

**Evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café
en el municipio de Pitalito, Huila.**

Luz Amparo Samboní

**Proyecto de Investigación como Opción de Grado para Optar por el Título de
Agrónomo**

**Director
Mg. Oscar Eduardo Valbuena Calderón
Ingeniero Agrónomo**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA
Programa Agronomía
CCAV Pitalito
2017**

Página de Aceptación

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Pitalito, octubre de 2017

DEDICATORIA

A Dios por darme infinitas bendiciones, fortaleza y la oportunidad de culminar satisfactoriamente este proceso formativo.

A mi hijo Alexis por ser la motivación de cada uno de mis propósitos, a mi madre María Carmen Samboní y mi hermana Carmen Timaná, por enseñarme el valor de la vida, por confiar en mí, por su compañía incondicional en cada momento vivido de alegrías y de dificultades, por su apoyo que ha sido fundamental para el logro de mis proyectos, por enseñarme a luchar por aquello que quiero más allá de los obstáculos.

A mis hermanos, Guillermo, Elmer, Martín Ariel, Ruber, Adolfo, Javier por enseñarme la importancia de la perseverancia para lograr los objetivos trazados.

A todos los seres maravillosos que han compartido junto a mí estos años y me han dado una voz de aliento en momentos de dificultades, sin ello no habría gozado de tantos momentos de alegría dándole un gran aporte a esta bella etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y seres queridos de quienes he recibido siempre apoyo sincero y quienes han apoyado mi proyecto académico.

A todos los tutores de la UNAD especialmente los de la escuela ECAMPA quienes contribuyeron a lo largo de mi carrera, fueron guía y apoyo para mi desarrollo personal y académico y brindaron todos los recursos necesarios para lograr una buena formación.

Agradezco enormemente al Magister Oscar Eduardo Valbuena Calderón director de este trabajo por creer en mi proyecto, por brindar su experiencia, conocimientos y dedicación a esta propuesta, ya que sin su paciencia y compromiso no hubiese sido posible este logro en mi carrera, además dar testimonio mediante esta investigación de que todo es posible cuando se tiene tenacidad, esfuerzo y perseverancia.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3.	HIPÓTESIS	18
4.	OBJETIVOS	19
	4.1 General	19
	4.2 Específicos	19
5.	JUSTIFICACIÓN.....	20
6.	MARCO TEÓRICO.....	22
7.	MARCO LEGAL	25
8.	METODOLOGÍA.....	27
	8.1 Descripción de la zona de estudio.....	27
	8.3 Caracterización y selección de fincas cafeteras	28
	8.4 Selección de las variables.....	30
	8.5 Diseño experimental	30
	8.6 Análisis de los datos	30
9.	RESULTADOS Y DISCUSION	32
	9.1 Cálculo Carga Contaminante	32
	9.2 Comparación Estadística de la Carga Contaminante por Tipo de Lavado.....	33
	9.3 Análisis Descriptivo de Eficiencia y Comportamiento de los STAR.....	35

9.4 Análisis de cumplimiento de las descargas del lavado con normatividad ambiental vigente	36
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles en los vertimientos según la normatividad vigente.	21
Figura 2: Ubicación área de estudio – Mapa político Pitalito	27
Figura 3: Recolección de Muestras de aguas residuales de café	31
Figura 4: Recolección de Muestras de aguas residuales de café	29
Figura 5: Recolección de Muestras de aguas residuales de café	29
Figura 6. Formato de resultados de análisis de aguas en laboratorio	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cálculo de carga contaminante por variables y total	32
Tabla 2:Resultados de Carga Contaminante Total de primer, segundo y tercer lavado.....	33
Tabla 3: Datos de análisis de resultados de muestreo.	36

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1: Distribución porcentual de huella hídrica total del sector agrícola.....	15
Grafica 2: Carga contaminante (CC) de Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Izquierda) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (Derecha)	34
Grafica 3: Carga contaminante (CC) de Solidos Suspendidos Totales (SST)	35

RESUMEN

La producción de café ocupa un importante renglón de la economía en Pitalito (H), al ser el mayor productor por volumen y calidad en Colombia; sin embargo, genera altos impactos negativos asociados al consumo de agua para su procesamiento, los cuales han causado efectos negativos sobre las fuentes hídricas. Este estudio tuvo como objetivo inicial, evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café (*Coffea arabica* L.), pero debido a condiciones externas de operación de los sistemas de tratamiento, el estudio fue dirigido hacia la cuantificación de carga contaminante que genera los sistemas productivos de café en las diferentes etapas de lavado. Fueron evaluadas 14 fincas durante la época de mayor cosecha, con la misma tecnología de lavado, analizando 22 puntos de vertimientos en condiciones de laboratorio con métodos estándar. Las variables analizadas fueron: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Sólidos Suspendidos Totales (SST); una vez obtenidos los datos se realizó el cálculo de la carga contaminante según fórmula general del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por cada momento de lavado y total, se condujo ANAVA mediante Infostat 2017, y se separaron las medias mediante LSD Fisher ($p < 0,05$), evidenciando que hubo diferencia significativa entre los aportes en Carga Contaminante (CC) realizados por cada etapa de lavado durante el beneficio de café; además se realizó comparación de los vertimientos frente a la Resolución 0631 de 2015, encontrando que las concentraciones en cada una de las variables se encuentran por encima de límites máximos permisibles fijados en la normatividad ambiental vigente en Colombia.

Palabras clave: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)- Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Sólidos suspendidos Totales (SST) – Café – Aguas Residuales Industriales – Carga Contaminante (CC).

ABSTRACT

Coffee production stands as a major economy issue in Pitalito (H) since it is the largest producer in terms of volume and quality in Colombia; yet it generates high negative impacts related to water use for processing, which have caused negative effects as well to the watersheds. This study aimed to initially evaluate the efficiency of the treatment systems for coffee (*Coffea arabica* L.) processing, however due to external operational conditions of those treatment systems, the study was redirected towards quantification of pollution rate (CC) originated by coffee processing in different washing stages. 14 farms were selected during major harvest period, using the same washing technologies, analyzing 22 waste water discharges points using laboratory standardized methods. The analyzed variables were BOD₅, COD and TSS, once the data was obtained a pollution rate (CC) was calculated using a general formula by the Ministry of Environment and Sustainable Development, in each one of the washing stages and as a total; ANOVA test was conducted using Infostat, 2017, where means were separated by LSD Fisher ($p < 0,05$). The results showed that there are significant differences among the contributions made by each washing stage in relation to pollution rate (CC), thus a comparison against Resolution 0631/2015 was conducted, finding that waste water discharges accounted for concentrations above the maximum admissible limits fixed by actual environmental law in Colombia.

