

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL
TRATAMIENTO DE LA MEZCLA AGUA-MUCÍLAGO DE CAFÉ OBTENIDAS POR
DESMUCILAGINADOR MECÁNICO**

CATHERINE MORALES BUITRAGO

CLAUDIA ALEXANDRA MEJÍA GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO-
CIMAD**

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES

2015

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL
TRATAMIENTO DE MEZCLA AGUA-MUCÍLAGO DE CAFÉ OBTENIDAS POR
DESMUCILAGINADOR MECÁNICO**

CATHERINE MORALES BUITRAGO

CLAUDIA ALEXANDRA MEJÍA GONZÁLEZ

**Trabajo de grado para optar al Título de
“Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente”**

Director

Juan Carlos Montoya

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO-
CIMAD**

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES

2015

DEDICATORIA

Dedicamos...

A nuestro hogar y a nuestras familias por su apoyo incondicional, constante motivación y comprensión por la dedicación de tiempo al estudio.

A los animales y al medio ambiente, cuya causa por protegerlos del maltrato humano hace parte de nuestra razón de existir

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	17
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	20
2. JUSTIFICACION.....	23
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 GENERAL.....	25
3.2 ESPECÍFICOS.....	25
4. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	26
5. MARCO TEORICO.....	26
5.1 Generalidades del cultivo del café del café.....	26
5.2 Ubicación y clima.....	27
5.3 Composición del fruto del café.....	29
5.4 Beneficio del Café.....	29
5.4.1 Tipos de beneficio.....	30
5.5 Contaminación.....	33
5.6 Manejo y tratamiento de lixiviados producidos en la tecnología Becolsub.....	34
5.7 Biodigestores.....	35
5.7.1 Metanogénesis.....	37
5.8 Control de contaminación de las aguas mieles del café a partir de la obtención de gas por medio de biodigestores.....	41
5.9 Manejo biológico integrado de la pulpa de café y aguas mieles en el panacam.....	42

5.10 Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café.....	45
5.11 Tratamiento de aguas residuales del lavado del café (CENICAFÉ, Boletín No20 y No29).....	46
5.12 MARCO JURIDICO.....	48
5.13 EXTENSIÓN RURAL.....	51
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
6.1 LOCALIZACIÓN.....	51
6.2 MONTAJE EXPERIMENTAL.....	52
6.2.1 Diseño del biodigestor.....	53
6.2.2 Puesta en marcha del biodigestor.....	55
6.3 METODOLOGÍA.....	56
6.4 METODOLOGIA DE SEGUIMIENTO AL PROCESO DE LAS MEZCLA AGUA-MUCÍLAGO EN UNA FINCA DE ACUERDO A SU DISTRIBUCIÓN DE COSECHA Y PRODUCCIÓN.....	57
6.5 METODOLOGIA PARA ALIMENTAR EL BIODIGESTOR CON SOLO AGUAS MEZCLA AGUA-MUCÍLAGO DEL CAFÉ PARA OBTENER BIOGÁS.....	58
6.6 METODOLOGIA PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS EN EL DÍA PICO EN LA FINCA PILOTO.....	59
6.7 METODOLOGIA TOMA DE MUESTRAS.....	60

6.8 METODOLOGIA PARA REALIZAR LA EXTENSION DE LOS RESULTADOS A LOS CAFICULTORES.....	61
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	62
7.1 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL MONITOREO.....	62
7.2 EN ACTIVIDADES DE LABORATORIO.....	67
7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
7.3.1 Puesta en marcha del Biodigestor.....	67
7.3.2 Dimensiones Biodigestor.....	67
7.4 Resultados de laboratorio y pH.....	68
7.5 VALORES FINALES VERSUS NORMA DE VERTIMIENTOS 1594 de 1984.....	72
7.6 VALORES FINALES VERSUS RESOLUCIÓN DE VERTIMIENTOS 631 de 2015.....	74
7.7 Valores finales comparativo tratamiento versus investigación Lugo <i>et al.</i> (2009) versus la resolución 631 de 2015.....	75
7.8 Valores finales comparativo tratamiento versus investigación Perdomo <i>et al.</i> (2008) versus y el decreto 3930 de 2010 - resolución 631 de 2015.....	76
7.9 Tratamiento de aguas residuales del lavado del café por CENICAFÉ Boletín No20 y Boletín No29).....	80
7.10 Evaluación Hipótesis de trabajo.....	81
8. CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	85

ANEXOS.....	88
-------------	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados investigación Lugo <i>et al.</i> (2009).....	39
Tabla 2. Resultados investigación Lugo <i>et al.</i> (2009) comparados con el decreto 1594 de 1984.....	42
Tabla 3. Porcentaje de sustratos y cantidad de experimentos por tratamiento	42
Tabla 4. Resultados dimensiones biodigestor.....	45
Tabla 5. Resultados de Parámetros de Laboratorio entrada tratamiento.....	68
Tabla 6. Resultados de Parámetros de Laboratorio tratamiento.....	68
Tabla 7. Potencial de Hidrogeno y gas resultante de los tratamientos - investigación Balsea y Cabrera 2011.....	68

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Entrada tratamiento respecto al tratamiento.....	69
Gráfica 2. Peso del biogás en 50 segundos.....	71
Gráfica 3. Ley 1594 de 1984 respecto al tratamiento.....	73
Gráfica 4. Entrada tratamiento y tratamiento respecto a la resolución 631 de 2015 para café.....	74
Gráfica 5. Tratamiento versus investigación Lugo <i>et al.</i> (2009) y respecto a la resolución 631 de 2015 para café.....	75
Gráfica 6. Sólidos Suspendidos Totales – investigación Perdomo <i>et al</i> , 2008.....	77
Gráfica 7. pH en aguas residuales procesadas a través de Biodigestores - investigación Perdomo <i>et al</i> , 2008.....	78
Gráfica 8. DQO en aguas residuales procesadas a través de biodigestores - investigación Perdomo <i>et al</i> , 2008.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual cafeteros y caficultura.....	21
Figura 2. Árbol de café variedad Colombia en producción.....	27
Figura 3. Distribución de las zonas cultivadas de café en Colombia.....	28
Figura 4. Composición del fruto del café.....	29
Figura 5. Beneficio en tanque tina.....	31
Figura 6. Tornillo sinfín transportador y mezclador de subproductos.....	32
Figura 7. Módulo BECOLSUB 300.....	32
Figura 8. Distribución porcentual de aportes de carga orgánica (medida como DBO ₅) al Río Cauca para el año 2005.....	33
Figura 9. Esquema filtro de preacidificación del manejo y tratamiento de lixiviados producidos en la tecnología Becolsub.....	34
Figura 10. Digestor Hindú y digestor Chino.....	36
Figura 11. Esquema de reacciones de digestión anaerobia.....	38

Figura 12. Grafica de composición de pulpa de café en un periodo de treinta días.....	44
Figura 13. Esquema de un SMTA para el tratamiento de aguas residuales de lavado de café.....	47
Figura 14. Esquema del SMTA para las aguas residuales del lavado o mieles del café.....	48
Figura 15. Parametros para café resolución 631 de 2015.....	50
Figura 16. Ubicación del municipio de el Águila con respecto al departamento del Valle del cauca.....	52
Figura 17. Caja de salida construida en ladrillo, repellada y esmaltada.....	53
Figura 18. Corte A-A excavación	54
Figura 19. Tubo que dirige la mezcla agua-mucilago al tratamiento.....	58
Figura 20. Desmucilagador mecánico (a) direccionamiento del entrada tratamiento (b)...	62
Figura 21. Aguas a la salida del biodigestor (tratamiento).....	63
Figura 22. Biodigestor donde se realizó el tratamiento.....	63
Figura 23. Toma de muestra del entrada tratamiento (a) y llenado del recipiente (b) con la muestra.....	64

Figura 24. Toma de PH al entrada tratamiento en campo (a) y tiras indicadoras de PH (b).....65

Figura 25. Toma de muestra del tratamiento (a) y muestras envasadas (b).....66

Figura 26. Peso bolsa vacía.....66

Figura 27. Peso bolsa llena con gas.....66

Figura 28. Estufa de gas propano conectada por la no presencia del biogas suficiente para la combustión.....72

GLOSARIO

Anaerobio

Se llama anaerobios a los organismos que no necesitan oxígeno (O₂) para desarrollarse.

Becolsub

Beneficio ecológico del café y manejo de subproductos.

Biodigestor

Es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etc) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante del material que entró al mismo.

Biogás

Combustible, mezcla de metano y dióxido de carbono junto con otros gases en menor proporción, que se produce por descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

Biol

Es el efluente líquido que se descarga de un digestor como resultado de la descomposición anaeróbica o digestión de la materia orgánica, el cual aparece como residuo líquido sobrenadante de la fermentación metanogénica de los desechos orgánicos.

c.c

Café cereza. Es el estado apropiado del café para ser desprendido del árbol y sometido al proceso de beneficio.

c.p.s

Café pergamino seco. Es el estado de humedad del café listo para comercializar en seco (10 - 12% de humedad).

DBO

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Desmucilaginado

Retiro del mucílago por medio mecánico

Desmucilaginador

Equipo que realiza el desmucilaginado mecánico por medio de fricción y esfuerzos cortantes

Deslim

Desmucilagador lavador y limpiador

Despulpado

Etapas del beneficio ecológico del café en la cual se separa los granos de café de la pulpa.

DQO

Demanda Química de Oxígeno

Kg

Kilogramo

Mucílago

Sustancia incolora que recubre el fruto del café una vez se haya despulpado. El mucílago debe ser removido para permitir un fácil secado y una buena conservación del café.

L

Litro

Lixiviados

Líquidos resultantes de un proceso del proceso de compostaje

pH

Potencial de Hidrógeno, es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

Pulpa

Es la cáscara del grano de café formado por el exocarpio (epidermis) y parte del mesocarpio.

Subproductos

Residuos del proceso de beneficio que no se deben eliminar, si no, usar para otro proceso.

SST

Sólidos Suspendidos Totales

Tanque tina

Son tanques convencionales a los cuales se les han modificado las esquinas redondeando sus ángulos, para facilitar la operación de lavado y disminuir el consumo específico de agua.

@

Arroba

RESUMEN

Se evaluó un sistema de biodigestión para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago de café procedentes de desmucilaginado mecánico, con el objetivo de buscar alternativas de tratamiento diferentes a la mezcla de las mieles con la pulpa, dado que esta mezcla produce lixiviados con altas cargas orgánicas y compuestos de menor degradabilidad.

La investigación se realizó en la finca El Cañón - Vereda San Martín, Municipio El Águila - Valle del Cauca, para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago se utilizó un Biodigestor construido en plástico tubular de polietileno, con cajas en concreto, el cual tenía un volumen de 20 m³.

El biodigestor se inoculó con Yogurt, levadura, miel de purga y agua.

Los ensayos fueron realizados en el último día de la semana principal de cosecha.

El tiempo de retención de la mezcla agua - mucílago en el biodigestor fue de 10 días.

Para evaluar la eficiencia del biodigestor se tomaron muestras en la semana pico de cosecha a la entrada y salida y se monitorearon las siguientes variables DQO, DBO₅, SST y pH.

Los resultados de las variables fueron a la entrada del tratamiento fueron DQO de 70.400 mg O₂/L, DBO₅ 18.866 mg O₂/l, SST de 17.300 mg/L y pH 4 unidades, y a la salida del tratamiento DQO de 27.850 mg O₂/l, DBO₅ 11.590 mg O₂/l, SST de 840 mg/L y 4 unidades de pH.

Los porcentajes de eliminación de la contaminación en el biodigestor fueron 60,44 en términos de DQO, del 95,14% en términos de SST, del 38,56% en términos de la DBO₅ y el pH se mantiene en 4 unidades.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema de tratamiento no cumple con lo exigido en la normativa ambiental aún vigente (Decreto 1594 de 1984) en los parámetros de DQO, DBO₅ y pH, pero sí para el parámetro SST. Por lo tanto se recomienda aumentar el TRH en el biodigestor o utilizar un postratamiento que contribuya a alcanzar los valores de los parámetros exigidos en las normas ambientales hídricas vigentes.

La producción de biogás durante el día pico fue de 0,043 g/g DQO-d.

Palabras claves: Aguas residuales del café, contaminación hídrica, Becolsub, Biodigestor, Tratamiento de aguas residuales.

ABSTRACT

A treatment system for coffee mucilage and water mixture produced by mechanical mucilage extraction was evaluated to search for an alternate treatment to coffee-washing water and pulp mixture, since this mixture produces high organic charge lixiviates and less degradable compounds. The research for the mucilage and water mixture produced by mechanical mucilage extraction took place in El Cañón Finca in the San Martín Vereda, El Águila Municipality inside Valle del Cauca department. A Bio-digester was used, it was constructed with tube-shaped polyethylene and concrete boxes which volume is 20 cubic meters.

The bio-digester was inoculated with Yogurt, yeast, molasses and water.

The experiments were made within the last day of the main harvest week.

The retention time of the water-mucilage mixture inside the bio-digester was ten days.

To evaluate the efficiency of the bio-digester samples were taken in the peak week of the harvest input and output and the next variables were monitored: COD, BOD, TSS and pH.

The results of the variables at the treatment input were: COD of 70.400 mg O₂/L, BOD₅ of 18.866 mg O₂/l, TSS of 17.300 mg/L and four pH units, and at the treatment output they were: COD of 27.850 mg O₂/l, BOD₅ of 11.590 mg O₂/l, TSS of 840 mg/L and four pH units.

The contamination elimination was 60.44% in terms of COD, 95.14% in terms of TSS, 38.56% in terms of BOD₅ and the pH stays at four units.

