricultivos (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007); se considera que el agua que proviene del filtro de agua retiene una carga contaminante mínima, el afluente se puede utilizar para el riego de cultivos.
		Co	No se requieren operadores con conocimientos especializados para realizar el mantenimiento al sistema modular y al filtro de gravas (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007 y Ávila, Moreno, 2016).
		Dt	La mayoría de los materiales son plásticos tipo polietileno tienen una vida útil de 30 años (Tecnotanques, 2019).
		N2	Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) (Zambrano, Rodríguez, López y Zambrano, 2007). País de aplicación: Colombia.
Gv	Cuando se presentan fallas en el funcionamiento hay generación de vectores (mosquitos y zancudos).		
Ci	Para un pequeño productor de café, entre \$671.723 y \$806.623.		
Cmo	Requiere mantenimiento entre cosechas, se calcula inferior a 0,2 millones COP anual.		
Er	Superior al 80% de toda la carga contaminante.		
Rta	En caso de no utilizar el efluente, se recomienda tratamiento adicional para descarga a cuerpo de agua. Los efluentes del SMTA generan un impacto biológico adverso en el ecosistema acuático, por lo cual es necesario desarrollar un postratamiento (como se cita en Fernández, Sotto y Vargas, 2020).		
Ru	Permite reutilizar el agua del efluente para el remojo de lombricultivos		
Co	No se requiere un operador con conocimientos especializados, el mantenimiento lo puede hacer cualquier persona con un conocimiento básico de la tecnología.		
N3	Filtración Aireación seguido de Humedal Artificial de Flujo Vertical (Ortiz y Montes, 2018). País de aplicación: Colombia.	Go	Sin información en la descripción de la tecnología.
		Gv	Sin información en la descripción de la tecnología.

Id*	TECNOLOGÍA STARC	IdV**	CARACTERÍSTICAS
N3	Filtración Aireación seguido de Humedal Artificial de Flujo Vertical (Ortiz y Montes, 2018). País de aplicación: Colombia.	Ci	La investigación no lo especifica, se presume que los costos son superiores a 1,5 millones COP debido a que se requiere un montaje con equipos e insumos especializados (aireadores eléctricos, gravas de diferentes tamaños, carbón activado, semillas de vegetación macrófita, entre otros insumos y equipos)
		Cmo	El mantenimiento de los equipos eléctricos requiere un operador especializado, el filtro del humedal artificial requiere mantenimiento con conocimientos específicos, los costos de mantenimiento anual serían superiores a 0,2 millones COP anual.
		Er	Superior al 85% en términos de DQO, en otros parámetros se cumple con lo estipulado en la legislación ambiental para vertimientos.
		Rta	No, la tecnología combina tratamiento inicial (filtración aireación) y uno adicional (humedal artificial de flujo vertical)
		Ru	El efluente se puede utilizar para el riego de cultivos
		Co	La tecnología utiliza equipos eléctricos para el funcionamiento, estos equipos requieren personal con conocimientos específicos.
		Dt	La duración de la tecnología depende de la calidad de los materiales, así mismo, la calidad de los materiales depende del costo monetario; según KAMPS (fabricante de aireadores), la vida útil de un aireador es superior a 20 años y según Tecnotanques (2019) (fabricante de productos en polietileno) la vida útil de este plástico es de 30 años.
N4	Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio y Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (Campos y Duran, 2019). País de aplicación: Colombia.	Go	El sistema modular permite controlar los olores ofensivos que se generan.
		Gv	El sistema modular permite controlar la generación de vectores, el humedal artificial reduce considerablemente la generación de vectores (Granados, 2018).
		Ci	Para el sistema modular \$3.574.178 y para el humedal artificial \$2.026.408; la tecnología está diseñada para una producción diaria en promedio de 1.000 kilogramos de café cereza.
		Cmo	Se consideran inferior a 0,2 millones COP anual, ya que la tecnología es un sistema pasivo que no requiere equipos mecánicos o electricidad.
		Er	Superior al 80% de la carga contaminante.
		Rta	No, la tecnología incluye un tratamiento adicional.
		Ru	El efluente proveniente de humedales artificiales de biorremediación se puede reusar (Granados, 2018).
Co	No requiere operador especializado.		
N5	Sedimentador y Lecho Filtrante (Gutiérrez, Valencia y Aragón, 2014). País de aplicación: Colombia.	Go	La investigación no lo especifica, se presume que al no haber una eficiencia eliminación de la carga contaminante, existe una probabilidad alta para la generación de olores ofensivos.
		Gv	La investigación no lo especifica, pero de acuerdo al diseño de la tecnología (exposición del agua residual), puede haber una generación de vectores especialmente de zancudos.