Keywords: Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) – Chemical Oxygen Demand (COD) - Total Suspended Solids (TSS) - Coffee – Industrial Waste Water – Pollution Rate.

1. INTRODUCCIÓN

El café en Colombia es un sector fundamental en la economía nacional según la federación nacional de cafeteros de Colombia (FNC) debido a que más de 500.000 familias cultivan este producto siendo el gremio rural más grande del mundo (FNC, S.f). En el Huila, de 37 municipios del departamento, 35 son cafeteros convirtiéndose en el producto agrícola más importante la región (Comité de Cafeteros del Huila, 2015), de otra manera el Municipio de Pitalito es el mayor productor del grano de café en el departamento y en el país (DANE, 2015)

De acuerdo con el informe de prensa de la FNC del 26 de abril del 2017 en el marco del segundo encuentro de coordinadores de extensión realizado en la sede de café CENICAFE en Chinchiná Caldas, se dio como resultado de las investigaciones criterios que permitieron entregar un mensaje técnico a los caficultores del país, ajustados a la estrategia de la Federación Nacional de Cafeteros, tecnologías recomendadas para manejo de vertimientos producto del beneficio de café, siendo el más recomendado en la actualidad el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) para el manejo de contaminación que ocasiona el mucilago de café convirtiéndose en uno de los tratamientos de mayor economía y eficiencia, como también, reduce la contaminación hasta un 90%. Según el Centro de Investigaciones de café (CENICAFE), uno de los logros que se ha obtenido es la reducción de agua en el despulpado que paso del proceso convencional de 40 litros por kilo de café pergamino seco (cps) a 5 litros por kilo de cps en el proceso de beneficio ecológico como la tecnología de tanque tina que es recomendado para productores con predios entre 2-5 Ha, la tecnología de beneficio Becolsub (Beneficio Ecológico para el Manejo de Subproductos del Café) que es un

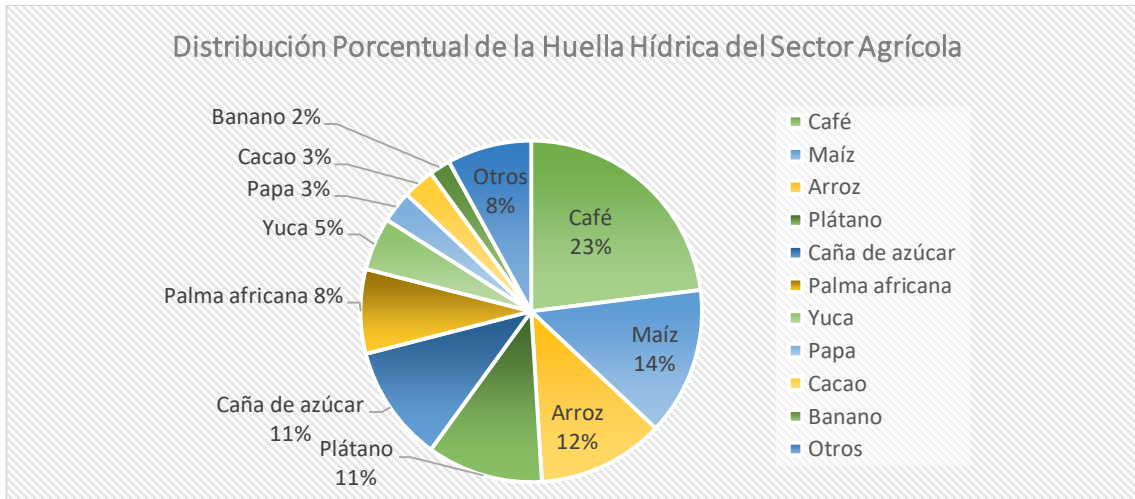
sistema ecológico que reduce el consumo de agua utilizando menos de 1 litro de agua por kilo de cps, sugerido para productores de 10 Ha, y el sistema recomendado para grandes productores con predios de más de 20 Has en café es el Ecomill, tecnología de bajo impacto ambiental que utiliza 0,5 litros de agua por Kilo de cps, estos vertimientos se pueden manejar con biodigestores, secado de lixiviados entre otros procesos. (FNC, 2017).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café en el municipio de Pitalito, estando este cultivo posicionado como el primer productor en importancia de consumo de agua, a diferencia de los demás productos cultivados en Colombia (Arevalo, 2011).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso se enfocó en el estudio es la contaminación que se realiza mediante el lavado del grano de café en las fincas del municipio de Pitalito Huila para la comercialización de café húmedo o pergamino seco, considerándose este proceso el que causa mayor contaminación, siendo el cultivo de Café el de mayor extensión en la geografía nacional (DANE, 2017), por lo tanto se hace fundamental continuar con el estudio de los sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café en la zona, debido a que las descargas de agua residual agroindustrial de productos agrícolas causan cambios drásticos en el recurso hídrico y altera el equilibrio ambiental como también coloca el peligro la calidad de vida del ser humano (FAO, 1996).

De acuerdo con (Arevalo, 2011) los resultados del estudio de Huella Hídrica en Colombia según los productos agropecuarios más cultivados, se observa una alta necesidad de agua para el cultivo de café, a diferencia de los demás productos cultivados en el país, conforme a los datos de la gráfica 1. Esta Huella mide el impacto de los cultivos y sus necesidades sobre la gestión del agua utilizada para su desarrollo, de manera que se tienen en cuenta los procesos de riego, arrastre de contaminantes y usos agroindustriales de primer nivel.