The obtained results do not allow to conclude that the treatment systems does not comply with the requirements of the current environmental law (Decree number 1594 of 1984) in terms of COD, BOD₅ and pH, but it does for the SST parameter. Therefore a TRH increase in the bio-digester or performing a post-treatment is advised in order to reach the values of the required parameters by the current environmental hydric laws.

The biogas production during the peak day was 0.043 g/g COD-d.

Keywords: coffee wastewaters, hydric contamination, Belcosub, Biodigester, wastewater treatment.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del café en Colombia es de gran importancia en el ámbito económico, social y ambiental, debido a que es uno de los productos con mayor participación en las exportaciones agrícolas del país y genera empleos directos e indirectos a un porcentaje importante de personas (FEDERACAFÉ 2015).

Adicionalmente, las tecnologías y prácticas propuestas para el beneficio del café durante los últimos años han hecho de esta agroindustria, una actividad más amable con el entorno disminuyendo notablemente los niveles de contaminación del agua en sus zonas de influencia, lo cual le ha merecido el reconocimiento nacional e internacional, logrando reducir desde el 62% hasta el 100% en DBO₅ y para SST, teniendo como base el 100% 3,59 mg O₂/L DBO₅ y 3,5 SST mg/L, Zambrano, 1997.

El beneficio de café es el proceso mediante el cual los frutos en estado óptimo de cosecha (maduros) son transformados en café pergamino seco. Se pueden distinguir dos tipos de beneficio, el llamado beneficio por vía seca realizado principalmente en Brasil y el beneficio por vía húmeda realizado en Colombia y otros países el cual en asocio con otros requerimientos, permite obtener los denominados cafés suaves lavados. Hasta hace algunos años para llevar a cabo el beneficio del café por vía húmeda sólo se disponía del beneficio tradicional, el cual requiere de altos volúmenes de agua generalmente sin manejo adecuado de la mezcla agua-mucílago generando altos niveles de contaminación. Por lo anterior, el Centro Nacional de Investigaciones de Café “CENICAFÉ”, a través de su disciplina de Ingeniería Agrícola desarrolló y propuso a partir de 1995, un nuevo sistema para el proceso del café, más amable con el medio ambiente, basado en la disminución drástica en el consumo específico de agua (menos de 1,0 l/kg de café pergamino seco) y el manejo de subproductos denominado “BECOLSUB”, el cual tiene como uno de los componentes innovadores, el desprendimiento y lavado del mucílago del café de forma rápida por medios

mecánicos con mínimo consumo de agua, a diferencia del desprendimiento del mucílago por fermentación natural realizado durante el beneficio tradicional, Roa *et al.* (1999).

El beneficio tradicional permite obtener café de excelente calidad, siempre y cuando la materia prima cumpla con las recomendaciones dadas por Puerta (2001) y el proceso se efectúe en forma correcta. Sin embargo, Roa *et al.* (1999) consideran que dicho beneficio se caracteriza por un alto consumo de agua, alrededor de 40 litros (l) por kilogramo de café pergamino seco (c.p.s), y su potencial contaminante en términos de demanda química de oxígeno (DQO) es de 115,1 g de DQO/kg de c.c (café cereza) considerado elevado tal como lo reportan Zambrano e Isaza (1998).

En la tecnología BECOLSUB, se realiza el despulpado sin agua, se retira el mucílago, se lavan y limpian los granos con un consumo específico de agua inferior a 1,0 l/kg de c.p.s, utilizando un equipo denominado DESLIM (DESmucilagador, Lavador y LIMpiador). En esta tecnología la mezcla agua-mucílago (compuestas de restos de pulpa y grano, mucílago y agua adicionada) se mezclan con la pulpa, utilizando un tornillo sinfín, logrando retener hasta el 70% del líquido efluente y controlando así más del 90% de la contaminación potencial (Oliveros *et al.* 1995). La pulpa mezclada con la miel es utilizada para alimentar a la lombriz roja californiana, obteniendo abono orgánico que puede ser empleado en la fertilización de los almácigos de café y en otros cultivos sembrados en asocio con el café, Roa *et al.* (1999). Si este proceso de beneficio se realiza correctamente y la materia prima es de excelente calidad, es posible obtener café de alta calidad física y en taza, igual a la obtenida en el proceso tradicional (Roa *et al.* 1999 y Puerta, 1995).

La tecnología Becolsub (beneficio ecológico del café y el manejo de subproductos) mezcla la pulpa y las mezcla agua-mucílago, generando lixiviados en su proceso de descomposición altamente contaminante de 110.000ppm (Zambrano y Cardenas. 2000), en los cuales se recomienda la recirculación.

Las grandes producciones de café presentan dificultad en el manejo de los lixiviados de los

subproductos por generarse un volumen considerable que no se logra reincorporar el cien por ciento en el compostaje, en el proceso de recirculación, generando contaminación a las fuentes de agua y suelo.

Por lo anterior nace la necesidad de generar opciones para disminuir el volumen de lixiviados generados en el proceso de descomposición con beneficios propios notables para la cultura del caficultor mediano y grande, manejando la mezcla agua-mucílago por separado que permita descontaminar mínimo el 80% si es vertimiento al suelo y producir energía a base de subproductos productivos, para darles nuevo valor, y así contribuir en la conservación de la madre tierra y la sostenibilidad ambiental y económica para los grandes caficultores.

En el presente trabajo, se evaluará el funcionamiento de un biodigestor con solo con mezcla agua-mucílago de café procedentes de desmucilaginado mecánico, teniendo en cuenta la producción de biogás y algunos parámetros, como lo son, el Potencial de Hidrógeno (pH), y las remociones en el Biol a la salida del Biodigestor en Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Los resultados obtenidos serán transmitidos inicialmente al Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, para que se realice la extensión a las caficultoras y caficultores de la viabilidad de la implementación del biodigestor como tratamiento de la mezcla agua-mucílago procedentes de desmucilaginado mecánico.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Al utilizar la tecnología BECOLSUB, se realiza el despulpado sin agua, se retira el mucílago, se lavan y limpian los granos con un consumo específico inferior a 1 litro de agua por kilogramo de café pergamino seco.

En esta tecnología también se mezclan los subproductos (pulpa y mezcla agua-mucílago) generando lixiviados en su proceso de descomposición (compostaje) altamente contaminantes de 110.000ppm (Zambrano y Cárdenas 2000).

De acuerdo con Roa *et al.* (1999), reportan una retención del 70%, en el tornillo sinfín mezclador del Becolsub, en la mezcla de la pulpa y el mucílago, generando una lixiviación del 30% adicional a la natural del proceso del compostaje de estos subproductos.

En las grandes producciones de café se presenta dificultad en el manejo de los lixiviados de los subproductos por recirculación, por lo altos volúmenes que se terminan lixivando por fuera del área de compostaje, los cuales contaminan los recursos suelo y agua, adicionalmente en algunos predios cafeteros realizan un vertimiento directo al suelo y/o a la fuente hídrica de la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico interrumpiendo la mezcla con la pulpa para evitar los lixiviados de color negro que se generan cuando se mezclan ambos subproductos.

La recirculación de los lixiviados se puede realizar por medio de bombeo o manualmente, esta última es aún más compleja considerando la dificultad de mano de obra el época de cosecha y que es cuando se generan mayores volúmenes de los mismos.

Lo anterior genera una problemática ambiental en relación a:

Contaminación de las fuentes de agua

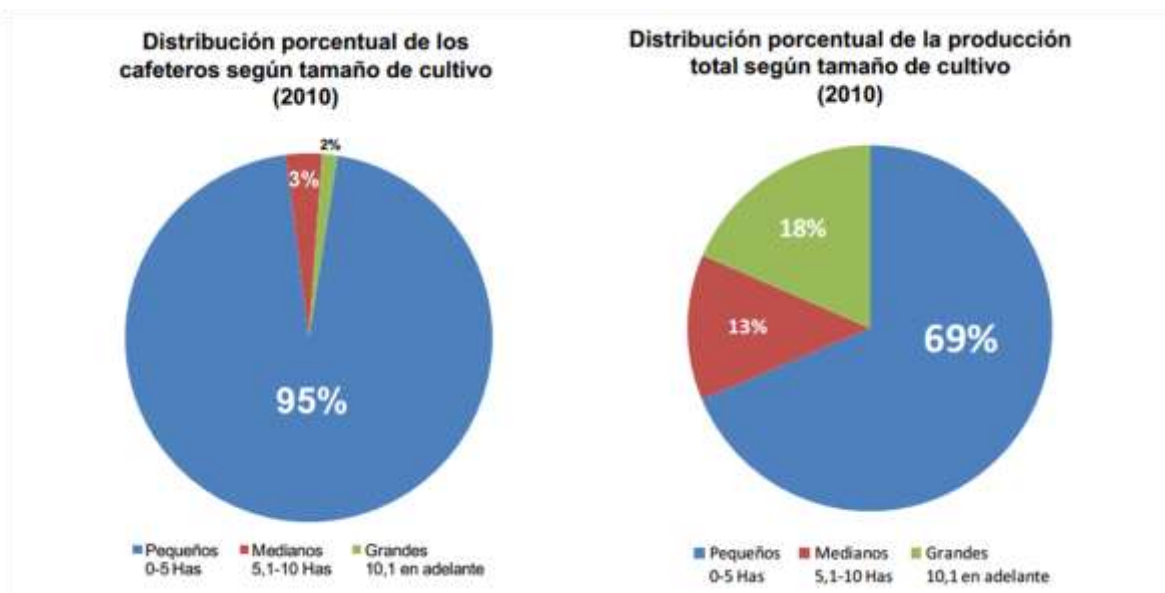
Contaminación del suelo

Esta contaminación por lixiviados afecta a productores y productoras de café, comunidades rurales ubicadas “aguas abajo”, microfauna del agua y suelo y medio ambiente en general.

Al despulpar en seco y dar un buen compostaje a la pulpa se controla la contaminación de este subproducto, pero la mezcla agua-mucílago del café obtenidas de la remoción mecánica tiene pocas opciones de manejo dado que la tecnología actual para la remoción de contaminación de estas aguas; tiene un alto costo económico, difícil manejo y no le generan un beneficio propio al caficultor, si la recirculación es manual, en cosecha y graneos debe pagar mano de obra al día para que realicen la labor de recirculación y volteo de la pulpa para que los lixiviados queden bien mezclados, igualmente si la recirculación es con bomba pero con la diferencia del costo de la bomba, mantenimientos, depreciación vida útil y los costo de consumo de energía eléctrica.

En Colombia el 5% de los cafeteros tienen más de 5 has. sembradas en café y responden por el 31% de la producción nacional (ver figura 1)

Figura 1. Distribución porcentual cafeteros y caficultura



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros 2014

Los productores(a) grandes y medianos en su mayoría, el retiro del mucílago (miel) lo realizan mediante la remoción mecánica (desmucilagador), el compostaje de los subproductos se realiza en una fosa (compostera) generando altos volúmenes de lixiviados .

Cuando los volúmenes de lixiviados son significativos y en especial en época de cosecha, no se alcanza a realizar la recirculación de los lixiviados, llegando así a contaminar suelos y aguas.

En el departamento del Valle la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en el 2007 reporta para su Plan Acción Trienal (PAT) el 14% de aporte de la contaminación al río Cauca como producto de la actividad cafetera (CVC 2007).

El Centro Nacional de Investigaciones de Café “CENICAFÉ” propuso un sistema llamado *manejo y tratamiento primario de lixiviados producidos en la tecnología Becolsub*, en el cual se dirigen los lixiviados a lechos filtrantes generando una reducción de contaminación del 67% (Zambrano y Cárdenas 2000).

Lo que busca la presente investigación es proporcionar una solución del manejando la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilagado mecánico por separado de la pulpa, y que estas presenten un beneficio propio para la finca y no solo aguas abajo. Dado que la carga orgánica de los lixiviados demora más tiempo para convertirse en biogás que la del mucílago dada que la concentración de los lixiviados son mayores que las del mucílago.

Lo anterior crea la necesidad de generar una nueva opción para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilagado mecánico, acorde con el nivel económico del mediano y grande productor que le genere beneficios propios (gas, abono líquido y certificado ambiental) y a la vez le sirva de planta de tratamiento de la mezcla agua-mucílago acordes y atractivas a la

economía del caficultor, lo anterior generaría una producción más limpia, sostenible, con sustitución de energía y reducción de la carga contaminante.

Dar a conocer al comité de cafeteros de valle, y por medio de ellos a todos los caficultores una nueva opción atractiva para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago con beneficios propios que ameriten la inversión, recomendado el biodigestor como tratamiento de la mezcla agua-mucílago.

2. JUSTIFICACIÓN

Con el trascurso del tiempo se ha vuelto necesaria la aplicación tecnología con costo accesible y fácil aplicación, para la generación de energías alternativas que contribuyan al mejoramiento y conservación del medio ambiente. Así mismo se requiere la implementación de alternativas que permitan disminuir los impactos ambientales derivados de los procesos industriales, agropecuarios y domésticos que cada vez más están afectando un recurso de vital importancia como lo es el agua.

En el beneficio del café especialmente, en la aplicación de la tecnología Becolsub se genera un líquido denominado mezcla agua-mucílago, el cual en su mayoría es mezclado con la pulpa por medio de un tornillo sinfín, esta mezcla en su proceso de compostaje genera volúmenes considerables de lixiviados que no se alcanzan a recircular y terminan siendo arrojados al suelo y terminan en las quebradas contaminándolas, y convirtiendo el agua en no apta para el consumo humano y alterando las propiedades del suelo.

El tratamiento de la mezcla agua-mucílago del café procedentes del desmucilaginado mecánico necesita una nueva opción para obtener una producción limpia y ecoeficiente, con tecnologías asequibles que le generen beneficios al medio ambiente y al productor.

Desde un contexto social, económico y ambiental generar tecnologías al alcance del sector agrícola que minimicen los impactos ambientales y apunten a la sostenibilidad, es de gran importancia y necesidad.