Id*	TECNOLOGÍA STARC	IdV**	CARACTERÍSTICAS
N5	Sedimentador y Lecho Filtrante (Gutiérrez, Valencia y Aragón, 2014). País de aplicación: Colombia.	Ci	La investigación no lo determina, sin embargo, en un trabajo realizado por la Universidad Surcolombiana y Coffe Company Huila (2011) se ilustra la tecnología, con base a esto se calcula que los materiales utilizados y mano de obra tienen una inversión superior a 1,5 millones COP.
		Cmo	No se especifica la operación y mantenimiento de la tecnología, se deduce que por ser diseños para pequeños cafeteros no se requiere conocimiento especializado para la operación y que los mismos propietarios de los predios le pueden realizar algún tipo de mantenimiento específico; se considera unos costos de inversión inferior a 0,2 millones COP anual.
		Er	Para DBO ₅ alrededor del 20%, para SS superior al 95%.
		Rta	Debido a que no hay remoción del DBO ₅ a los niveles permitidos por la normatividad ambiental, se deduce que requiere un tratamiento adicional.
		Ru	No es posible, debido a que no hay remoción de la carga contaminante a niveles que permita el reúso del agua.
		Co	La tecnología como está planteada no es compleja, está diseñada para ser implementada, construida y operada por pequeños cafeteros.
		Dt	De acuerdo a los materiales ilustrados (concreto, ladrillo, tubería PVC y plástico), se deduce que la vida útil en condiciones normales es superior a 10 años.
I1	Biosistema o Humedal con Macrófita de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (Garay y Rivero, 2014). País de aplicación: Perú.	Go	El humedal artificial de biorremediación tiene reducción considerable de olores ofensivos (Granados, 2018), aunque hay presencia de ellos si existe un mal mantenimiento o manejo de la tecnología.
		Gv	El humedal artificial de biorremediación reducción considerable de vectores (Granados, 2018). aunque hay presencia de ellos si existe un mal mantenimiento o manejo de la tecnología.
		Ci	La investigación no lo estipula de manera clara, sin embargo, se calcula que los materiales utilizados para la tecnología y mano de obra tienen una inversión inferior a 1,5 millones COP.
		Cmo	El costo de mantenimiento para un humedal artificial de 1,0 millones anuales (Granados, 2018), este humedal artificial es similar al propuesto por Garay y Rivero.
		Er	Los resultados se dan con respecto a la normatividad ambiental peruana, con respecto a la normatividad colombiana la remoción de DBO ₅ y Solidos Totales (ST) es superior al 80%.
		Rta	Se considera implementar un tratamiento adicional o tener un pretratamiento.
		Ru	El agua residual tratada en los humedales artificiales con macrófitas se puede reusar (Granados, 2018).
I2	Biorreactor EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales (Cruz, 2018). País de aplicación: México.	Co	La operación de un humedal artificial para la biorremediación no es peligrosa ni complicada, el mantenimiento es sencillo y no requiere gran conocimiento (Granados, 2018).
		Dt	Un humedal artificial de biorremediación puede tener una vida útil de 30 años (Granados, 2018).
		Go	Alta posibilidad de generación de olores.
		Gv	Debido a que este tipo de tecnología maneja una infraestructura sellada, se considera que no hay generación de vectores.