Gráfica 1: Distribución porcentual de huella hídrica total del sector agrícola

Fuente: (Arevalo, 2011)

Por tal razón se realizaron visitas a los productores de café en el municipio de Pitalito para conocer qué sistema de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café utilizaban en las fincas con el propósito de descontaminar las fuentes hídricas o el suelo. De tal manera se implementó principalmente la recopilación de datos que permitieron conocer el proceso de beneficio y los diferentes sistemas de tratamiento de aguas mieles de café instalados en las fincas productoras del grano.

Pese a que diferentes instituciones entre ellas la federación nacional de cafeteros (FNC) por medio del centro de investigaciones de café (CENICAFE) ha venido trabajando con un importante flujo de conocimientos frente a las medidas que deben ser tomadas para contrarrestar los efectos a causa del cultivo de café específicamente en el beneficio, entre sus recomendaciones esta, racionar el consumo de agua específicamente en el desmucilaginado y lavado, como también implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (CENICAFE, 2016), aun no se tienen resultados visibles en el conflicto de contaminación que es permanente por aguas mieles de café en

esta zona, lo que crea gran inconformidad por habitantes de la parte baja de la comunidad que se ven seriamente afectados por esta problemática (Samboní Joaquín, 2017).

Se caracterizaron 18 familias netamente cafeteras de las cuales, seis familias tienen sistemas de descontaminación de aguas residuales con el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA), de los que se logró evidenciar que ningún sistema está cumpliendo con la función de descontaminación debido a que en tiempos pico de la cosecha cafetera los sistemas colapsan por la alta cantidad de agua utilizada en el lavado del grano, no han funcionado desde su instalación porque el área en café supera la capacidad del sistema de tratamiento, porque el tubo de llegada al desnatador colapsa debido a la cantidad de agua utilizada, en otro caso el sistema de tratamiento recibe adecuadamente el mucilago de café pero no se está retirando del sistema que es lo que genera la descontaminación, el sistema ha sido instalado de manera incompleta, el desnatador que es el tanque donde recibe la primer agua del lavado de café no se encuentra en funcionamiento (Samboní Joaquín, 2017).

Por lo anterior y a partir del trabajo de campo referente al no funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café que se revisó, el estudio se dirigió hacia la evaluación de las cargas contaminantes generadas por los productores en tres (3) etapas distintas de lavado del grano durante el beneficio, siendo el primer lavado el que presenta mayor carga orgánica, el segundo lavado en menor cantidad y la tercera lavada se reduce notablemente la carga contaminante.

De acuerdo a lo anterior, se buscaron otros productores en diferentes zonas de Pitalito y se realizó el trabajo en catorce (14) fincas, además de la recolección de muestras de

agua residual producto del lavado de café, donde se evaluaron tres (3) variables sensibles al tema de contaminación como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Solidos Suspendidos Totales (SST), (FNC-Cenicafe , 2015), con lo cual se obtiene resultados del laboratorio y se procede a cuantificar la carga contaminante generada en los sistemas productivos de café y se analiza el comportamiento y el cumplimiento de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio de café en el municipio de Pitalito, con la normatividad ambiental vigente.

3. HIPÓTESIS

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales del beneficio del café, instalados en el municipio de Pitalito Huila no presentan diferencias significativas en la eficiencia para cumplir con la normatividad ambiental vigente.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio de café en el municipio de Pitalito.

4.2 Específicos

- Cuantificar la carga contaminante generada en los sistemas productivos de café en el municipio de Pitalito.
- Analizar el comportamiento y la eficiencia de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio del café con la normatividad ambiental vigente en el municipio de Pitalito.

5. JUSTIFICACIÓN

Es importante considerar que se debe involucrar a las comunidades en el cuidado del recurso hídrico de la zona cafetera de Pitalito, específicamente por actividades de beneficio de café húmedo, así como también hacer buena utilización de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del lavado de café para evitar la contaminación del líquido que en la parte baja es tomado para el consumo humano (Samboní Joaquí, 2017), como también de acuerdo a la resolución 2086 de del 25 de octubre del 2010 se debe tener en cuenta que *“desde la fecha se adopta la metodología para la tasación de multas según el régimen sancionatorio ambiental que se impone por parte de las autoridades ambientales según el grado de afectación ambiental”* (MINAMBIENTE, 2010), además actualmente se está realizando la aplicación e implementación las disposiciones que en materia ambiental, otorga a las autoridades facultades para realizar monitoreos y requerimientos relacionados con permisos de vertimientos (Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), lo que crea mayores controles de parte legal y que necesariamente deben ser corregidos para lograr un desarrollo sostenible siendo el estado que tiene el deber de proteger la diversidad e integridad del ambiente según lo consagrado por la CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA (1991) en el artículo 79 y 80 (Constitución Política de Colombia, 1991).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la enfermedad más común y de muerte que aquejan a las personas vulnerables en el mundo o en estado de desarrollo son transmitidas por el agua las cuales ocasionan problemas gastrointestinales a causa de agua

contaminada, lo que muestra la necesidad de un cambio o el tratamiento y la distribución y calidad de agua potable (Naciones Unidas, 2003).

En este estudio, las variables que se analizaron fueron:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Siendo estos análisis fundamentales a los requerimientos de la Resolución 631 por el cual el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible establece parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, ajustado al sector agroindustrial, siendo los siguientes:

AGROINDUSTRIA

PARÁMETRO	UNIDADES	PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS, FRUTAS, LEGUMBRES, RAICES Y TUBÉRCULOS	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC/ CENICAFE)	
			PROCESO O ECOLÓGICO	PROCESO TRADICIONAL
Generales				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00	3.000,00	650,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00		400,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	800,00	400,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	10,00	10,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	30,00	10,00
Compuestos de Fósforo				
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno				
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Otros Parámetros para Análisis y Reporte				
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm).	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Figura 1: Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles en los vertimientos según la normatividad vigente. Fuente: (Resolución No. 0631, 2015) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

6. MARCO TEÓRICO

La vida de los seres humanos depende del aprovechamiento de los recursos naturales que se posee, el agua es un recurso fundamental que cada día está siendo más contaminado por las diferentes actividades del hombre, que ya sea por desconocimiento, falta de planeación y/o mal uso, lo que ocasiona la contaminación de las fuentes hídricas. Por lo anterior, el centro de investigaciones de café (CENICAFE), ha dado a conocer los diferentes tipos de beneficio de café que permiten al productor hacer uso eficiente, ahorro de agua y la contaminación que causa si no se realiza el debido manejo de los vertimientos, esto con el propósito de infundir la importancia de conservar los diferentes recursos hídricos, (Rodríguez Valencia Nelson, 2015).