El desarrollo económico de la mayoría de los sectores, en este caso el sector agrícola ha generado un desequilibrio tanto social y ambiental, dado que solo se ha enfocado en el producto de consumo y no se ha contemplado la aplicación obligatoria de un modelo que incluya los tres pilares de la sostenibilidad.

Con la aplicación de este proyecto se logrará utilizar un subproducto derivado del cultivo del café mejorando la calidad de vida y disminuyendo el impacto al medio natural y a la salud. Brindándole al caficultor una nueva opción para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago que le presenten beneficios propios acordes con su economía. Los beneficios obtenidos mediante este sistema son el gas, el biol y disminución o no cobro de tasa retributiva, la tasa retributiva se reglamenta por la utilización directa e indirecta de la fuente hídrica como receptor de los vertimientos puntuales, si se logra tener unas características positivas de las aguas a la salida del tratamiento, se aplicarían en reuso.

Esta investigación se realiza con el ánimo de contribuir al desarrollo sostenible propuesto por la Federación Nacional de Cafeteros en la que se incluye el desarrollo humano ligado con el desarrollo económico y respetando los recursos naturales, es importante el aporte de esta investigación para brindar una alternativa que disminuya la contaminación generada en la postcosecha del café en fincas de medianas y grandes producciones.

Lo novedoso de este proyecto es que después de obtener los resultados mediante los muestreos realizados y comparados con el decreto 1594 de 1984 sobre vertimientos y la resolución 631 de 2015, se puede hacer extensivo a todo el país. Dando a conocer que este sistema sirve de planta de tratamiento a un costo que puede asumir el caficultor.

La meta de este proyecto es contribuir mitigar la contaminación y nuestra contribución radica en aprovechar la mezcla agua-mucílago del café utilizando un sistema de bajo costo como el biodigestor para producir biogás y abono líquido.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Evaluar el desempeño de un biodigestor como opción para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico.

3.2. ESPECÍFICOS

- Realizar el tratamiento a la mezcla agua-mucílago del café procedentes del desmucilaginado mecánico sometiéndolas al proceso de biodigestión al interior de un biodigestor.
- Evaluar la producción del biogás en la finca el Cañon piloto.
- Cuantificar parámetros de contaminación mediante el análisis de pH y la toma de muestras de DQO, DBO₅ y SST.
- Comparar los resultados de pH, SST, DBO₅ y DQO con las normas ambientales vigentes.
- Comparar los resultados obtenidos con el tratamiento, con los obtenidos en diferentes investigaciones realizadas con mezcla agua-mucílago de fermentación natural.

4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

- La mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico sometidas al tratamiento cumplen con el decreto 1594 de 1984.
- La mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico sometidas al tratamiento no cumplen con la resolución 631 de 2015.
- En todas las épocas de cosecha hay gas metano suficiente para la combustión.

5. MARCO TEORICO

5.1 Generalidades del cultivo de café. El café es una la planta originaria de Abisinia, hoy República de Etiopía. Los árabes fueron los primeros en descubrir las virtudes y posibilidades económicas del café. El café llegó a Colombia a principios del siglo XVIII, pero se comercializa desde hace unos 170 años; existen varias versiones entorno a la llegada del café a Colombia. Para algunos las semillas o plantas entraron por el oriente a territorios de los departamentos de Norte de Santander y Santander, procedentes de Venezuela; para otros, el cafeto llegó por la región del Urabá Antioqueño, desde Centro América (FEDERACAFÉ, 2014).

5.2 Ubicación y clima. El café es una planta que pertenece a la familia de las rubiáceas, género *coffea*, las condiciones ideales para el cultivo se encuentran entre 1.200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas templadas que oscilen entre los 17°C y 23°C y con precipitaciones anuales entre 1.800 y 2.800 milímetros, con buena distribución en los diferentes meses del año. En Colombia se cultiva únicamente cafés arábigos representado por las variedades: Borbón, Caturra, Colombia (Figura 2), Castillo y Tabi, las cuales producen una bebida suave, de acidez y aroma pronunciados y amargo moderado, de mayor precio y aceptación en el mercado mundial, (FEDERACAFE 2015).

Figura 2. Árbol de café variedad Colombia en producción.

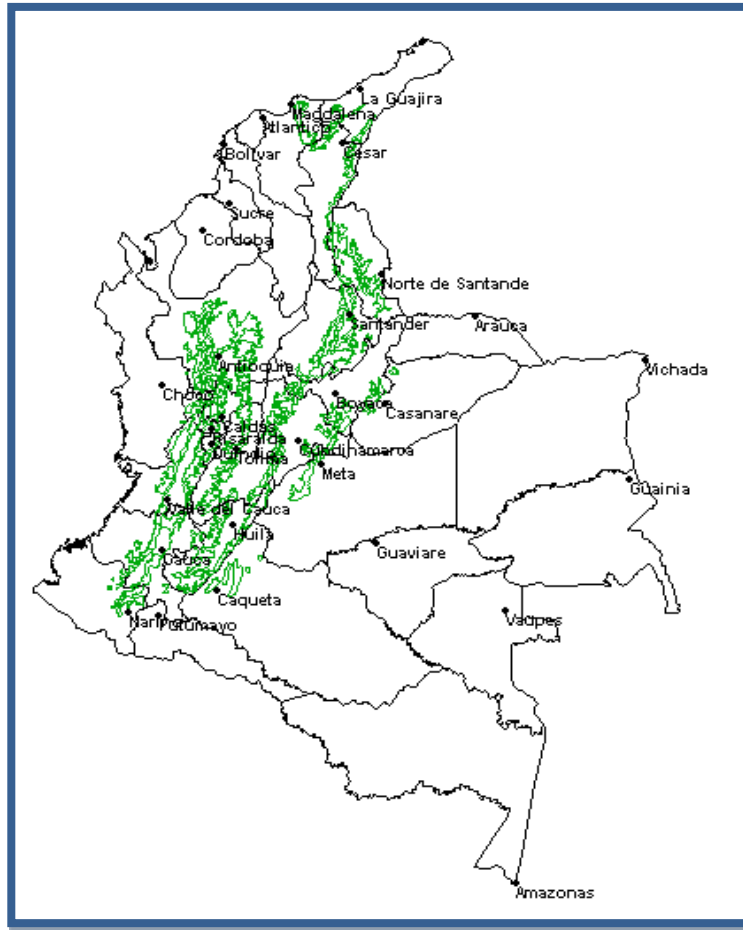


Fuente: Foto tomada por Humberto Araque (2008).

Las principales zonas cafeteras del país, como se pueden apreciar en la Figura 3, están distribuidas en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Caquetá, Cauca, Cesar, Casanare, Cundinamarca, La Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca (FEDERACAFÉ, 2015).

En Colombia se cosecha café durante todo el año; en la mayoría de las regiones cafeteras la producción se concentra en dos temporadas, según el régimen de lluvias, una con mayor volumen que se llama cosecha principal y una pequeña llamada traviesa o mitaca, que produce aproximadamente una tercera parte de la principal (FEDERACAFÉ, 2015).

Figura 3. Distribución de las zonas cultivadas de café en Colombia.

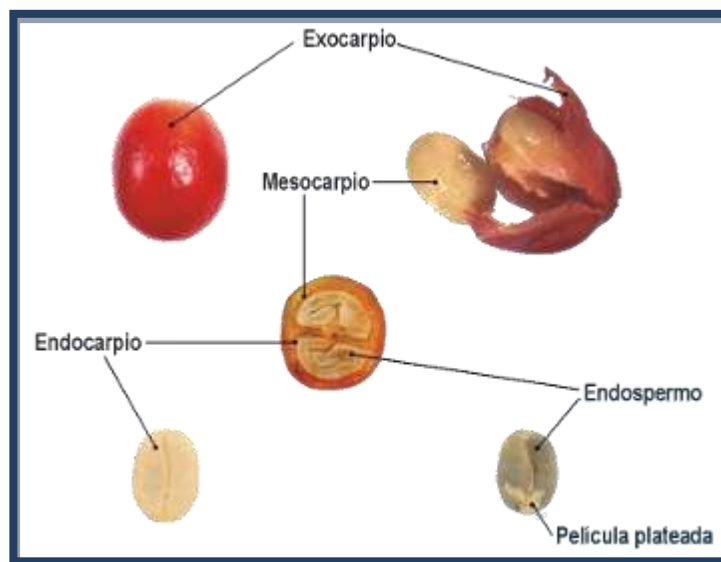


Fuente: FEDERACAFÉ (2014).

5.3 Composición del fruto del café. El fruto de café, como se muestra en la Figura 4, está compuesto por la pulpa, formada por el exocarpio (epidermis) y parte del mesocarpio; el color de esta varía de verde a amarillo y rojo, dependiendo de la variedad y el estado de maduración. Envuelto por la epidermis se encuentra el mucílago o mesocarpio que rodea los granos, es rico en azúcares y pectinas, el espesor de su capa gruesa de tejido esponjoso es de aproximadamente 0,5 mm (en la cara plana del grano) y 0,2mm (en la parte convexa). El pergamino (endocarpio) cubre el grano o almendra, es de consistencia dura y frágil y su color es amarillo pálido; bajo esta cubierta se

encuentra una capa que está adherida a la almendra, es de consistencia más fina que la anterior y es llamada película plateada, la cual cubre el embrión o germen, Roa *et al.* (1999).

Figura 4. Composición del fruto de café.



Fuente: Mejía (2006).

5.4 Beneficio del café. Es el proceso mediante el cual se transforma el café cereza en café pergamino seco, separando las partes del fruto y disminuyendo la humedad del grano para conservarlo bajo las condiciones seguras de almacenamiento.

5.4.1 Tipos de beneficio

Los tipos de beneficiaderos se clasifican en:

Beneficio tradicional. El beneficio tradicional del café se caracteriza por alto consumo de agua y poco o ningún aprovechamiento de los subproductos, principalmente de la pulpa, lo que genera altos niveles de contaminación. En este sistema el café maduro con frecuencia es transportado y clasificado con agua antes de su llegada a la máquina despulpadora, agua para retirar el mucílago, el café despulpado es sometido al proceso de fermentación natural descrito anteriormente. Una vez

finaliza el proceso de fermentación que tiene una duración de 12 a 18 horas según sean las condiciones de temperatura de la región, en esta etapa ocurren múltiples reacciones bioquímicas con la presencia de bacterias, levaduras y enzimas que transforman los compuestos pécticos y azúcares constituyentes del mucílago en alcoholes y ácidos, que luego se retiran con el lavado en tanques mediante tres o cuatro enjuagues con agua limpia. según Roa *et al.* (1999), las labores anteriormente mencionadas generan consumos alrededor de 40 L/kg de c.p.s. El proceso finaliza cuando el café lavado es llevado al secado ya sea al sol o mecánicamente, En este sistema de beneficio las aguas de lavado son arrojadas generalmente a las fuentes de agua, generando una contaminación de 115,1 g de DQO/kg de c.c (Zambrano e Isaza 1998).

La pulpa y el mucílago contenidos en un kilogramo de café cereza pueden consumir todo el oxígeno presente en 7,4 m³ de agua pura, propiciando su rápida putrefacción en 24 horas, Roa *et al.* (1999).

Roa *et al.* (1999), anotan que producto de esta contaminación se tienen las siguientes consecuencias:

- Muerte de los animales acuáticos y de las plantas por la falta de oxígeno y por la alta acidez del agua.
- Proliferación de malos olores, atracción de insectos y deterioro del paisaje.
- El agua se convierte en no potable.
- El agua no se puede reutilizar para uso industrial y tampoco en otros beneficiaderos de café.

Beneficio con lavado en tanque tina. En este sistema el café maduro es transportado hasta la máquina despulpadora por medio de la gravedad sin necesidad de agua, al igual que en el sistema de beneficio tradicional el desprendimiento del mucílago del café despulpado se efectúa a través de fermentación natural, luego por medio de cuatro enjuagues el café es lavado en tanques tipo tina (Figura 5). De acuerdo con Zambrano (1993), estos son tanques convencionales a los cuales se les han modificado las esquinas redondeando sus ángulos, para facilitar la operación de lavado y disminuir el consumo específico de agua durante esta etapa ya que solo se requiere de 4,17 L/ kg de

c.p.s Zambrano (1994). Para este sistema de beneficio el consumo de agua disminuye al igual que la contaminación, para Zambrano *et al.* (1998), la contaminación generada durante este proceso es de 30,27 gramos de DQO/kg de c.c, y representa el 26,3% de la contaminación potencial generada por el beneficio húmedo del café, el 73,7% restante se atribuye al manejo hidráulico de la pulpa, la cual en este caso es almacenada en fosas para su posterior aprovechamiento como abonos orgánico.

Figura 5. Beneficio en tanque tina.



Fuente: CENICAFE (2007).

Beneficio ecológico. La tecnología del beneficio ecológico del café y manejo de subproductos (BECOLSUB) tiene como principio “utilizar un mínimo de agua solamente en aquellos procesos donde sea estrictamente necesaria”. Este tipo de beneficio comprende el despulpado sin agua, se retira el mucílago mecánicamente, se lavan y limpian los granos con un consumo específico de agua inferior a 1,0 L/kg de c.p.s, utilizando el equipo DESLIM. En esta tecnología la mezcla agua-mucílago (compuestas de restos de pulpa y grano, mucílago y agua adicionada) se mezcla con la pulpa (Figura 6), utilizando un tornillo sinfín, reteniendo hasta el 70% del líquido efluente y controlando más del 90% de la contaminación potencial (Oliveros *et al.* 1995). La pulpa mezclada

con la miel es utilizada como compostaje y alimento para la lombriz roja californiana, obteniendo abono orgánico que puede ser empleado en la fertilización de los almácigos de café y otros cultivos asociados a este, Roa *et al.* (1999)., en la figura 7 se puede observar un módulo BECOLSUB, con capacidad para procesar 300 kg de c.c/h.