Id*	TECNOLOGÍA STARC	IdV**	CARACTERÍSTICAS
12	Biorreactor EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales (Cruz, 2018). País de aplicación: México.	Ci	Unas de las desventajas identificadas son los altos costos de capital se para implementación; con este argumento se considera que la implementación del biorreactor EGSB es superior a 1,5 millones COP.
		Cmo	Se considera que este tipo de tecnología requiere costos superiores a 0,2 millones COP anuales para el mantenimiento debido a los equipos, sistemas y procesos que maneja.
		Er	Superior al 91% de la carga contaminante.
		Rta	Se recomienda un segundo tratamiento para poder descargar el afluente en cuerpos hídricos.
		Ru	Se considera que con la remoción de la carga contaminante superior al 91%, el afluente se puede utilizar en algunas actividades agrícolas.
		Co	La operación del Biorreactor EGSB requiere un operador con conocimientos especializados.
		Dt	La investigación no lo determina, sin embargo, se considera que los materiales utilizados para este tipo de tecnología (fibras de vidrio, plásticos de alta resistencia y metales) tienen una vida útil superior a 10 años.
*Id: código de la tecnología, **IdV: código de la variable			

Se analizaron seis (6) tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el beneficio húmedo del café y que son utilizadas para bajas producciones, de las cuales cinco (5) fueron desarrollados en Colombia, una en Perú y otra en México; estas tecnologías tienen en común que fueron planteadas para una pequeña producción de café y se enfocaron en medir la eliminación de carga contaminante para la variable DBO_5 y ST.

Todas las tecnologías permiten eliminar los ST a los límites permitidos por la norma ambiental, en cuanto al DBO_5 solo una no cumple con la eliminación hasta los límites permitidos y se recomienda un tratamiento adicional o rediseñar el sistema. Algunas de las tecnologías evaluadas permiten el reúso del efluente tal como sale del sistema, otras requieren un tratamiento adicional para poder hacer uso del efluente.

Respecto a los costos iniciales de inversión, estos varían si se utiliza un solo tratamiento o se combina con un tratamiento adicional, las tecnologías que tienen un solo tratamiento la inversión no superan los 1,5 millones COP, en cambio, las que combinan un tratamiento adicional tiene un costo más elevado. En cuanto a la complejidad y el mantenimiento de las tecnologías, por lo general son de fácil implementación y operación, su funcionamiento es sencillo y no se requiere un conocimiento especializado, por lo tanto, su inversión anual no supera los 0,2 millones COP; solo una de las tecnologías evaluadas requiere equipos más especializados y debido a eso se requiere un conocimiento más avanzado para la operación y el mantenimiento superando los 0,2 millones COP.

La generación de vectores y olores ofensivos está relacionada con el mantenimiento que se le dé a la tecnología, si el sistema falla o no opera de la manera correcta va haber generación de olores ofensivos y puede ser un foco para la generación de vectores; finalmente, los materiales con que son construidas son las tecnologías permiten tener una vida útil superior a 10 años, sin embargo, la vida útil también está relacionado con el mantenimiento que se le dé al sistema.

3.3. Valoración de las alternativas

De acuerdo con las características identificadas en las diferentes tecnologías analizadas, en la siguiente matriz (Tabla 4) se valoran cualitativamente los aspectos ambientales, técnicos, sociales y económicos de cada uno de los sistemas, a cada valoración se le otorga la correspondiente calificación.

Tabla 4. Valoración de los sistemas de tratamientos de aguas residuales cafeteras.
Fuente: elaboración propia para la investigación

Aspecto Variable	Tecnología	Valoración cualitativa						Calificación							
		N1	N2	N3	N4	N5	I1	I2	N1	N2	N3	N4	N5	I1	I2
Ambiental	Eficiencia de remoción	+	+	+	+	-	+	-	2	2	2	2	1	2	1
	Reutilización de agua	+	-	+	+	-	+	+	2	1	2	2	1	2	2
	Requiere tratamiento adicional	+	-	+	+	-	-	-	2	1	2	2	1	1	1
Técnico	Complejidad de operación	+	+	-	+	+	+	-	2	2	1	2	2	2	1
	Durabilidad de la tecnología	+	+	+	+	+	+	+	2	2	2	2	2	2	2
Social	Generación de olores	+	-		+	-	+	-	2	1	0	2	1	2	1
	Generación de vectores	+	-		+	-	+	+	2	1	0	2	1	2	2
Económico	Costo de implementación	+	+	-	-	-	+	-	2	2	1	1	1	2	1
	Costo de mantenimiento y operación	-	+	-	+	+	-	+	1	2	1	2	2	1	2
Calificación									17	14	11	17	12	16	15