En Colombia, el sector cafetero tiene gran importancia y significado en la vida socioeconómica del país, por lo tanto, es importante conocer que el proceso del café por vía húmeda genera residuos líquidos altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenido de sólidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo cual genera graves desequilibrios en el ecosistema receptor y en sus componentes (Matuk V., Puerta Q., & Rodríguez V., 1997)

El café está posicionado como el primer producto en importancia en términos de consumo de agua a diferencia de los demás productos cultivados en el país, realizando la contaminación en las fincas cafeteras para la comercialización de café pergamino seco (csp), la mayor parte de contaminación se realiza en el proceso de beneficio de café húmedo siendo el cultivo de café el más extendido en la geografía nacional (Arévalo Diego, 2011).

Por lo tanto para la producción agrícola el recurso hídrico es indispensable especialmente en el beneficio del café, lo que indica que al realizar el proceso de lavado ocurre una alteración en el líquido de manera que altera la calidad del agua generando la contaminación de fuentes hídricas, según CENICAFÉ, *“En Colombia el proceso de beneficio comienza con la recolección manual de cerezas maduras, característica que genera una calidad de café muy estimada por los consumidores, pero puede llegar a generar una alta contaminación de agua y del medio ambiente”* (Zambrano & Isaza Hinestroza, 1998).

En consecuencia, el mucilago de café se genera en la etapa de despulpado o en la base húmeda que representa aproximadamente 14,85% del peso del fruto fresco, y en volumen representa por cada kilogramo de café cereza 91ml de mucilago fermentado. Lo que indica que por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, produce aproximadamente 55.500 toneladas de mucilago fresco, que si no se le hace un procesamiento adecuado puede ocasionar una contaminación equivalente a la generada en un año por excretas y orina por una población de 310.000 habitantes. (Zambrano F. & Rodríguez V., 2010).

Por lo anterior la Federación Nacional De Cafeteros De Colombia (FNC) y el Centro Nacional De Investigación De Café (CENICAFE), ha presentado los sistemas modulares de tratamiento de anaerobio (SMTA), con el propósito de descontaminar las aguas residuales generadas del lavado de café, donde se procede a retirar el mucilago por el método de fermentación natural, como es la utilización de tanques negros de

polietileno, la utilización de botellas plásticas no retornables (BPNR) como medio de soporte para los microorganismos. (Zambrano Franco, 2006)

7. MARCO LEGAL

Decreto 2811 de 1.974: El código nacional de Recursos Naturales Renovables (RNR) y no renovables, y de protección al medio ambiente establece que, el ambiente es patrimonio común, por lo tanto, los particulares y el estado deben cuidar de la preservación y manejo.

Decreto 1449 de 1977: El artículo 2 punto 1 del decreto 1449 de 1977 establece en relación con el aprovechamiento las aguas que los propietarios están obligados a, no incorporar en las aguas cuerpos o sustancias sólidas, líquidas o gaseosas. Punto 3, no alterar el flujo natural de las aguas como resultado de una actividad, sin la concesión de la entidad correspondiente. Punto 4, hacer uso eficiente del agua. Punto 8, contribuir a la conservación.

Decreto 1594 de 1984: El artículo 24 del decreto 1594 de 1984, dispone que la Entidad Encargada del Manejo y Administración del Recurso (EMAR) debe hacer revisiones periódicamente a partir de la vigencia del presente decreto, los análisis que permitan obtener la información sobre:

Ley 09 de 1979: El código sanitario nacional trata sobre el control y prevención de las aguas para el consumo humano.

Decreto 2857 de 1981: Este decreto constituye la ordenación y protección de cuencas hidrográficas.

Decreto 79 de 1986: Conservación y protección del recurso agua.

Ley 99 de 1993: Artículos 10, 11, 24, 29: Prevención y control de contaminación de las aguas.

Ley 99 de 1993: Según lo establecido por la Ley 99 de 1993, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, como coordinador del Sistema Nacional Ambiental, es el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de definir y formular, garantizando la participación de la comunidad, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, entre ellos el agua.

Decreto 3930 de 2010: Establece que todo usuario que realice descargas de aguas residuales al suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas marinas deberá tramitar y legalizar el permiso de vertimientos o planes de cumplimiento, además de otros compromisos establecidos por la norma.

Resolución 0631 de 2015 – Minambiente: se fijan parámetros para vertimientos de aguas superficiales, y comienza a regir a partir del 01 de enero de 2016, en cuando al beneficio de café y el proceso tradicional.