Figura 6. Tornillo sinfín transportador y mezclador de subproductos.



Figura 7. Módulo BECOLSUB 300.



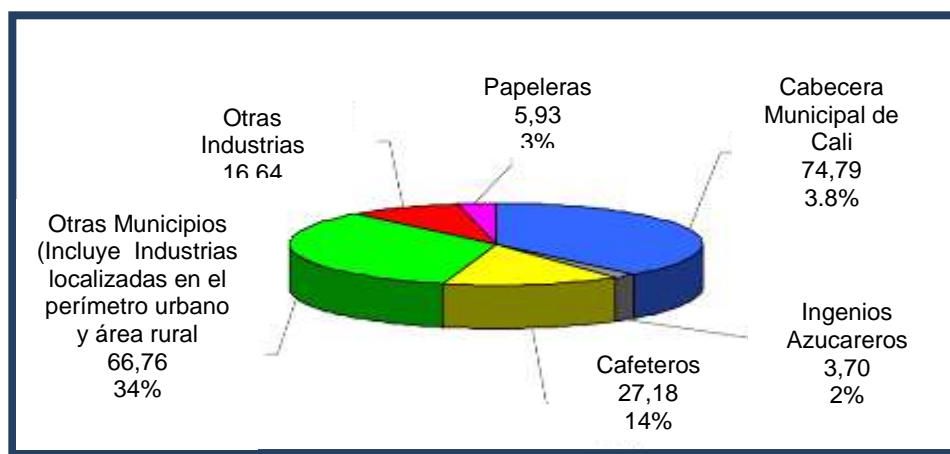
Fuente: CENICAFE (2014).

5.5 Contaminación. El río Cauca y sus afluentes correspondientes al Departamento del Valle del Cauca presenta una alta contaminación por las diversas actividades productivas que se realizan en la región, generando una presión negativa con respecto a la disponibilidad de oxígeno disuelto en sus aguas, deteriorando de esta manera su calidad y afectando de manera dramática la biodiversidad del río y la calidad de vida de la población, cuyos acueductos se abastecen del mismo (CVC, 2007).

Teniendo en cuenta lo anterior y la magnitud de este problema, se han tomado medidas de control sobre los vertimientos directos a las fuentes de agua como lo es el cobro de la tasa retributiva, la cual obliga a los caficultores a pagar por kilogramo de carga contaminante, incrementando sus egresos.

Según los reportes de la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) de acuerdo a los puntos de muestreo, el sector cafetero en el año 2005 aportó una carga de 27,18 Ton., de DBO₅ por día y 12,44 Ton., de Sólidos Suspendidos Totales por día lo anterior corresponde al 14% y 9% respectivamente de la carga contaminante total aportada por todos los sectores gremiales y municipios como se observa en la figura 8.

Figura 8. Distribución porcentual de aportes de carga orgánica (medida como DBO₅) al Río Cauca para el año 2005.



Fuente: PAT CVC 2007-2009.

La actividad más contaminante que se realiza en las fincas cafeteras y la que más aporta a la carga contaminante del Río Cauca es el beneficio del café.

5.6 Manejo y tratamiento de lixiviados producidos en la tecnología Becolsub. Este sistema que ha tenido acogida en algunas fincas cafeteras del país cuando buscan la solución a los volúmenes de lixiviados y han sido visitados por las corporaciones autónomas.

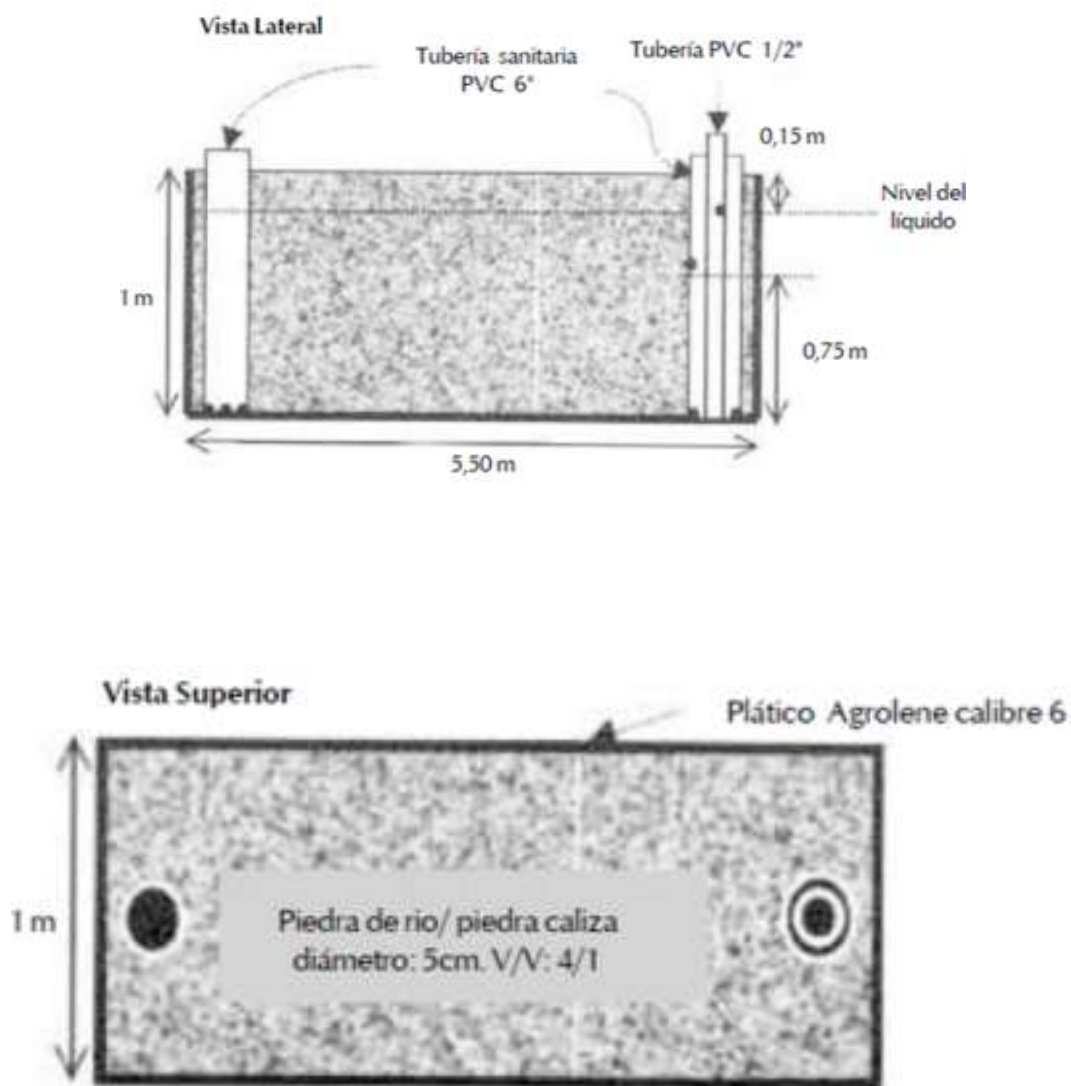
De acuerdo con Zambrano y Cárdenas 2000, este sistema tiene los siguientes componentes con el fin de separar las fases (figura 9):

Control de insolubles. Desagües y válvulas para el control de la salida de fluidos.

Lecho de secado. Descarga de lodo proveniente de la unidad de control de insolubles.

Filtro de preacidificación. Establecen la salida de lixiviados acidificados

Figura 9. Esquema filtro de preacidificación del manejo y tratamiento de lixiviados producidos en la tecnología Becolsub.



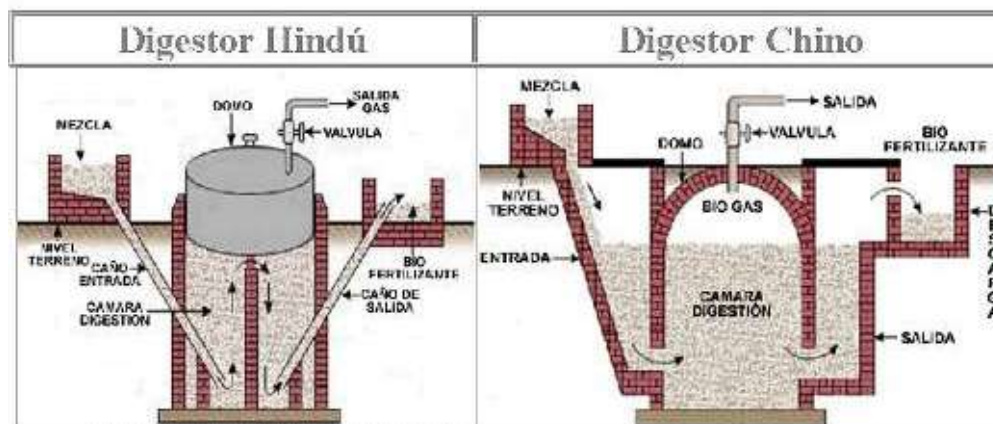
Fuente: Zambrano y Cárdenas 2000.

En términos de contaminación este sistema redujo el 67,04% de la DQO.

5.7 Biodigestores. Al igual que en Europa nació un fuerte interés por la tecnología del biogás a finales de los años 70, alimentado por las informaciones sobre el auge de esta tecnología en China e India, Conil 1996.

Se difundió la tecnología de los biodigestores en las fincas, copiando inicialmente los modelos chinos (cúpula fija, presión variable) e indios (campana flotante, presión estable). Ver figura 10.

Figura 10. Digestor Hindú y digestor Chino



Fuente: <http://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios/>

Un biodigestor tiene un comportamiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno, se obtiene de este proceso, en su mayoría gas metano, seguido el bióxido de carbono, el efluente puede ser usado como abono y presenta las siguientes ventajas:

- Obtención de energía que puede ser empleada en la cocción de alimentos, calefacción de cerdos pequeños o reemplazo de combustible en el funcionamiento de motores.
- Protección de medio ambiente por reducción de la carga contaminante de los residuos.
- Producción de excelente abono, debido a que los nutrientes presentes en los residuos no se

afectan.

- ➔ Manejo sencillo y no requieren mantenimiento sofisticado, Sanut 2015.

En el proceso de la biodigestión se considera que la digestión anaeróbica se lleva a cabo en tres etapas el cual está formado por: Hidrólisis, formación de ácidos y formación de metano, de acuerdo al Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria CIPAV 2002, que se resumen a continuación:

Hidrólisis. Durante esta etapa los compuestos orgánicos complejos tales como grasas, proteínas, carbohidratos, celulosa, etc., son desdoblados gracias a la acción de enzimas extracelulares producidas por bacterias hidrolíticas. Como fruto de esta acción enzimática se producen aminoácidos azúcares simples y ácidos grasos de cadena larga. La velocidad de estas reacciones depende del tipo de material, la concentración bacteriana y factores ambientales como el pH y la temperatura.

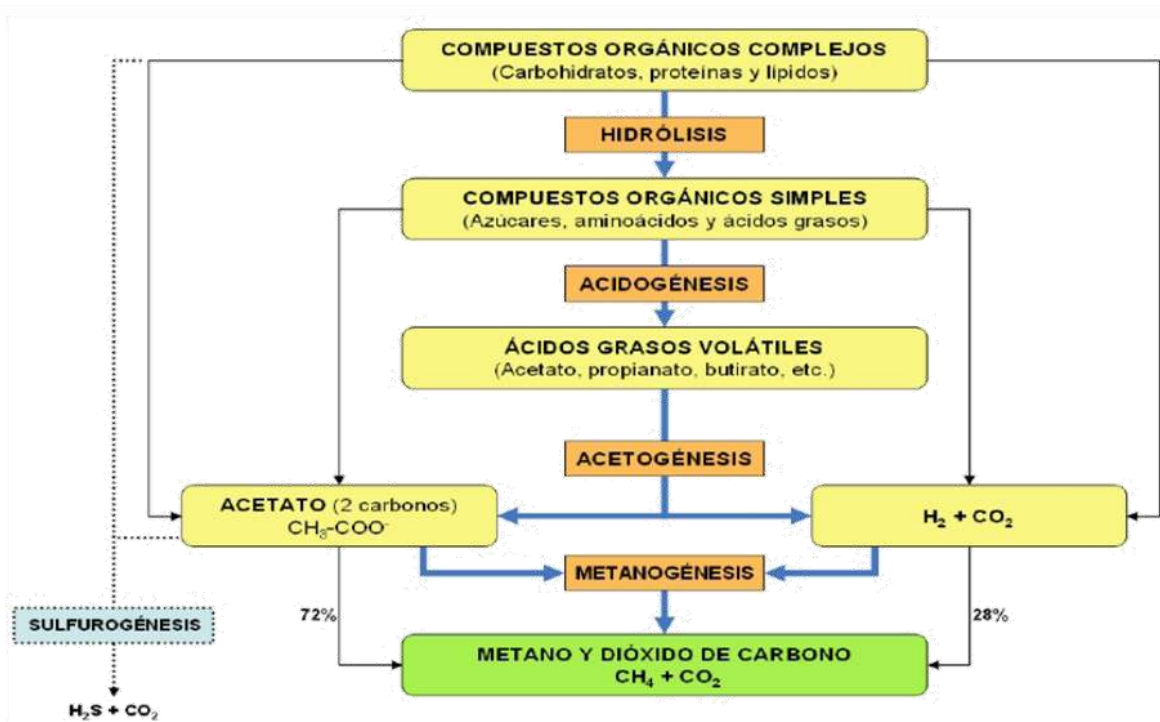
Formación de ácidos. Los compuestos simples generados en el paso anterior son usados como sustrato por bacterias productoras de ácido o acidogénicas en la segunda etapa del proceso. Como fruto de la actividad de estas bacterias productoras de ácido o acidogénicas en la segunda etapa del proceso. Como fruto de la actividad de estas bacterias se genera ácido acético y H_2/CO_2 . Igualmente se producen otros ácidos grasos volátiles tales como el propiónico y el láctico, fruto del metabolismo bacteriano de proteínas, grasas y carbohidratos.