En la puntuación de las tecnologías la variable social no se logró calificar con certeza ya que la información reportada no es clara o simplemente no se suministra. En consecuencia, fue necesario recurrir a otras investigaciones a fines con la tecnología para asignar una puntuación, esta situación ocasionó que se creara una incertidumbre en la apreciación que puede influir sobre el resultado final.

En la variable técnica la característica durabilidad de la tecnología y en la variable económica la característica costo de implementación, tampoco se logró obtener información precisa para poder realizar una calificación sin incertidumbre, para puntuar estas características fue necesario recurrir a los proveedores de los insumos o el equipamiento para poder tener una idea de cuántos eran los costos económicos y el tiempo de durabilidad; así como en la variable social la apreciación puede influir sobre la puntuación final.

El equipamiento de las tecnologías también influye en la calificación, las que tienen mejor equipamiento tienen una calificación más baja, este es un punto negativo a pesar de que es eficiente con la remoción de la carga contaminante, ya que lo que se busca es reducir los costos pero que sea eficiente.

3.4. *Discusión*

Los resultados mostraron que en el municipio de Jericó, al menos el 7,12% de los 193 km² de su territorio se dedican al cultivo del café (Jericó, 2015) de diferentes variedades, siendo esta una de las principales actividades económicas que se desarrollan en el territorio, se aprecia que en el municipio la actividad cafetera con el beneficio húmedo de café ocasiona afectaciones ambientales principalmente al recurso hídrico y suelo dado el escaso manejo ambiental que se le da a las aguas residuales, lo cual se demuestra con el número de trámites vigentes de vertimientos respecto al total de productores de café que existen en la región. Lo anterior, representa una problemática ambiental relevante para el municipio dado que cerca del 95% del peso del café se convierten en residuos, de los cuales cerca del 43% son residuos sólidos en forma de pulpa y el porcentaje restante son residuos líquidos en forma de mucílago y aguas mieles (Fernández, Sotto, Vargas, 2020).

Enfocando esta problemática ambiental al municipio de Jericó, se puede presumir que los productores de café que no cuentan con un sistema de tratamiento para el agua residual cafetera, vierten estos residuos al suelo o a fuentes hídricas, teniendo en cuenta las cifras presentadas sobre la producción de café y los requerimientos de agua para el beneficio, el volumen de agua vertida sin tratamiento sería de aproximadamente 67.000 m³ al año en todo el municipio; esto significa que cada productor de café vierte al suelo o al agua cerca de 67 m³ al año de agua residual producto de su actividad. Para corroborar los cálculos anteriores u obtener unas cifras más precisas, se podrían consultar las estadísticas del Comité Municipal de Cafeteros de Jericó e identificar con precisión cuantos pequeños productores de café cuentan con un sistema de tratamiento para las aguas residuales del beneficio húmedo del café.

El uso del agua para la transformación del café maduro a café pergamino seco es esencial, pero esto genera afectación al recurso hídrico con el cambio de sus características físicas, químicas y microbiológicas, siendo necesario realizar un tratamiento para retirar la carga contaminante antes de ser devueltas al medio natural y una de las formas más eficientes de tratar las aguas residuales son los SMTA (Salazar, Quiroga, Castillo, Vega, 2013), esto coincide con los resultados que arroja la matriz de valoración de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales cafeteras (Tabla 4), ya que las tecnologías que presentaron un mayor puntaje de calificación (Sistema Modular y Filtro de Gravas y el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio y Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial) son las que se basan en los SMTA.