DQO: 650,00
DBO₅: 400,00
SST: 400,00

8. METODOLOGÍA

8.1 Descripción de la zona de estudio

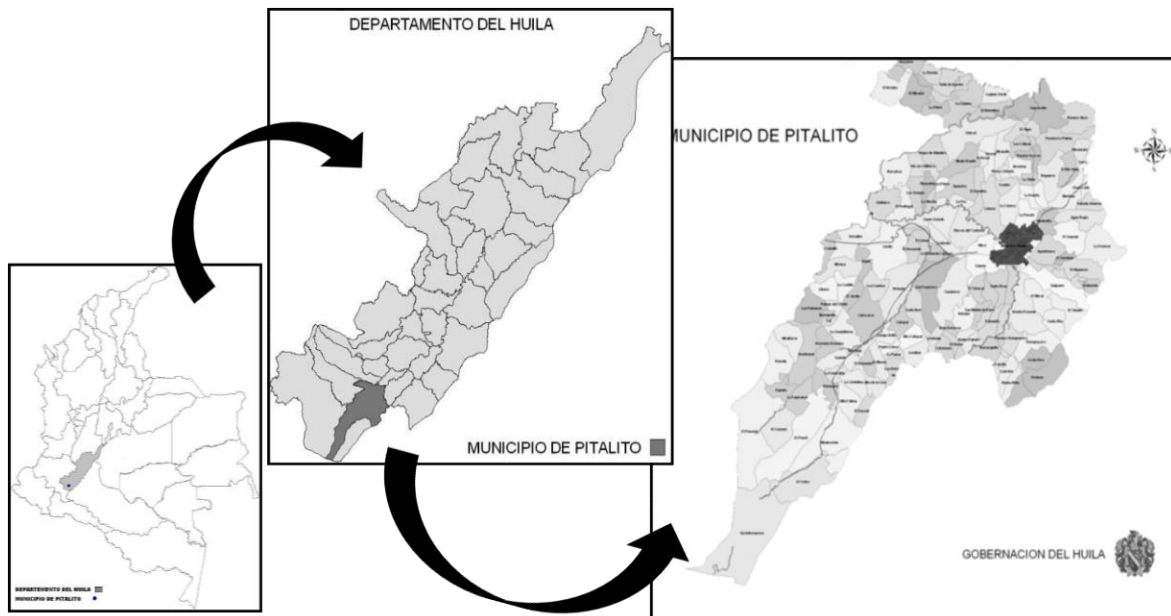


Figura 2: Ubicación área de estudio – Mapa político Pitalito
Fuente: Adaptado (Valbuena, 2014)

El estudio se desarrolló en el Municipio de Pitalito – Huila (Figura 1.), ubicado dentro del cinturón de bosque subandino montano bajo (Baker, 1989), en plantaciones de café con elevaciones que varían desde los 1360 - 1540 m, en condiciones de pendiente moderada del 20-30%, y características agroclimáticas especiales para la producción cafetera: precipitación media anual de 1300 mm, temperatura promedio de 20 °C, promedio brillo solar de 8 horas luz/día, humedad relativa del 85% y radiación solar de 23 w/m² (Fuente: Estación Yamboró) Estas condiciones corresponden al ECOTOPO Cafetero 319^a, ubicado en la cuenca del río Magdalena (Gómez et al 1991). Tomado de (Valbuena, 2014).

8.3 Caracterización y selección de fincas cafeteras

La selección de fincas se realizó mediante muestreo no probabilístico que es una técnica de muestreo el cual no brinda a todos los individuos de la población la oportunidad de ser seleccionados para este fin, sino por la conveniencia, acceso, disponibilidad entre otros (Scharager, 2011).

El proceso de beneficio que se realiza en las fincas objeto de este estudio aborda la tecnología tanque tina, sistema potencial en usuarios según el centro de investigaciones de café sobrepasando a un millón de unidades productoras agrícolas que corresponden a más del 90% de los pequeños caficultores en el país (FNC/CENICAFE, 2015), con lavado; *primer enjuague*: se adiciona agua superando unos 5 cm el nivel de café en el tanque, se agita fuertemente y se descarga el residuo concentrado el cual se denomina “cabeza de lavado”, *segundo enjuague*: se aplica agua superando 5cm aproximadamente, se agita de manera constante y se retira los flotes remanentes o conocidos por los caficultores como pasilla y se descarga los residuos, *tercer enjuague*: se repite el anterior proceso y se realiza la descarga de agua (CENICAFE, 2011).



Figura 3: *Recolección de Muestras de aguas residuales de café*
Fuente: *Autor*



Figura 4: *Recolección de Muestras de aguas residuales de café*
Fuente: *Autor*



Figura 5: *Recolección de Muestras de aguas residuales de café*
Fuente: *Autor*

8.4 Selección de las variables

De acuerdo con la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, en donde FNC/CENICAFE, especificaron las variables fisicoquímicas para fijar los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales dentro del sector productivo agroindustrial. Por lo tanto, dentro del alcance de este estudio se consideraron las variables: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), como las más sensibles como objeto de evaluación de la eficiencia de los sistemas y para la determinación de las cargas contaminantes de las aguas vertidas a las diferentes fuentes o al suelo, aportando tres cargas contaminantes en cada lavado (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

8.5 Diseño experimental

Se midió la variable Carga Contaminante, resultado de los cálculos de las concentraciones vertidas desde los sistemas de beneficio a las fuentes hídricas o al suelo, con 22 repeticiones de evaluación, mediante la adición de 3 variables de calidad de agua. En cuanto a las variables de comportamiento y eficiencia, se realizó un análisis descriptivo de todos los sistemas y la situación encontrada al momento de la evaluación *in situ*.

8.6 Análisis de los datos

Cálculo de la Carga Contaminante (CC): El cálculo de la carga contaminante se da de la multiplicación del caudal promedio por la concentración de la carga contaminante por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario medido en horas por día. Fórmula General (MINAMBIENTE, 2012):

$C.C = Q * C * 0.0036 * t/24$
 C.C = Carga contaminante (Kg/día)
 Q = Caudal de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)
 C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante en miligramos por litro (mg/l).
 0.0036 = Factor de conversión de unidades (mg/s a kg/h)
 T = tiempo de vertimiento del usuario en horas por día (h)

AMBILAB Laboratorio Ambiental									
Fecha					Resultados Laboratorio No.				
Formato Informe de Resultado de ensayo AS-TRE-F01 - V 02 Fecha última revisión y aprobación: 2017-01-12									
Información del Cliente									
Cliente/Empresa					NIT.C.I				
Contacto			Celular			Email			
Dirección					Ciudad/Departamento				
Pitalito					PITALITO-HUILA				
Referencia de la Muestra									
Procedimiento No.	Plan de muestreo	Muestra No.	Tipo de Agua	Tipo de muestra	Fecha Toma	Fecha Entrega	Hora Muestra		
N.P	N.P		Residual	SIMPLE			15:20		
Muestra tomada por		Lat	Long	Alt	Lugar				
		N.R	N.R	N.R					
Punto de muestreo					Fuente				
					Lavado de Café				
ANÁLISIS FÍSICO y QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DEL CAFÉ									
Fecha de Análisis	Variable	Unidad	Resultado	Límite de Cuantificación	Técnica	Método	NO APLICA		
2017-10-04	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/l.	6450.0	100.0	Colorimétrico	SM 5220 D	-	-	-
2017-09-28	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/l.	4176.00	2.00	Titulación - Sensor de Luminiscencia	INCUBACIÓN A 5 DÍAS SM 5210. B Electrodo de Luminiscencia ASTM D 888-12 Método C	-	-	-
2017-09-29	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	400.00	5.00	Gravimetría secado a 103 ± 0.5°C	SM 2540 D	-	-	-

Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.