Formación de ácido acético. En esta etapa, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Formación de metano. En esta etapa se produce metano (CH_4) y otros productos finales gracias a la acción de bacterias metanogénicas que son anaerobias obligadas y que poseen tasas de crecimiento inferiores a las bacterias hidrolíticas y acidogénicas. Las bacterias metanogénicas utilizan ácido acético, metanol o dióxido de carbono e hidrógeno para producir gas metano, pero el ácido acético es el sustrato más importante, responsable de la producción de aproximadamente el 70% de este gas. Este es un proceso lento y constituye la etapa limitante del proceso de degradación anaeróbica.

5.7.1. Metanogénesis. Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas. Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenófilas). En la Figura 11 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaerobia, así como los productos intermedios generados.

Figura 11. Esquema de reacciones de digestión anaerobia.



Fuente: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>

El metano no es el único gas que se produce en la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias, se trata de una mezcla de gases conocida como biogás. Está compuesto por un 60% de metano (CH₄), un 38% de dióxido de carbono (CO₂) aproximadamente y trazas de otros gases (Tabla 1). La composición o riqueza del biogás depende del sustrato digerido y del funcionamiento del proceso.

Tabla 1. Composición del biogás

Compuesto	Concentración
Metano (CH ₄) (%)	50 - 70
Dióxido de Carbono (CO ₂) (%)	30 - 50
Hidrogeno (H ₂) (%)	1- 10
Nitrógeno (N ₂) (%)	< 3
Oxígeno (O ₂) (%)	< 0.1
Ácido Sulfhídrico (H ₂ S) (ppm)	0 – 8000

Fuente: Agro Wase 2015

Para que pueda desarrollarse el proceso se debe mantener unas condiciones ambientales y operacionales adecuadas, para ello se controlan diversos parámetros ambientales: pH y alcalinidad: el pH debe mantenerse próximo a la neutralidad, pudiendo tener fluctuaciones entre 6,5 y 7,5. Su valor en el digestor no solo determina la producción de biogás sino también su composición.

El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimento de las bacterias formadoras de metano. Por tanto, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) tiene una gran importancia para el proceso fermentativo recomendándose un ratio 20-30 como el óptimo. Agro Wase 2015

Una de las ventajas inherentes al proceso de digestión anaerobia es su baja necesidad de nutrientes como consecuencia de su pequeña velocidad de crecimiento.

A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura de operación en el digestor, está considerada uno de los principales parámetros de diseño, ya que variaciones bruscas de temperatura en el mismo, pueden provocar desestabilización en el proceso.

Se distinguen dos rangos fundamentalmente, el rango mesófilo (entre 25 y 45°C) y termófilo (entre

45 y 65°C). El rango mesófilo es el más utilizado a pesar de que cada vez más se está utilizando también el termófilo para conseguir una mayor velocidad del proceso y una mejor eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el rango termófilo suele ser más inestable a cualquier cambio en las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la sensibilidad a algunos compuestos, como el amoníaco.

El tiempo de Retención Hidráulico (TRH), es el cociente entre el volumen del digestor y el caudal de alimentación, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado. Otro factor a tener en cuenta es la carga Orgánica Volumétrica (COV), que es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el digestor, expresada normalmente en sólidos volátiles, por unidad de volumen y tiempo.

Ventajas:

- El biogás, con un alto poder calorífico, puede ser utilizado en la propia instalación para generación de electricidad y/o calor (co-generación); con el consiguiente beneficio económico.

- El biogás es un biocombustible (energía renovable):
 - Cumplimiento de los objetivos del protocolo de Kyoto, objetivos europeos de producción de energía renovable
 - Posibilidad de subvenciones a innovación y demostración en aplicaciones concretas.
 - Posibilidad de subvenciones e incentivos para la inversión en instalaciones de biometanización

- La materia orgánica resultante final (digerido) está bastante estabilizada.
- Los digestores trabajan dentro de un rango de humedad que se acerca al de la mayoría de materiales orgánicos aptos para su biodegradación.
- Se puede trabajar conjuntamente con varios subproductos.
- Reducción de la cantidad de subproductos a gestionar.
- Reduce los problemas de olores.
- Sistemas conocidos, simples y fáciles de gestionar.
- Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Reducción de la emisión de metano evitando el deterioro de la capa de ozono.

Desventajas

- Difícil mantener la estabilidad del proceso.
- Es muy sensible a tóxicos inhibidores.
- La puesta a punto del sistema requiere largos periodos.
- En muchos casos, se requiere grandes capacidades de tratamiento para un mejor control del proceso y su buen funcionamiento. El volumen del digestor puede ser grande.
- Requiere de una inversión inicial elevada en obra civil e implantación de los equipos.

5.8 Control de contaminación de las aguas mieles del café a partir de la obtención de gas y bioabono por medio de biodigestores.

De acuerdo a la investigación realizada por Lugo *et al.* (2009) en las aguas a la salida del biodigestor en el día pico de cosecha de café, día de menor retención, en una finca de 269@ de c.p.s año y un biodigestor de 2,5 metros cúbicos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultados investigación Lugo *et al.* (2009)

Parámetro	Efluente Final
Potencial de hidrógeno (unidades)	7,03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	280
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	600
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	225

En un cuadro comparativo respecto a la normatividad decreto 1594 de 1984, nos presentan:

Tabla 3. Resultados investigación Lugo *et al.* (2009) comparados con el decreto 1594 de 1984.

PARAMETRO	NORMA	REMOCION %
DBO ₅	80%	99,58
SST	80%	99,3

Las pruebas se llevaron a cabo en el municipio de Sevilla, Valle del Cauca, con una altitud de 1.750m y una temperatura promedio de 18°C.

5.9 Manejo biológico integrado de la pulpa de café y aguas mieles en el panacam.

Se inocularon 3 tratamientos con diferentes microorganismos con el objetivo de evaluar su eficiencia en términos de acelerar la descomposición de la pulpa de café y aguas mieles disminuyendo tiempos, volúmenes y costos para productores (Perdomo *et al.*, 2008).

En el **primer tratamiento** se utilizaron Microorganismos Eficientes (EM), melaza y agua, se fermentaron por 10 días y se esparció el EM Activado (EMA) sobre la pulpa de café. Después de la inoculación, se cubrió la pulpa de café con un plástico negro y se volteo cada 3 días, aplicando en cada volteo el EMA.

En el **segundo tratamiento** se mezclan diferentes productos comerciales: Yogurt natural, suero, melaza, levadura de pan, agua de arroz, tierra virgen y agua. Se mezclaron y dejó reposar por setenta y dos horas y se coló. Luego se realizó exactamente el mismo proceso de aplicación a cada repetición como en el caso del EMA.

El **tercer tratamiento** se mezclan productos locales: maíz en su punto de madurez fisiológica molido y fermentado por 48 horas con maíz seco fermentado, utilizando el mismo proceso para hacer chicha (fermentación con agua y dulce de panela durante 6 días) más jugo de caña fermentado por 72 horas más suero crudo de leche sin fermentar, agua de arroz, tierra virgen y agua; se dejaron reposar por 5 días y posteriormente se coló usando una manta y se aplicó el mismo proceso de los tratamientos 1 y 2.

Se utilizó un **entrada tratamiento**, bajo las mismas condiciones en cantidad y calidad de pulpa, solo se le aplicaba una cantidad de agua similar al volumen total de la mezcla de cada uno de los tratamientos y cada tres días se volteó para dar la aireación similar a los tratamientos e igualmente se cubrió con plástico de color negro.

Como resultado se obtuvo que los 3 tratamientos presentaron un comportamiento que responde satisfactoriamente con el objetivo de encontrar alternativas que permitan la descomposición de la pulpa de café con microorganismos. Sin embargo y en términos de tiempo, el tratamiento 1 donde se utilizó EM, presentó mejores resultados, alcanzando en un lapso de 30 días un 83% de descomposición.

El resultado de los otros dos tratamientos fue aceptable, llegando a un nivel de descomposición con el tratamiento 2 en un 60%, y el tratamiento 3 de productos fermentados locales se ubicó en un segundo lugar con un 65% de descomposición de la pulpa, en comparación del entrada tratamiento que la descomposición estimada fue de un 40%. En la Figura 12. Se observa el resultado de descomposición de pulpa de café en un período de treinta días.

Figura 12. Grafica descomposición de pulpa de café en un período de treinta días.



Fuente: Perdomo *et al*, (2008)

El primer y segundo lavado del café (las aguas mieles) posterior a la fermentación natural fueron dirigidos por (Perdomo *et al*, 2008), a un biodigestor de bolsa polietileno tipo Taiwan (salchicha)

“Se logró comprobar que los biodigestores no tiene buen funcionamiento con estas aguas y el proceso de producción de gas se prolonga por un tiempo muy superior al tiempo que se tarda el inicio de producción de gas usando otras fuentes como estiércoles de cerdo o ganado bovino”. (Perdomo *et al*, 2008)

Considerando la dificultad del tratamiento de aguas mieles se construyó una pila de almacenamiento, con dos depósitos con capacidad de 1 m³ cada uno, para reposar las aguas mieles por un período de 48 horas, previo al ingreso al biodigestor. Las pilas con dos depósitos fue debido a que el productor lava café todos los días y así se facilita alternar diariamente y reposar las aguas por 48 horas. Este tiempo de reposo y exposición al sol permitió el inicio de la fermentación y con ello la degradación paulatina de los taninos y cafeína.

Además, se utilizó fuentes adicionales de estiércol de cerdo, vacas o heces humanas, para inocular bacterias anaeróbicas necesarias para acelerar el proceso de producción de gas dentro del

biodigestor.

Concluyen (Perdomo *et al*, 2008), que es necesario continuar trabajando con diseños de capacidad de biodigestores que permitan los tiempos de retención necesarios para reducir la contaminación hasta niveles permisibles, así como tratamientos complementarios para los afluentes de los biodigestores.

5.10 Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café

Balsea y Cabrera (2011), evaluaron el potencial de producción de biogás a partir de estiércol de ganado, pulpa de café, aguas mieles y agua utilizando biodigestores tipo batch que son sistemas anaeróbicos discontinuos. Se utilizaron tres combinaciones de los sustratos en mención de la tabla 4 y con cuatro repeticiones.

Tabla 4. Porcentaje de sustratos y cantidad de experimentos por tratamiento

TRATAMIENTO	PULPA DE CAFÉ (%)	AGUAS MIELES (%)	AGUA (%)	ESTIERCOL (%)
T1	40	20		40
T2	40		20	40
T3			30	70

Se midió la temperatura a los sustratos, se regulo pH de los biodigestores con un termómetro electrónico de temperatura de superficies. Posteriormente se tomó una muestra de los tratamientos para analizarlas al principio y al final del experimento. Se determinó la eficiencia del uso de aguas mieles de café para la producción de biogás en términos de cantidad de sustrato vs. biogás producido.

Concluyen los autores que no se descarta el uso de estos subproductos como el biol y estiércol como

f fuente energética y aprovechamiento de las materias primas en la actividad cafetalera, ya que de realizar un manejo adecuado (regulación de los parámetros en forma diaria), puede constituirse en una actividad rentable que ayuda a disminuir los costos de energía que tienen los caficultores mientras aprovechan sus desechos orgánicos y que la producción de Biol generada por las aguas mieles y pulpa de café se las puede utilizar como bio-fertilizante en las fincas cafetaleras, esto da un resultado económicamente importante pues reduce la compra y consumo de productos químicos hechos con petróleo, además esto reduce los costos de producción. Hoy en día el mercado de insumos alimenticios está teniendo una tendencia hacia lo orgánico y natural.

5.11 Tratamiento de aguas residuales del lavado del café (CENICAFÉ, Boletín No20 y No29)

Cenicafé desde el año 1984 ha realizado investigaciones relacionadas con el tratamiento anaerobio de las aguas residuales generadas durante el proceso de beneficio húmedo del café, en aras de encontrar una solución económica y eficiente para descontaminarlas. En el año de 1999 en el boletín No20 Cenicafé da a conocer el tratamiento de aguas residuales del lavado de café mediante un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA), en el cual las fases del sistema inicia en un Reactor Hidrolítico Acidogénico, realizado en una bolsa de plastilona tipo biodigestor salchicha donde se realizaba la parte hidrolítica y acidogénica (Ver Figura 13), que permite almacenar las aguas residuales del lavado del café que se producen de forma discontinua durante el periodo de cosecha, también se generan una serie de reacciones bioquímicas que conducen a la hidrolisis de compuestos de alto peso molecular, tales como la pectina y la propectina y a su vez, acidificar los compuestos que han sido hidrolizados o que se encuentran en forma soluble como los azúcares, que hacen parte de la composición química del mucilago (Tomado del Boletín No. 20 Zambrano et al, 1999). Posteriormente pasa a una recámara dosificadora la cual dosifica en flujo ascendente al reactor metanogénico y finalmente de allí el efluente. Zambrano *et al*, 1999, reportan valores a la

entrada del sistema, es decir de las aguas resultantes del lavado del café, una concentración cercana en DQO de 27400mg/litro, pH de 4,0 a 4,5 unidades. Lo anterior realizándose cuatro lavados a la masa del café en un tanque tina con consumos de 4.1 litros de agua por kg/c.p.s.