Las dos tecnologías que obtuvieron la mayor calificación, tienen una eficiencia de remoción de la carga contaminante superior al 80%, esta eficiencia coincide con lo dicho por Valdez y Martínez (2006) en su investigación, donde la eficiencia de remoción de la carga contaminante con un sistema de tratamiento basado en SMTA fue superior al 80% del total de la carga contaminante; en cuanto a los costos monetarios del SMTA, la FNC y Cenicafé en diferentes investigaciones realizadas ha concluido que estos sistemas de tratamiento de agua residual cafetera son económicos para su implementación y mantenimiento (FNC y CENICAFE, 2006).

Incluir un tratamiento adicional fue una ventaja para las tecnologías que obtuvieron la mayor puntuación, esto permite continuar con la depuración adicional del agua residual y poder reutilizar el efluente en otras actividades agrícolas como el riego de los mismos cafetales u otros cultivos agrícolas, o simplemente descargar el efluente a un cuerpo de agua sin riesgo de contaminación ambiental; FNC y Cenicafé (2020) enmarcaron como una ventaja de los humedales artificiales su utilización como un tratamiento terciario durante todo el año, son económicos para la construcción y operación y el efluente presenta buena calidad, así mismo, los filtros

de gravas de diferentes tamaños proporcionan una buena eficiencia para la remoción de la turbiedad del agua, son de fácil operación y de bajo costo de implementación y mantenimiento (Posso, 2012). Estos dos tipos de tratamientos adicionales se pueden implementar con los elementos y materiales que se encuentran dentro de los mismos predios y construidos por los mismos caficultores, por lo tanto, no se en gastos adicionales significativos.

En cuanto a la variable social analizada, las dos tecnologías que obtuvieron la mayor calificación no presentaron generación de olores ni vectores en condiciones óptimas de funcionamiento y son tecnologías que tiene una vida útil superior a los 10 años, la ventaja puede deberse al material de fabricación, ya que los materiales de polietileno en que se fabrican los tanques tienen una larga duración, el color negro y la tapa permiten elevar la temperatura hasta unos 30°C, evitando con esto la generación de vectores y la presencia de malos olores asimilable en los alrededores (CORANTIOQUIA y CNPML, 2016).

4. Conclusiones

El incorrecto manejo de las aguas residuales del beneficio del café no es una problemática exclusiva del municipio de Jericó ya que las características socioeconómicas del pequeño caficultor son comunes en las regiones cafeteras de Colombia.

Los SMTA pueden ser una alternativa favorable para el pequeño caficultor del municipio de Jericó, dadas las características del tratamiento en términos de eficiencia de remoción de carga contaminante, lo que permitiría alcanzar valores de calidad por debajo de los niveles máximos estipulados en la Resolución 0631 de 2015.

Para obtener una mayor eficiencia en la remoción de la carga contaminante concentrada en las aguas residuales del beneficio húmedo café, se propone combinar el SMTA con un tratamiento adicional que puede ser un humedal artificial o un filtro de gravas de flujo ascendente, estos sistemas de tratamiento adicionales no aumentan los costos monetarios significativamente para el pequeño productor cafetero y permite al pequeño productor brindar oportunidades de desarrollo rural sostenible al armonizar las prácticas agrícolas con la protección de los recursos naturales a través de un manejo integral de su entorno, dando valor al recurso hídrico gracias al uso eficiente del mismo.

La investigación realizada recomienda continuar con esta línea de investigación para complementarla con los diseños definitivos para el sistema de tratamiento propuesto, especialmente en lo relacionado con el humedal artificial o el filtro de gravas de flujo ascendente, además, que se pueda poner en marcha un tratamiento piloto para determinar la efectividad en cuanto a la remoción de la carga contaminante y la viabilidad de ser utilizado en otras actividades agrícolas o pecuarias que generen vertimientos no domésticos.