Figura 6. Formato de resultados de análisis de aguas en laboratorio
Fuente: Laboratorio AMBILAB SAS.

Una vez obtenidos los resultados de concentraciones por mediciones en laboratorio (Figura 6), se realizó el cálculo de las cargas contaminantes por cada momento del lavado del café, de manera que se cuantificó la carga aportada por cada unidad. Los datos de carga contaminante fueron analizados mediante ANOVA con separación de medias LSD Fisher ($p < 0.05$), lo cual permitió evaluar las concentraciones en carga contaminante por cada momento del proceso de beneficio (lavado) en las distintas unidades.

9. RESULTADOS Y DISCUSION

9.1 Cálculo Carga Contaminante

Una vez obtenidos los datos de acuerdo con la metodología planteada se corrieron los datos por la formula dada por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (Minambiente), donde se calcularon las diferentes cargas contaminantes estudiadas en kilogramos por día, como se encuentra en la siguiente tabla:

No. LAVADO	CC DQO (Kg DQO / Día)	CC DQO (Kg DBO / Día)	CC SST (Kg SST / Día)	TOTAL CC (Kg / Día)
Primer Lavado	265,7	115,4	105,0	486,1
Primer Lavado	495,7	295,8	75,0	866,5
Primer Lavado	285,7	142,2	35,0	462,9
Primer Lavado	252,3	142,5	80,0	474,8
Primer Lavado	345,7	232,5	25,0	603,2
Primer Lavado	122,3	73,8	24,9	221,0
Primer Lavado	405,8	213,6	55,0	674,4
Primer Lavado	167,3	87,0	20,0	274,3
Primer Lavado	479,7	254,5	30,0	764,2
Primer Lavado	435,5	267,0	40,0	742,5
Primer Lavado	SD	311,4	SD	311,4
Primer Lavado	SD	252,0	SD	252,0
Primer Lavado	SD	39,2	SD	39,2
Segundo Lavado	107,8	45,2	7,0	160,1
Segundo Lavado	149,5	87,0	75,0	311,5
Segundo Lavado	37,8	19,7	11,4	68,9
Segundo Lavado	81,2	27,2	13,3	121,7
Segundo Lavado	SD	97,6	SD	97,6
Tercer Lavado	26,2	12,1	8,0	46,2
Tercer Lavado	49,5	0,0	10,0	59,5

Tabla 1 Cálculo de carga contaminante por variables y total

Como se puede apreciar en la Tabla 1, se presentan los datos organizados por cantidad de carga contaminante en Kg/día, de cada una de las variables incluidas en el alcance de este estudio, así como el valor total de la carga contaminante obtenido mediante adición de los valores individuales que reflejan el total de la carga de cada uno de los vertimientos en cada finca y por cada etapa del proceso de lavado (lavado 1, lavado 2 y lavado 3).

9.2 Comparación Estadística de la Carga Contaminante por Tipo de Lavado

En la Tabla 2. Se presentan los resultados de carga contaminante total en cada una de las fases de lavado, utilizando un análisis de varianza con universo de 22 puntos de muestra, un coeficiente de variación de 46,19% y 2 grados de libertad, debido al número de repeticiones obtenidos durante la fase de campo. Se realizó separación de medias por LSD (Least Statistical Difference) Fisher, $p < 0,05$, en donde las medias con diferencia significativas fueron representadas con letras diferentes (A, B, C).

"TOTAL CC (Kg / Día)

Variable	N	R ²	Adj R ²	CV
"TOTAL CC	16	0,62	0,56	46,19

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	707110,25	2	353555,13	10,56	0,0019
No. LAVADO	707110,25	2	353555,13	10,56	0,0019
Error	435186,88	13	33475,91		
Total	1142297,14	15			

Test: Fisher LSD Alpha: =0,05 LSD:=21,38773

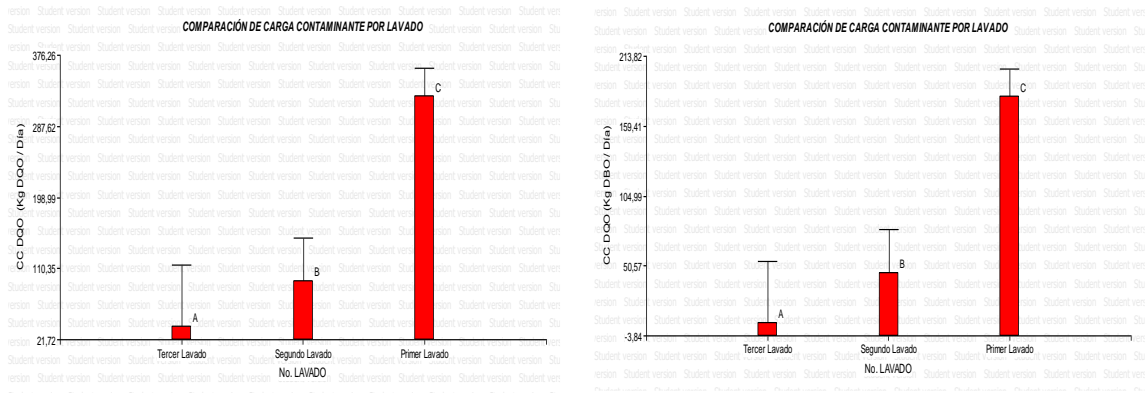
Error: 5,0000 df: 1

No. LAVADO	Means	n	S.E.		
Tercer Lavado	52,85	2	129,38	A	
Segundo Lavado	165,55	4	91,48		B
Primer Lavado	556,99	10	57,86		C

Means with a common letter are not significantly different ($p > 0,05$)