Figura 13. Esquema de un SMTA para el tratamiento de aguas residuales de lavado de café



Fuente: Boletín No20 Cenicafé

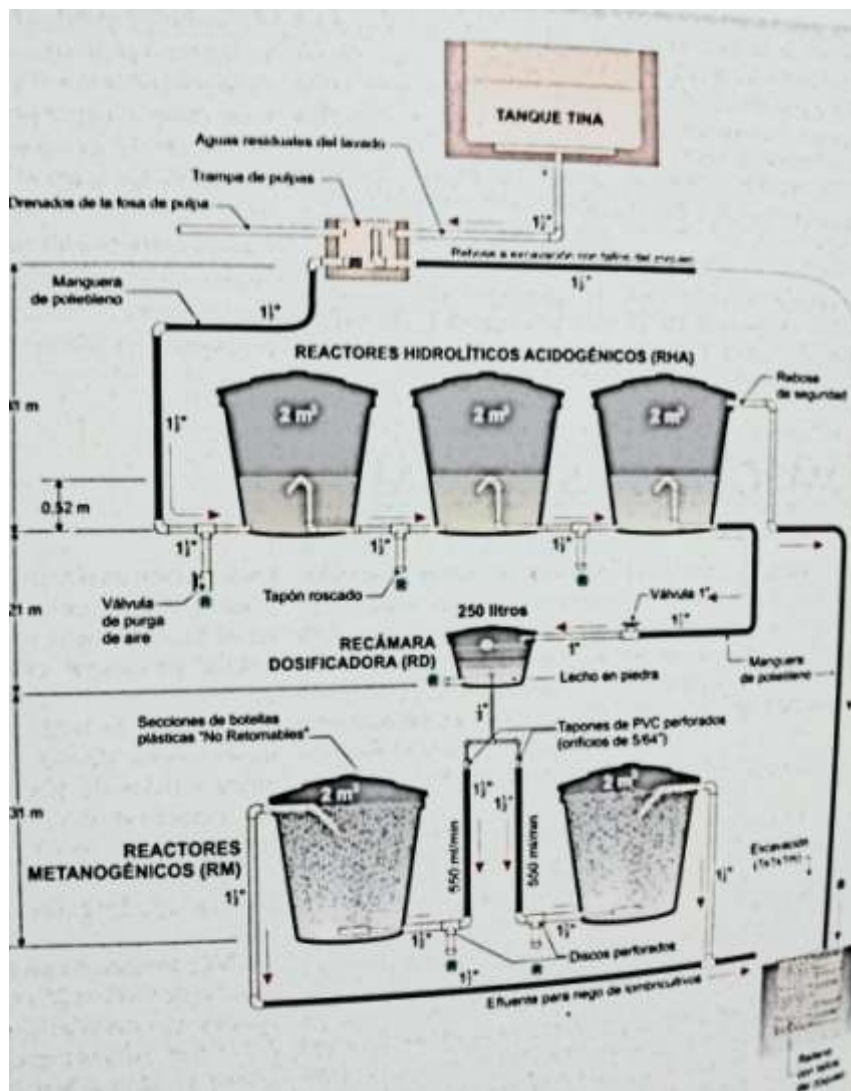
En los resultados obtenidos reportan los autores del Boletín No. 20 una remoción superior al 80% en DQO y un pH de 7,7 unidades con un postratamiento previsto de un lecho filtrante en piedra caliza.

En el año 2006 Cenicafé divulga el boletín No. 29 donde presentan la nueva versión del SMTA, la cual esta compuesta por unidades que permite la separación de las fases hidrolítica-acidogénica de la metanogénica. Son componentes esenciales de los SMTA los reactores hidrolíticos –acidogénicos, la recamara de dosificación y el reactor metanogénico (Ver Figura 14).

Se reporta una eficiencia de remoción del 86,6% en términos de DQO (87,7% para DBO₅), pH de salida superior a 5 unidades.

De igual forma se hacen las recomendaciones de operación y mantenimiento en el sistema para poder obtener los resultados anteriormente mencionados, teniendo en cuenta también un beneficiadero que cumpla con despulpado y transporte de la pulpa sin agua y con consumo de agua de lavado entre 4 y 5 l/kg c.p.s.

Figura 14. Esquema del SMTA para las aguas residuales del lavado o mieles del café



Fuente: Boletín No29 Cenicafé

5.12 MARCO JURIDICO

Decreto N° 1594 de 1984. Antes de ser derogado por el decreto 3930 de 2010, reglamentaba usos del agua y residuos líquidos y, entre otros temas, establece metodologías para análisis y seguimiento de calidad de fuentes, obligación de permisos de vertimiento, requerimiento de tratamiento de efluentes, planes de cumplimiento, control y sanciones, normas de calidad para diferentes usos. En el

Capítulo III trata de la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas, teniendo en cuenta los usos del recurso para consumo humano y doméstico; preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, recreativo, industrial y transporte.

Actualmente el decreto 1594 del 26 de Junio de 1984, aplica para vertimiento al suelo, donde todo vertimiento al mismo debe cumplir un porcentaje de remoción en DBO₅, DQO y SST igual o superior al 80% y unos parámetro en unidades de pH de 5 a 9; se compararan los resultados obtenidos en la jornada de muestreo con los límites permisibles de la norma para posteriormente evaluar y analizar los datos resultantes.

Decreto 2667 de 2012. Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

Se define el vertimiento puntual directo y indirecto:

Vertimiento puntual directo al recurso hídrico. Es aquel vertimiento realizado en un punto fijo y directamente al recurso hídrico.

Vertimiento puntual indirecto al recurso hídrico. Es aquel vertimiento que se realiza desde un punto fijo a través de un canal natural o artificial o de cualquier medio de conducción o transporte a un cuerpo de agua superficial.

Se plantea la Tasa Retributiva (TR), o pago de dinero por la contaminación que se deja de remover en la resolución 631 de 2015 y que se descarga directa ó indirectamente al recurso. La tasa es planteada como el costo que debe asumir el estado en recuperar la calidad del recurso hídrico por permitir utilizar el medio ambiente como receptor de los vertimientos. Plantea el cobro por la descarga de dos parámetros indicadores de contaminación; la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO⁵), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos (SST), los cuales son el reflejo de la más generalizada contaminación de los cuerpos de agua en Colombia.

Resolución 631 de 2015. Establece los parámetros y valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. En el capítulo sexto (VI) y artículo 9 de la resolución se encuentran los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales de actividades de agroindustria y ganadería, es allí donde clasificaron los límites máximos permisibles para el beneficios del café, los cuales fueron divididos en proceso ecológico y proceso tradicional como se pueden observar en la figura 15.

La resolución 631 de 2015, modifica el decreto 1594 de 1984 y también modifica el decreto 3930 de 2010, respecto a vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Figura 15. Parámetros para café resolución 631 de 2015

PARÁMETRO	UNIDADES	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC/ CENICAFE).	
		PROCESO O ECOLÓGICO	PROCESO TRADICIONAL
Generales			
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	3.000,00	650,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂		400,00
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	800,00	400,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	10,00	10,00
Grasas y Aceites	mg/L	30,00	10,00
Compuestos de Fósforo			
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitrógeno Total (N)	mg/L	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

Fuente: Resolución 631 de 2015

Se compararan los resultados obtenidos en la jornada de muestreo con los límites permisibles de la

norma para posteriormente evaluar y analizar los datos medidos.

5.13 Extensión rural. Desde su creación, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia ha direccionado sus acciones hacia la prestación de un servicio de asistencia técnica (1928) con los caficultores, complementada en esa época, con una granja experimental (1929) y la formación de los primeros “prácticos cafeteros”, quienes recorrían la zona cafetera colombiana, llevando mensajes técnicos y sociales a los productores y sus familias. A partir del año 1939 estas labores estuvieron dirigidas a fortalecer diversos temas mediante campañas educativas sobre conservación de suelos y aguas, beneficio del café y vivienda rural, entre otros. (FEDERACAFÉ 2015).

En estos espacios de encuentro con la caficultora, el caficultor y sus familias son muy importantes para divulgar los resultados de investigaciones desarrolladas por Cenicafé y otras investigaciones.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. LOCALIZACIÓN

Las pruebas se realizaron durante la cosecha principal de 2014, en el área de beneficio del predio El Cañon de la vereda San Martín, ubicada en el municipio de El Águila, Valle del Cauca, con una altitud de 1.850m y una temperatura promedio de 18°C. (SICA 2015). Ver figura 16.

Figura 16. Ubicación del Municipio de El Águila con respecto al Departamento del Valle del Cauca.



Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_El_%C3%81guila.svg

6.2 Montaje experimental. Los componentes que hicieron parte del montaje experimental para realizar el tratamiento, fueron la cámara de entrada y salida del biodigestor construidas en ladrillo, repellada y esmaltada y así se eviten filtraciones (figura 17), bolsa tubular para biodigestor calibre 8.

Figura 17. Caja de salida construida en ladrillo, repellada y esmaltada.



6.2.1 Diseño del Biodigestor. Se desarrolló el diseño para definir la dimensión del biodigestor y el Tiempo de Retención Hidráulico.

Con base en la información de la producción anual (P_A) de la finca la cual es expresada en arrobas (@), se calculan los kilogramos de café pergamino seco para el día pico (D_p), es decir, el día de mayor producción la cual para esta zona corresponde al 2,5% ($\%D_p$) como se expresa en la siguiente ecuación <<1>>

$$\text{Kg c.p.s}/D_p = (P_A) \times (\%D_p) \times (12,5 \text{ kg}/@)$$

<<1>>

Posteriormente se calcula el volumen de la mezcla agua-mucílago (V_m) que trata el biodigestor, procedentes del desmucilaginado mecánico, el cual se encuentra calibrado con un volumen de 1.875 litros respecto al peso en kilogramos de café seco (L/kg c.p.s), de manera cómo se expresa la ecuación <<2>>

$$V_m = (\text{L}/\text{kg c.p.s}) \times (\text{Kg c.p.s}/D_p)$$

<<2>>

Se utilizó como unidades de tratamiento de las aguas residuales generadas, un biodigestor con un volumen final (V_F) que tiene en cuenta el tiempo de retención Hidráulica (TRH) de 10 días como se calcula en la siguiente ecuación <<3>>

$$V_F = V_m \times TRH$$

<<3>>

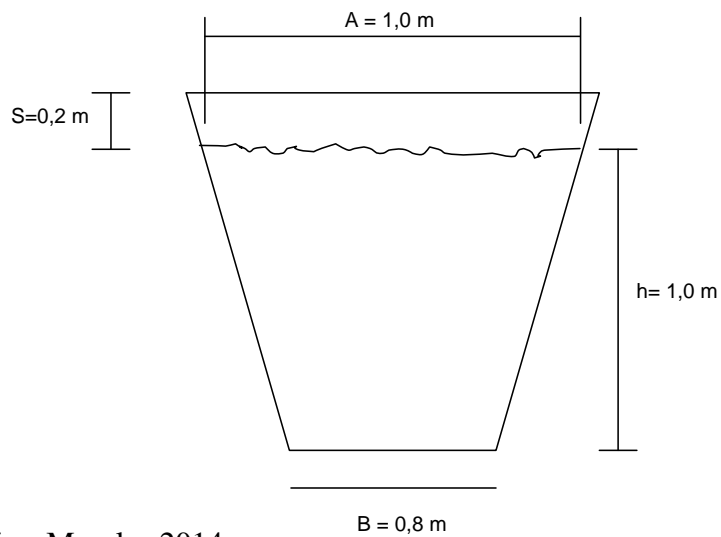
Se calcula el área del corte A-A (Figura 18) del biodigestor con la siguiente ecuación <<4>>

$$\text{Área} = \frac{(B + A) \times h}{2}$$

<<4>>

Siendo (S) el espacio libre para un nivel de 1,0m.

Figura 18. Corte A-A excavación.



Fuente: Mejía y Morales 2014

Una vez calculada el área se multiplica por una longitud (L) hasta alcanzar un volumen útil (V_U) superior o igual al volumen calculado con el TRH, como se expresa en la siguiente ecuación <<5>>

$$V_u = \text{Área} \times L$$

<<5>>

Las cámaras de entrada y de salida cuentan con un volumen de 1m^3 , una excavación con corte A-A de base 0,8m, altura útil de 1m y corona de 1,0m. Se utilizó bolsa para biodigestor calibre 8 y de diámetro 1,25 m . Se alimentó el Biodigestor solo con mezcla agua-mucílago del café, en la semana pico de cosecha se alimentó con 4.500L.

6.2.2 Puesta en marcha del Biodigestor. Se utilizó el inóculo recomendado por la asociación ASOPROVIDA, la Corporación Ambiental Tierra, Agua, Aire y/o ASOPROVIDA es una Movimiento Cultural y Ambiental Internacional que fomenta el cuidado a la vida en todas sus expresiones, constituida en Colombia en 1999, cuya sede es en el municipio de Zarzal en el departamento del Valle del cauca. El inóculo se compone de los siguientes ingredientes: 2 litros de yogurt, 1 kg de levadura, 1 bolsa de miel de purga (25 lb). y se mezclaron los ingredientes con 25 galones de agua, se tapó la mezcla herméticamente, dejando una salida con una manguera (similar a la válvula de alivio en los biodigestores), cuando esta dejó de burbujear, se comenzó a adicionar un (01) balde de 7 Litros en la caja de entrada todos los días hasta que el sistema inició la producción de gas, como es la sugerencia de la fundación.

6.3 METODOLOGÍA

Esta investigación fue de tipo experimental. Para alcanzar los objetivos propuestos se estableció un diseño y un tratamiento así:

ENTRADA TRATAMIENTO. Se tomó la muestra de mezcla agua-mucílago a la salida del desmucilagador, es decir, antes de entrar al biodigestor, en intervalos de 15 minutos con 5 repeticiones, utilizando la metodología y los implementos recomendados por el laboratorio donde se realizó los análisis de contaminación y se le cuantificaron los parámetros físico-químicos.

SALIDA DEL TRATAMIENTO. Se procesó la unidad experimental en un biodigestor con longitud de 22 m y de 20 m³ de capacidad, el consumo de agua en la remoción del mucílago se fijó en 1,2 litros/ kg de c.p.s, cuya calibración fue de 10 litros de agua por minuto.