Finalmente, los SMTA combinados con un sistema de tratamiento adicional como un filtro de gravas o humedal artificial, son viables desde el punto de vista técnico, ambiental, económico y social para el pequeño productor cafetero del municipio de Jericó, departamento de Antioquia, debido a que son de bajo costo monetario la implementación, operación y mantenimiento, eliminan la carga contaminante por debajo de los niveles máximos permitidos por la normatividad ambiental vigente para vertimientos de aguas residuales, no causan problemas sociales cuando su funcionamiento es eficiente, permiten ser operados por los mismos caficultores,

tienen una larga vida útil y permiten reutilizar el agua que se utiliza en el beneficio húmedo del café en otras actividades agrícolas.

5. Referencias

- Ávila, I., Moreno, M. (2016). *Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la Inspección de San Antonio de Anapoima*. [Tesis de postgrado, Universidad Libre]. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO%20SEMINARIO%20FILTRO%20ARENA%20ULTIMA%20%20ENTREGA%20JUNIO%2011.pdf?sequence=1>
- Boyacá, L. (2018). *Estudio exploratorio de la obtención de café verde mediante beneficio Honey y la determinación de su calidad en taza*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69512/LicettAndreaBoyac%c3%a1V%c3%a1squez.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou Y., Müller F. (2014). Ecosystem Service Potentials, Flows and Demand - Concepts for Spatial Localization, Indication and Quantification. *Landscape Online* 34:1-32. <https://doi.org/10.3097/LO.201434>
- Campos, L., Duran, D., (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales agrícolas generadas en el beneficio húmedo del café en la finca Buena Vista; Planadas Tolima, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad del Bosque]. Recuperado de https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2567/Campos_Morales_Luisa_Fernanda_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (octubre de 2010). Programa de apoyo a la mejora del clima de negocios e inversiones en Nicaragua, *Taller de capacitación Sistemas de aguas residuales para el sector café*. Taller llevado a cabo en Manaos, Nicaragua. Recuperado de <https://docplayer.es/12808762-Taller-de-capacitacion-sistema-de-aguas-residuales-para-el-sector-cafe.html>
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (17 de marzo de 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. [Resolución 631 de 2015]. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Comité de Cafeteros de Antioquia (28 de octubre de 2020). *Datos Cafeteros Generales, municipio de Jericó*. Recuperado de <https://fncantioquia.org/caficultura-de-antioquia/circunscripcion-5/>
- CORANTIOQUIA y Centro Nacional de producción más Limpia [CNPML] (2016). *Manual de Gestión del Recurso Hídrico, Sector Cafetero*. Recuperado de http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gesti%C3%B3n%20ambiental/Producci%C3%B3n%20y%20Consumo%20Sostenible/Manuales_GIRH/Cafetero.pdf
- Cruz, A. (2018). *Diseño y evaluación de biorreactores EGSB para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales del Estado de Chiapas* [Tesis de doctorado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. Recuperado de <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/421/2053.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DANE (29 de abril de 2021). *Pobreza Monetaria en Colombia, Resultados 2020*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-monetaria>
- DANE (2021). *Pobreza y Condiciones de Vida*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida>
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] y Centro de Investigaciones del Café [CENICAFE] (2006). *Tratamiento anaerobio de las aguas mieles*. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot029.pdf>

- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] y Centro Nacional de Investigaciones del Café [CENICAFE] (2011). *Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana*. Recuperado de https://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] y Centro Nacional de Investigaciones del Café [CENICAFE] (2015). *Beneficio del Café en Colombia*. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/Beneficio-del-cafe-en-Colombia.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] y Centro Nacional de Investigaciones del Café [CENICAFE] (2020). *Humedales artificiales: una alternativa para el postratamiento de aguas residuales agroindustriales. Parte 1. Conceptos y resultados en el sector cafetero*. Recuperado de https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/2_Humedales_artificiales_Conceptos_y_resultados_en_el%20sector_cafetero.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] (2019). *Informe del Gerente al 87 Congreso Nacional de Cafeteros*. Recuperado de <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2019/12/Informe-del-Gerente-al-87-Congreso-Nacional-de-Cafeteros-2019.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] y Comité de cafeteros de Antioquia (2020). *Café de Antioquia, Datos de Interés*. Recuperado de <https://antioquia.federaciondefcafeteros.org/cafe-de-antioquia/>
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC] (2021). *Estadísticas Cafeteras*. Recuperado de <https://federaciondefcafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- Fernández, Y., Sotto, K., Vargas, L. (2020). Impactos ambientales en la producción de café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15 (1). 93 – 110. DOI: <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Garay, J., Rivero, J. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014. *Manglar*, 11 (1). 43 -50. DOI: [10.17268/manglar](https://doi.org/10.17268/manglar)
- Granado, M. (2018). *Estudio de factibilidad de implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistemas de alta montaña en Toquilla* [Tesis de postgrado, Universidad Libre]. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11576/Proyecto%2C%20art%20C3%ADculo%20y%20plantilla%20congreso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez, N., Valencia, E., Aragón, R., (2014). Eficiencia de remoción de DBO₅ y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*coffea arabica*). *Colombia Forestal*, 17 (2). 151-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a02>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación*. Recuperado de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta edición). Recuperado de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- International Coffee Organization (2020). *Las secciones del café*. Recuperado de <https://www.ico.org/>
- Municipio de Jericó, Universidad EAFIT (2019). *Documento Formulación Esquema de Ordenamiento Territorial EOT municipio de Jericó*. Recuperado de <http://www.jerico-antioquia.gov.co/documentos-alcaldia-954105/documento-formulacion-esquema-de-ordenamiento-territorial>
- Lozano, P. (2017). *Herramienta de Selección de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales basada en Modelos de Decisión Multicriterio* [Tesis de maestría, Universidad de Los Andes]. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/13922/u754079.pdf?sequence=1>
- Ocampo O. L., y Álvarez L. M. (2017). Tendencia de la producción y el consumo de café en Colombia. *Apuntes del CENES*, 36 (64), 139-165. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cenes/v36n64/0120-3053-cenes-36-64-00139.pdf>

- Ortiz, N., Montes, C., (2018). *Diseño preliminar de un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo impacto ambiental para una finca cafetera en el municipio de El Pital – Huila*. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18018/MontesCamposCristian-OrtizSalazarNestor2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Posso, D. (2012). *Análisis de la operación y mantenimiento de la filtración en gravas de flujo ascendente a escala real*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. Recuperado de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7675/3750-0446254.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, C., Rodríguez, J. (2002). Pobreza en Colombia: tipos de medición y evolución de políticas entre los años 1950 y 2000. *Estudios Gerenciales*, 18 (85). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232002000400004
- Salazar, L., Quiroga, R., Castillo, L., Vega H. (2013). Diagnostico del tratamiento de aguas residuales mediante el sistema Cenicafé y Majavita del beneficio ecológico del café con módulo Becosub en la Hacienda Majavita. *Innovando en la U*, 5 (4). 33 – 48. Recuperado de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/innovando/article/view/3846/3227>
- Tecnotanques (3 de junio de 2019). *Tanques de agua fabricados con polietileno, 8 beneficios que no sabías*. Recuperado de <https://tecnotanques.com/tanques-de-agua-fabricados-con-polietileno-8-beneficios-que-no-sabias/>
- Universidad Surcolombina, Coffee Company Huila Ltda. (2011). *Infraestructura tipo para el beneficio limpio de café*. Recuperado de <http://www.udla.edu.co/documentos/docs/Facultades/Facultad%20de%20Ingenieria/Eventos/2011/IX%20semana%20alimentaria/Infraestructura%20tipo%20beneficio%20limpio%20cafe.pdf>
- UTZ Certified (2017). *Manual para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en beneficios pequeños de café*. Recuperado de https://issuu.com/revistaelcafetalero/docs/manual_para_sistema_de_tratamiento_
- Valdez, J., Martínez, N. (2006). *Seguimiento a la eficiencia del Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA, de aguas residuales del lavado del café bajo las condiciones climatológica de la Sierra Nevada de Santa Marta* [Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena]. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/270124561.pdf>
- Zambrano, D., Rodríguez, N., López, U., Zambrano, A. (2010). *Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles*. Repositorio digital del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Biblioteca Alberto Machado Sierra. Recuperado de <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/313>