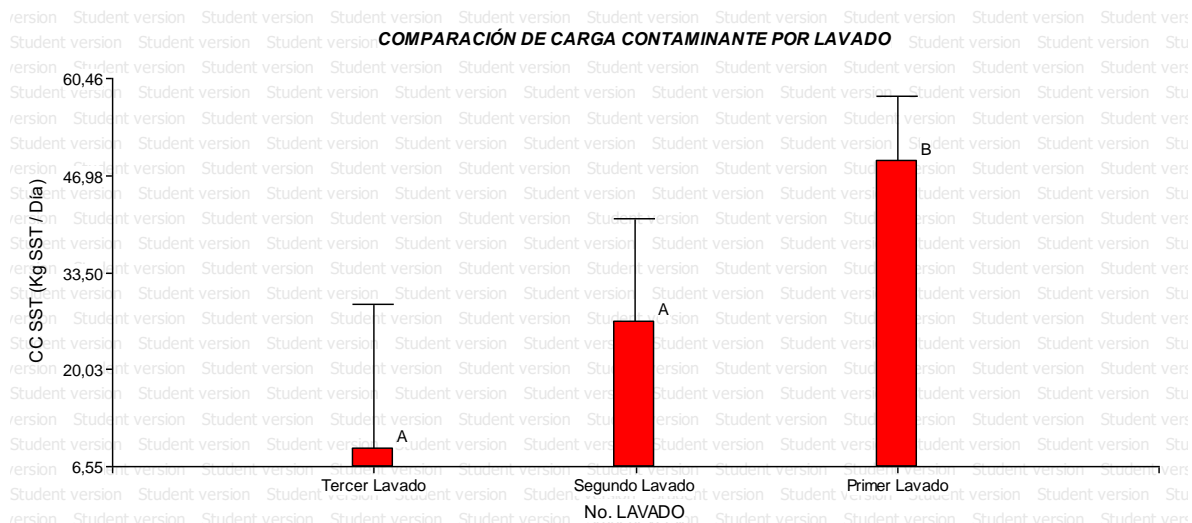
Tabla 2: Resultados de Carga Contaminante Total de primer, segundo y tercer lavado

En la gráfica 3. se muestra que los vertimientos generados durante el primer lavado corresponden a una mayor concentración de carga contaminante, debido a que contienen la mayor cantidad de mucilago de café desprendido por la agitación homogénea del grano en los tanques-tina, representando el 66% de la materia orgánica que está presente en el grano en este primer lavado; y los vertimientos del lavado 2, corresponden a una menor concentración, debido a que se obtiene alrededor de 24 % del total de mucilago. (Orozco, 2003) Por lo anterior se evidencia mediante los resultados de la tabla que en el primer lavado hay una mayor concentración, considerándose “Cabeza de lavado” (Cenicafé, 2011), y en el segundo y tercer lavado hay menores concentraciones.



Gráfica 2: Carga contaminante (CC) de Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Izquierda) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (Derecha)

En la gráfica 3 se presenta la carga contaminante de la variable DQO y DBO₅, en la que se observa que en el primer lavado aportan la mayor carga contaminante, como también se diferencia estadísticamente al resultado de segundo y tercer lavado, lo que indica grandes variaciones en los tres lavados.



Grafica 3: Carga contaminante (CC) de Solidos Suspendidos Totales (SST)

En la gráfica 4 de carga contaminante de la variable SST, según los resultados el segundo y tercer lavado no tienen diferencias significativas, sin embargo, se debe tener en cuenta que debido a las pocas repeticiones que tiene el segundo y tercer lavado el error es muy alto, pero claramente muestra la gráfica que si existe una diferencia en la concentración de CC.

9.3 Análisis Descriptivo de Eficiencia y Comportamiento de los STAR

Teniendo en cuenta que, al momento de formular el anteproyecto para la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales producto del beneficio de café, se realizó el acercamiento a campo para su debida caracterización, donde ya habían sido plenamente identificados dichos sistemas, se dio inicio a la fase de ejecución del mismo. Sin embargo, en esta fase de ejecución se encontró con el inconveniente que los productores no estaban utilizando los sistemas de tratamiento por diferentes complicaciones, por tanto, no pudieron ser objeto del estudio tal y como se había propuesto; de tal manera, se debió tomar la decisión de evaluar las cargas contaminantes de los diferentes momentos de lavado en el proceso de

beneficio, y la variable de eficiencia de los sistemas de tratamiento no pudo ser lograda dentro del alcance de esta evaluación.

9.4 Análisis de cumplimiento de las descargas del lavado con normatividad ambiental vigente

Teniendo en cuenta que existe la normatividad ambiental vigente respecto a las concentraciones máximas permisibles de las variables objeto de este estudio (DBO₅, DQO y SST), en la tabla 3, se presentan las concentraciones (mg/L) de cada una de las variables y el nivel de cumplimiento de acuerdo con la Resolución 0631 de 2015, Art. 9, así:

ANÁLISIS DE RESULTADOS						
No. LAVADO	DQO	Máximo Permissible (mg/L)	DBO	Máximo Permissible (mg/L)	SST	Máximo Permissible (mg/L)
1	26566,67	650	11542,5	400	10500,0	400
1	49566,67		29580,0		7500,00	
1	28566,67		14220,00		3500,00	
1	25233,3		14250,00		8000,00	
1	34566,7		23250,00		2500,00	
1	12233,3		7380,00		2485,71	
1	40583,3		21360,00		5500,00	
1	16733,3		8700,00		2000,00	
1	47974,0		25450,00		3000,00	
1	43547,3		26700,00		4000,00	
1	SD		31140,00		SD	
1	SD		25200,00		SD	
1	SD		3922,00		SD	
2	10783,33		4524,00		700,00	
2	14950,0		8700,00		7500,00	
2	3783,3		1965,00		1142,83	
2	8116,7		2715,00		1333,33	
2	SD		9760,00		SD	
3	2616,67		1208,00		800,00	
3	4950,0		2,0		1000,0	

Tabla 3: Datos de análisis de resultados.

Como se observa en la tabla 3, ninguno de los puntos muestreados por tipo de lavado se encuentra dentro del límite de cumplimiento de la autoridad ambiental ya que frente a los parámetros fisicoquímicos a monitorear en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de agua superficiales de actividades productivas, los límites máximos permisibles para las variables estudiadas para el proceso de café con proceso tradicional son; $DQO = 650$, $DBO_5 = 400$, y $SST = 400$, obteniendo en la tabla solamente en el primer lavado valores de; DQO entre 12233,3-49566,67, DBO_5 entre 3922,00 - 31140,00 y SST entre 2000,00 - 10500,0.