La unidad experimental estuvo conformada por la mezcla de agua-mucílago procedente de la semana pico de cosecha, es decir, la mezcla que posee menor tiempo de retención.

Luego de aplicar el tratamiento a la unidad experimental, en el último día de la semana pico de cosecha, se cuantificaron los parámetros de contaminación y los gramos del biogás que entregaba el biodigestor.

El tratamiento tuvo sólo una réplica en la cual se tomaron 5 muestras, dado que el análisis del comportamiento del tratamiento debe realizarse en la semana pico de cosecha que es donde se genera mayor producción de café y por ende mayores aguas residuales y lixiviados, si el sistema cumple o no la normatividad ambiental depende de la semana pico de cosecha.

6.4 METODOLOGIA DE SEGUIMIENTO AL PROCESO DE LA MEZCLA AGUA-MUCÍLAGO EN UNA FINCA DE ACUERDO A SU DISTRIBUCIÓN DE COSECHA Y PRODUCCIÓN

La unidad experimental para el tratamiento y el entrada tratamiento contó con las etapas comunes que se describen a continuación:

➤ La primera de las etapas comunes fue el recibo de los frutos de café en cereza, los cuales se llevaron al proceso del despulpado.

➤ Despulpado en seco, para ello se empleó una despulpadora de cilindro horizontal con capacidad para 2.500 kg de c.c/h.

➤ Remoción mecánica del mucílago, se utilizó un desmucilagador mecánico con capacidad para 2.500 kg de c.c/h, calibrado con 1,2 litros de agua por kg de c.p.s (L/kg de c.p.s).

➤ La mezcla agua-mucílago del desmucilagador se dirigían por una bandeja al tubo PVC, el cual transportaba las aguas mezcla agua-mucílago a la caja de entrada del biodigestor.

Las etapas comunes fueron aplicadas toda la semana de cosecha.

6.5 METODOLOGÍA PARA ALIMENTAR EL BIODIGESTOR CON SOLO MEZCLA AGUA-MUCÍLAGO DEL CAFÉ PARA OBTENER BIOGÁS

La mezcla agua-mucílago procedente de 5.000@ de c.p.s/año (arrobas de café pergamino seco por año), en la semana pico de cosecha se beneficiaron 3.750 kg de c.p.s, todas la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico se dirigieron al biodigestor de capacidad de 20 metros cúbicos. La bandeja que recibió la mezcla agua-mucílago del desmucilaginador se colocó en posición para direccionarlas por un tubo PVC a la caja de entrada del biodigestor, el tubo que direcciona la mezcla agua-mucílago al biodigestor llega a una caja con rejilla por seguridad del personal y de allí son enviadas la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico a la caja de entrada del biodigestor . Ver figura 19

Figura 19. Tubo que dirige la mezcla agua-mucílago al tratamiento.



6.6 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS EN EL ÚLTIMO DÍA DE LA SEMANA PICO EN LA FINCA PILOTO

De acuerdo al conocimiento del administrador y al número de recolectores se identifica la semana pico de cosecha, en el último día de la misma se cuantificó el gas utilizando el peso en gramos del mismo, así:

- ✓ Se pesó una bolsa utilizando una gramera con precisión de 0,1 gramos en un lugar cerrado con el mínimo movimiento del aire para que no altere la medición.

- ✓ Se llenó la bolsa de gas con el ánimo de identificar el tiempo el cual se llenaba la bolsa y que permitiera hacer un cierre hermético para poderla pesar.

- ✓ La bolsa se llenó con biogas durante el tiempo que permitiera recoger la mayor cantidad de mismo y que permitiera su cierre.

- ✓ La bolsa con gas se pesó en la gramera de precisión de 0,1 gramos

Se tomaron 5 muestras, es decir, este procedimiento se realizó 5 veces con intervalos de 15 minutos.

6.7 METODOLOGIA TOMA DE MUESTRAS

Una vez la mezcla agua-mucílago del café (material) pasaron por el tratamiento y se encontraban en la caja de salida, se tomó una muestra utilizando la metodología y los implementos recomendados, por el laboratorio donde se realizaron los análisis de contaminación de los parámetros físicos químicos. Siguiendo los procedimientos recomendados por STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (2012).

Se realizó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se rotularon las botellas sobre las etiquetas con un marcador permanente con la información del sitio de muestreo, la hora de toma y la persona responsable del muestreo
- ✓ Se efectuó el muestreo ubicando el frasco muestreador o balde bajo el flujo directamente, se purgó (enjuagó y desechó la primera toma), se homogenizó el contenido del balde por agitación con un tubo plástico limpio y se procedió al llenado de los recipientes, previamente purgados.
- ✓ Se evitó la inclusión de objetos flotantes y/o sumergidos. Se extrajo las muestras del balde sin sumergir las botellas.
- ✓ Se taparon y agitaron las botellas.
- ✓ Se colocaron las botellas dentro de la nevera y se agregó suficiente hielo para refrigerar.

Se cuantificaron en el efluente de la caja de salida del biodigestor, los cuales se depositaron en un recipiente apropiado y refrigerado, que es proporcionado por el laboratorio que realizó el análisis de los parámetros, al igual que la metodología a emplear en la toma de la muestra. Los parámetros a medir fueron:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST).
- Potencial de Hidrógeno (pH).

Para la mezcla agua-mucílago antes de entrar al biodigestor, es decir, a la salida del desmucilagador se realizó el mismo procedimiento.

6.8 METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA EXTENSION DE LOS RESULTADOS A LOS CAFICULTORES

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), tiene profesionales en el campo los cuales tienen como objetivo: Desarrollar de manera ordenada las propuestas de valor que permitan Consolidar el desarrollo productivo y social de la familia cafetera, garantizando la sostenibilidad y el futuro de la caficultura y la construcción del tejido social en el campo colombiano, este grupo de profesionales de la FNC se llama el servicio de extensión el cual tiene como segunda propuesta de competitividad e innovación: Liderar iniciativas que generen un impacto positivo en el medio ambiente, los resultados de esta investigación serán entregados a la Federación Nacional de Cafeteros.

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL MONITOREO.

Para realizar la evaluación se estableció un comparativo entre la mezcla agua-mucílago antes del tratamiento y el tratamiento así: Entrada tratamiento (Figura 20) mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico. El tratamiento estuvo conformado por las aguas a la salida del Biodigestor después de ser alimentado con la mezcla agua-mucílago provenientes del desmucilaginador (figura 21), en la semana pico de cosecha. En esta semana de mayor producción se beneficiaron 18.750 kilogramos de café cereza, necesarios para operar el equipo durante 7,5 horas en la semana y una generación de 4.500 Litros de mezcla agua-mucílago que se dirigieron al Biodigestor. El gas que se genera en este proceso es direccionado hasta la cocina del predio.

Figura 20. Desmucilaginador mecánico (a) y direccionamiento del entrada tratamiento (b).



(a)



(b)

Figura 21. Aguas a la salida del biodigestor (tratamiento).



En la Figura 22 se muestra el biodigestor que permitió realizar el tratamiento.

Figura 22. Biodigestor donde se realizó el tratamiento.



Antes del tratamiento. El café cosechado se sometió a la etapa común de desmucilaginado y despulpado, una vez se inicia la operación del equipo 15 minutos después se toma la primera muestra, y así por el mismo intervalo de tiempo hasta llegar a la cuarta muestra, las cuales se mezclan al final para tener una muestra homogénea.

A la mezcla agua-mucílago del desmucilaginado mecánico se le interrumpió el direccionamiento hacia el biodigestor y se procede a la toma de las muestras a la salida del desmucilaginador mecánico. (Figura23).

Figura 23. Toma de muestra del entrada a la entrada del tratamiento (a) y llenado del recipiente (b).



(a)

(b)

Potencial de Hidrógeno. Para conocer el pH de la mezcla agua-mucílago antes de entrar al tratamiento, en finca se utilizaron tiras indicadoras de pH (figura 24), se introdujeron las tirillas en la caja de entrada del biodigestor, luego se retiraron y se compararon los colores de referencia. Lo anterior dado que el laboratorio no acepta analizar el pH en muestras con 4 horas de diferencia, y por las distancias no se cumplía con este requisito, por este motivo se procedió a tomarla en campo.

Figura 24. Toma de pH al entrada tratamiento en campo (a) y tiras indicadoras de pH (b)



(a)

(b)

Tratamiento. El café cosechado se sometió a las etapas comunes de despulpado y desmucilaginado, la mezcla agua-mucílago del desmucilaginado mecánico llegan a la bandeja recolectora de la mezcla agua-mucílago las cuales fueron posteriormente dirigidas por medio de un tubo PVC de 3" (pulgadas) a la caja de entrada del biodigestor.

Al llegar la mezcla agua-mucílago a la caja de entrada del biodigestor se inicia el tratamiento, al pasar a través del biodigestor de la caja de salida se dirigen a un tanque de reservorio donde se procede a tomar la muestra del tratamiento así:

Toma de muestras a la salida del biodigestor. En la figura 25 se observa la toma de las aguas de salida del biodigestor, estas son depositadas y almacenadas en una caneca plástica de donde se tomaron las muestras, a la medida que salía el agua para riego y/o absorción.

Figura 25. Toma de muestra del tratamiento (a) y muestras envasadas (b).



Cuantificación del Biogás en el momento de la combustión. Para obtener la cantidad de gas generado en términos de tiempo en el proceso de biodigestión y que hubiera presencia de combustión, pasaron 62 días, Esos fueron los días en los que se produjo suficiente gas metano para su combustión, el resto del tiempo salía gas pero con olores desagradables no para combustión, y porque iniciar un biodigestor a veces es un poco demorado. Sólo pesamos las bolsas con gas cuando hubo presencia de combustión.

Dado que en días anteriores si había presencia de gas el cual producía olores desagradables además que no servía para la combustión, tomando la muestra en época de poca cosecha o “graneo”. Se realizó el siguiente procedimiento:

Se tomó el peso de la bolsa vacía (Figura 26) y el peso de la bolsa llena (Figura 27) en un mismo intervalo de tiempo.

Esos fueron los días en los que se produjo suficiente gas metano para su combustión, el resto del tiempo salía gas pero con olores desagradables no para combustión, y porque iniciar un biodigestor a veces es un poco demorado. Sólo pesamos las bolsas con gas cuando hubo presencia de combustión.

Figura 26. Peso bolsa vacía **Figura 27.** Peso bolsa llena con gas



Potencial de Hidrogeno. Para conocer el pH a la salida del tratamiento se utilizó el mismo procedimiento.

7.2 ACTIVIDADES DE LABORATORIO

Los análisis de laboratorio fueron realizados por la empresa Multipropósitos de Calarcá.

Preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Una vez integradas las muestras en su jornada de muestreo, se procedió a preservarlas, transportarlas y analizarlas en laboratorio de la de multipropósitos, de acuerdo a los procedimientos recomendados por STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (2012), en los parámetros establecidos para el tipo de actividad.

De acuerdo a la recomendación dada por este laboratorio el pH se tomó en campo en el momento de la toma de muestras.

7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.3.1 Puesta en marcha del Biodigestor. La mezcla que se realizó para el inculo dejó de burbujear aproximadamente entre los días 20 al 25, y de allí se comenzó a adicionar un (01)

balde de 7 litros en la caja de entrada todos los días hasta que el sistema inició la producción de gas, como es la sugerencia de la fundación. lo cual sucedió el día 69.

7.3.2 Dimensiones de biodigestor. Posterior a la aplicación de las ecuaciones <<1>>, <<2>>, <<3>>, <<4>> y <<5>>, y teniendo en cuenta la producción anual de la finca que corresponde a 5.000@ de c.p.s, TRH de 10 días, calibración del desmucilaginador para 1,2 L/kg c.p.s, se obtuvieron las siguientes dimensiones y volúmenes que se presentan en la tabla 3.

Tabla 5. Resultados dimensiones biodigestor

Kg c.p.s/D_p	V_m	V_F	L	Área	S	Vu
1.562,5 kg	1.875 L	18.750 L	22 m	0,9 m ²	0,2 m	18,75 m ³

7.4 Resultados de Laboratorio. Los resultados de los parámetros de laboratorio analizados por el laboratorio Multipropósitos a la entrada y a la salida del tratamiento, se presentan en las siguientes tablas 6 y 7.