CONCLUSIONES

Existe diferencia significativa en Carga Contaminante de las variables DQO, DBO₅ y SST, en función de los distintos momentos de lavado en el proceso de beneficio de café, con confianza del 95%, al obtener separación de medias con un valor de $p < 0,05$.

Ninguno de las descargas o vertimientos realizadas en los 3 momentos de lavado cumple con la normatividad ambiental vigente, puesto que los valores en concentración (mg/L) tanto de oxígeno, como sólidos están por encima de los límites máximos permisibles definidos por la Resolución 0631 de 2015.

RECOMENDACIONES

Garantizar que en campo se cuente con los diferentes sistemas de tratamiento o unidades que se van a evaluar, además de que puedan ser administradas por los investigadores y no dependan tanto de los productores.

Establecer un mayor número de muestras para una futura investigación para disminuir el error y los coeficientes de variación.

Es fundamental tomar más variables, no solamente las más sensibles sino las demás variables establecidas por la normatividad ambiental vigente, para finalmente conocer si cumplen o no cuando se realice el análisis de eficiencia.

Se debe fortalecer la divulgación en los productores de café de la zona sobre los sistemas de descontaminación de aguas residuales producto del beneficio de café acordes con la normatividad legal vigente.

BIBLIOGRAFÍA

- Arevalo Diego, L. J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia . *Revista Inernacional de sostenibilidad, tecnologia y humanismo*, 101-119.
- Arevalo, D. L. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 101-126.
- CENICAFE. (2004). *Beneficio del café. 1. Despulpado, remoción del mucílago y lavado*.
CHINCHINA. COLOMBIA: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE
CAFE - Cenicafé.
- CENICAFE. (Junio de 2011). *Construya su tanque tina para la fermentación y el lavado de café*.
Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04081.pdf>
- Cenicafé. (Junio de 2011). *Construya su tanque tina para la fermentación y el lavado de café*.
Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04081.pdf>
- Cenicafé. (Junio de 2011). *Contruya su Tanque Tina para el Lavado y Fermentacion del Café*.
Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt04081.pdf>
- CENICAFE. (31 de Marzo de 2016). *Manejo de Subproductos*. Obtenido de
http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/manejo_de_subproductos/cultivemos_cafe_manejo_de_subproductos
- CENICAFE/FNC. (Marzo de 2011). *Controle los flujos de cafe y agua en el modulo Becolsub*.
Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0405.pdf>
- Comité de Cafeteros del Huila. (2015). *Perfil de la Caficultura Huilense*. Obtenido de
https://huila.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestros_cafeteros/category/118
- Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*.

- DANE. (13 de Agosto de 2015). *La Economía del Departamento del Huila: Diagnostico y Perspecctivas de Mediano Plazo*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/SecTH/Documents/ESTUDIO%20REGIONAL%20HUILA%20FINAL%20Ago%2014.pdf>
- DANE. (04 de Agosto de 2017). Recuperado el Octubre de 2017, de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/enda/ena/2016/boletin_ena_2016.pdf
- FAO. (1996). *Cumbre Mundial Sobre la Alimentación*. Roma Italia.
- FNC. (27 de Abril de 2017). *Productores disponen de cada vez más opciones para manejar y reducir aguas residuales del café*. Obtenido de https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/productores_disponen_de_cada_vez_mas_opciones_para_manejar_y_reducir_aguas/
- FNC. (S.f). *FNC en Cifras*. Obtenido de Mision: https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/quienes_somos/fnc_en_cifras/
- FNC/CENICAFE. (2015). *Beneficio de Cafe en Colombia*. Cenicafé.
- FNC-Cenicafe . (2015). *Beneficio de Cafe en Colombia*. Comité Editorial Cenicafé.
- Matuk V., V., Puerta Q., G., & Rodriguez V., N. (1997). Impacto biológico de los efluentes del beneficio humedo del café. 235.
- MINAMBIENTE. (25 de Octubre de 2010). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Obtenido de Resolucion 2086: http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf

MINAMBIENTE. (21 de Diciembre de 2012). Decreto 2667. *Decreto No. 2667 de 2012 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Resolucion No. 0631* .

Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Normativa Ambiental - Resoluciones - 2015*. Obtenido de

http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Naciones Unidas. (2003). *Agua para todos agua para la vida*. Paris, Francia: UNESCO.

Orozco, P. A. (2003). *ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR*

METANOGENICO TIPO UAF PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS

RESIDUALES DEL LAVADO DEL CAFE . Obtenido de

<http://www.bdigital.unal.edu.co/978/1/paulaandreaorozcorestrepo.200.pdf>

Ramirez, L. J. (2008). *Infraestructura bajo el enfoque de una produccion más limpia en el subsector cafetero*. Neiva Huila: Surcolombiana S.A.

Rodriguez Valencia Nelson, E. a. (2015). *Beneficio del Cafe en Colombia*. Comité Editorial Cenicafé.

Samboni Joaqui, L. A. (08 de Febrero de 2017). Caracterizacion de sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficio del cafe. Pitalito, Huila, Colombia.

Scharager, J. &. (2011). *Muestreo no Probabilistico*. Obtenido de Metodología de la investigación para las ciencias sociales. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.:

<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31715755/muestreo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1507726879&Signature=eRJZio4rD3>

dLny0pou1aWvfrWMM%3D&response-content-

disposition=inline%3B%20filename%3DMetodologia_de_la_Investigacion_Escue

Valbuena, O. E. (Noviembre de 2014). *Evaluación de la calidad de suelo en plantaciones de Coffea arabica L. var. Caturra, en tecnologías de producción intensiva y tradicional en Pitalito-Huila.*

Zambrano F., D., & Rodriguez V., N. (2010). Los Subproductos del cafe: Fuente de Energia Renovable. *Avances Tecnicos Cenicafe 393*, 3.

Zambrano Franco, D. A. (2006). Tratamiento Anaerobio de las aguas mieles del café. *Tratamiento Anaerobio de las aguas mieles del café*, 5.

Zambrano, D. A., & Isaza Hinestroza, J. D. (1998). Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los. *Cenicafe*, 279-289.