Tabla 6. Resultados de Parámetros de Laboratorio antes de entrar al tratamiento

ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	mg/L O ₂	Incubación 5 días DBO-5 SM-5210 E	18866,3	± 1,7
DQO	mg/L O ₂	Método Colorimétrico SM-5220 D	70400	± 15
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	Secado a 103°C SM- 2540 D	17300	± 223

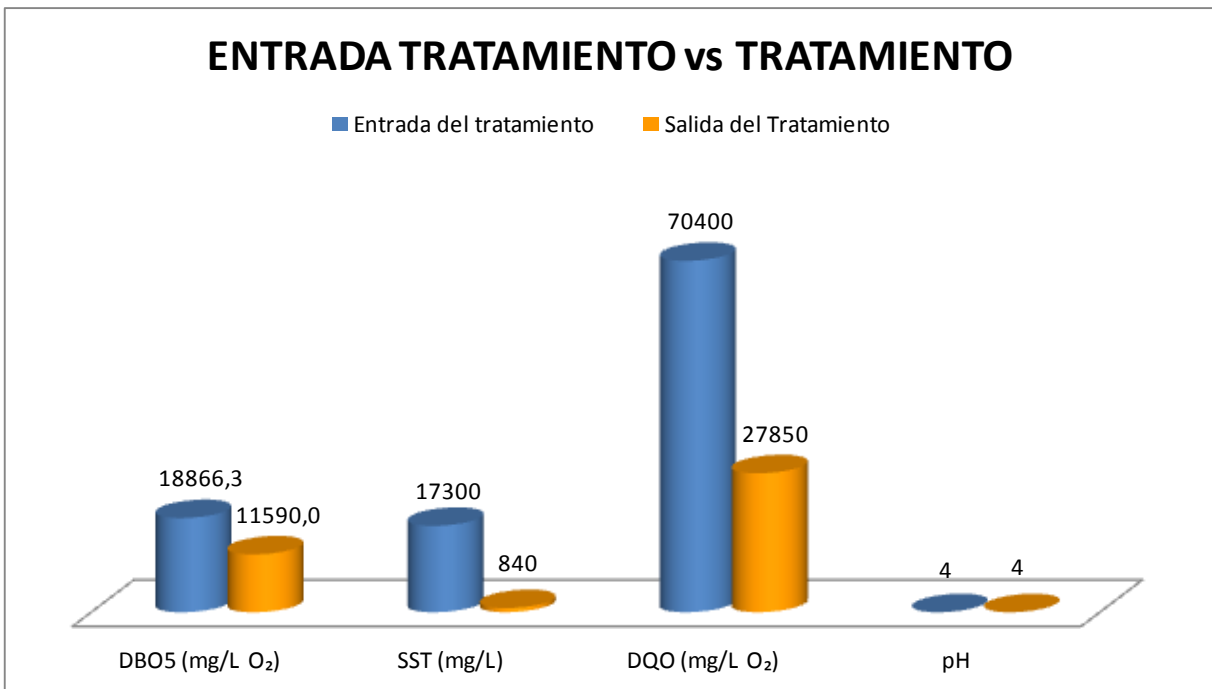
Tabla 7. Resultados de Parámetros del Laboratorio a la salida del tratamiento

ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	mg/L O ₂	Incubación 5 días DBO-5 SM-5210 B	11590,0	± 1,7
DQO	mg/L O ₂	Método Colorimétrico SM-5220 D	27850	± 15
Sólidos suspendidos Total	mg/L	Secado a 103°C SM- 2540 D	840	± 14

El Potencial de Hidrógeno. Fue tomado en campo directamente con las tiras indicadoras, el pH no tuvo diferencias y arrojó 4 unidades tanto en el tratamiento como en el entrada tratamiento, los resultados muestran que los fluidos resultantes de la remoción mecánica son ácidos al igual que los salientes del tratamiento.

En la gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos en el entrada tratamiento y en el tratamiento en la jornada de medición.

Grafica 1. Comparación de parámetros entre la entrada y la salida del tratamiento.



En la gráfica se observa una remoción importante en Sólidos Suspendidos Totales, lo que demuestra que el sistema de tratamiento implementado da buenos resultados y sería una buena práctica para el caso de SST, en cuanto a la DQO La demanda química de oxígeno es uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de aguas contaminadas, es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida, se observa una reducción 60,44% y la DBO₅ que se trata del oxígeno total que necesita el sistema (ecosistema) para tratar microbiológicamente la contaminación existente en el cuerpo del agua, se observa una reducción 38,56% lo cual nos permite deducir que el TRH no es el indicado para la obtención de los resultados en el cumplimiento de la normatividad ambiental.

El TRH que exige Corporación regional del Valle del Cauca mínimo es de 20 días como mínimo, pero en esta investigación por condiciones económicas no se pudo incrementar las dimensiones del biodigestor.

El Agua resultante del tratamiento no cumple para ser descargado al suelo (verter al suelo), dado que mínimamente se debe cumplir el decreto 1594 de 1984, para el cual se requiere una remoción mínima del 80 %.

Respecto al cumplimiento de la resolución 631 de 2015 tampoco se cumple, dado que los parámetros máximos permisibles para el beneficio ecológico del café en cuanto a la DQO es de 3.000mg/L.

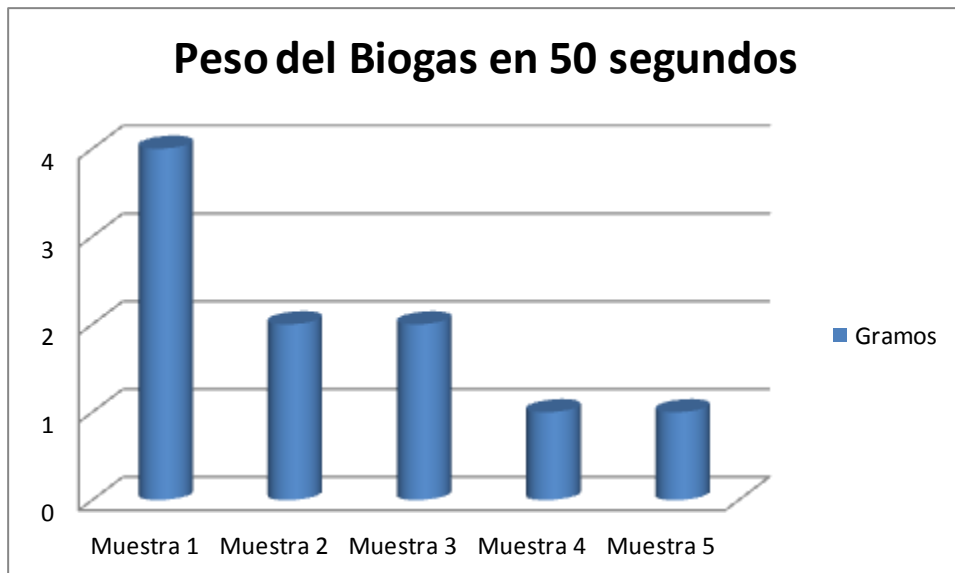
En cuanto al potencial de Hidrógeno, se observa que no hubo cambios y este resultado se debe a que no hubo una buena descomposición anaerobia, posiblemente por los TRH de 10 días en los picos de cosecha, posiblemente esto puede mejorar al incrementar los Tiempos de Retención Hidráulica, dado que el proceso acidogénico que se realiza también al interior del Biodigestor no tuvo el suficiente tiempo para poder hacer un mejor proceso a las aguas que se

introducían al biodigestor, pero económicamente quizás no sea viable ampliar la capacidad del Biodigestor al igual que el espacio que puede llegar a ocupar con mayores dimensiones.

El Biodigestor de 20m³ tuvo un costo de \$3.500.000 y otro con la misma capacidad para cumplir con un TRH mínimo de 20 días, tendrían el doble del costo y el doble de espacio.

Resultados producción de biogás. En la gráfica 2 se presenta los resultados de las 5 repeticiones, cabe anotar que la semana pico de cosecha no hubo suficiente producción de gas metano para la combustión. El peso del biogás se cuantificó 55 días después de iniciar la primera combustión del mismo, una vez inició la semana pico de cosecha se acabó el gas metano para la combustión, luego le aplicaron cal para volver a equilibrar un poco el pH, volvió a generar algo de llama, luego cambiaron de administrador y abandonaron el biodigestor, la propietaria ha tenido problemas con los agregados.

Gráfica 2. Peso del biogás en 50 segundos



La no existencia del gas metano suficiente para la combustión en época pico de cosecha (ver figura 25) puede ser generado TRH tan corto, que no permitió un proceso de descomposición de la carga orgánica existente y por lo tanto no hay una generación de gas metano suficiente para la combustión, lo que si ocurre en las época de poca producción “graneos” donde el TRH es apropiado para este tipo de carga orgánica y aplica para la obtención de gas, lo cual se pudo constatar con la cocinera de la finca.

En promedio se obtuvieron 2 g de biogás/50 s, equivalentes a 3.456 gramos de biogás/d. Así mismo los gramos de DQO removido fueron 79781 g (equivalentes al 60,44 de la DQO de entrada: $1.875 \text{ L} * 70,400 \text{ mg/L}$). Por lo tanto el biogás generado fue de 0,043 g/g DQO-d.

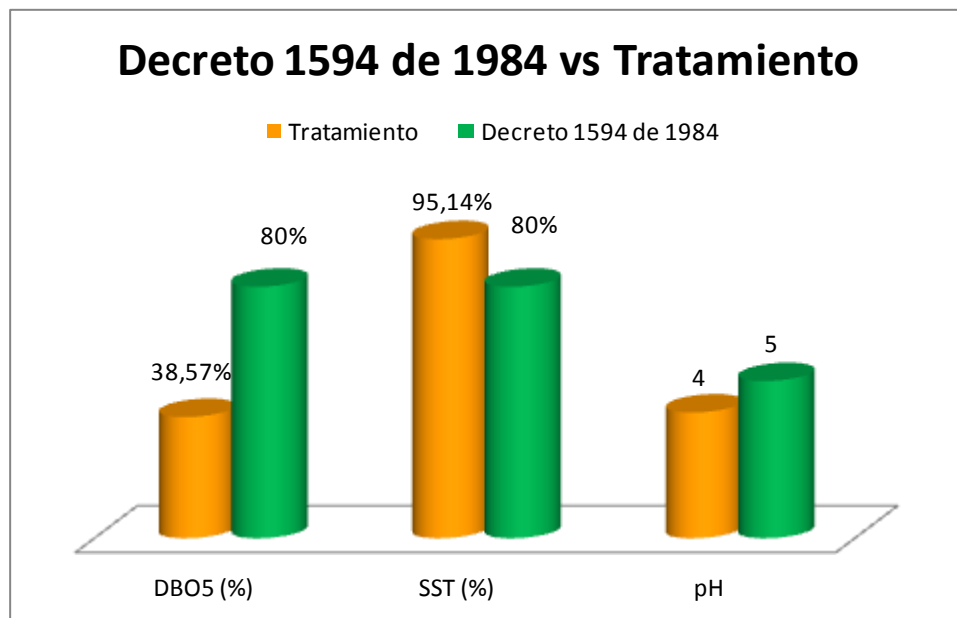
Figura 28. Estufa de gas propano conectada por la no presencia del biogás suficiente para la combustión.



7.5 Valores finales versus norma de vertimientos 1594 de 1984. Con el fin de detectar posibles problemas en los vertimientos, se comparan los resultados obtenidos con el decreto

1594 de 1984, en el cual se debe cumplir con el 80% de remoción contaminación, y en unidades de pH permitidas de 5 a 9 entre el entrada tratamiento y el tratamiento. Se valoran con base en la metodología presentada, en la gráfica 3 aparecen los valores encontrados como resultado de las mediciones versus la normatividad ambiental mencionada.

Gráfica 3. Decreto 1594 de 1984 vs salida del tratamiento



De acuerdo al decreto 1594 de 1984 en el artículo 72 en carga de remoción debe ser igual o superior al 80% en términos de DBO₅ y SST, lo cual nos permite hacer un comparativo de remoción contaminante y cuyos datos nos sirven para la actual normatividad.

Para lo anterior se consideró igual caudal tanto a la entrada como a la salida.

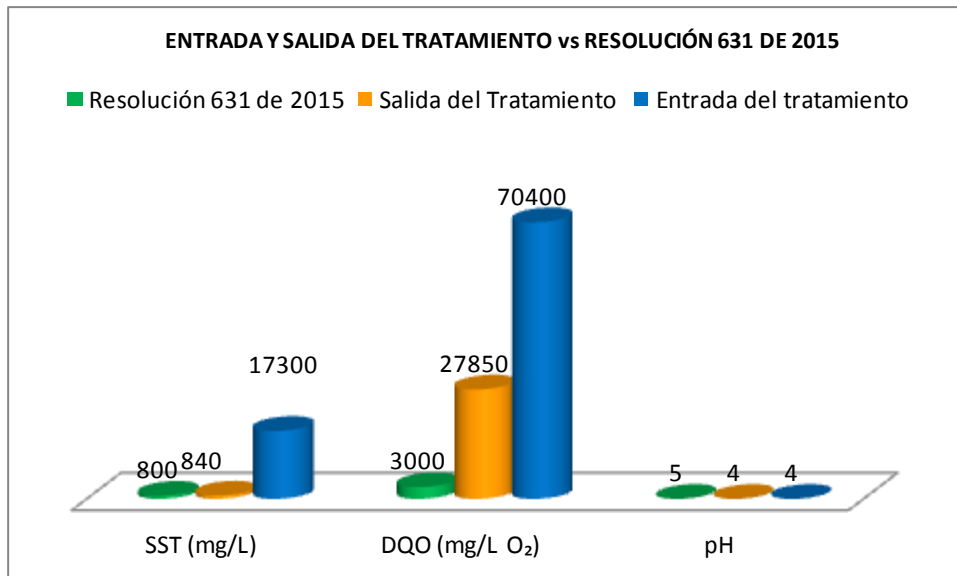
Al observar la gráfica en los valores obtenidos en la DBO₅ no cumplen con lo establecido en el decreto 1594 de 1984, debido posiblemente a que a los TRH aplicado al sistema de 10 días son muy cortos. El tratamiento demuestra que para la remoción de sólidos el TRH aplica adecuadamente superando el porcentaje establecido por este decreto, pero no aplica para la

DBO₅ porque se requiere mayor tiempo en el proceso de descomposición de la materia orgánica existente por la vía microbiana.

El pH no cumple con la normatividad debido a que el rango se encuentra por debajo de lo establecido y su mejoramiento quizás se puede lograr incrementando el TRH porque nos permite una mayor descomposición de la carga orgánica existente y por ende cambios significativos positivos en potencial de hidrógeno, adicionalmente es posible que se requiera de mezcla de cal agrícola, urea o piedra caliza en futuras investigaciones.

7.6 Valores finales versus resolución de vertimientos 631 de 2015. Con el fin de detectar posibles problemas en los vertimientos, se comparan los resultados obtenidos con la resolución 631 de 2015, y se valoran con base en la metodología presentada, en la gráfica 4 se observan los valores encontrados como resultado de las mediciones versus la normatividad ambiental mencionada.

Gráfica 4. Entrada tratamiento y salida tratamiento respecto a la resolución 631 de 2015 para café.

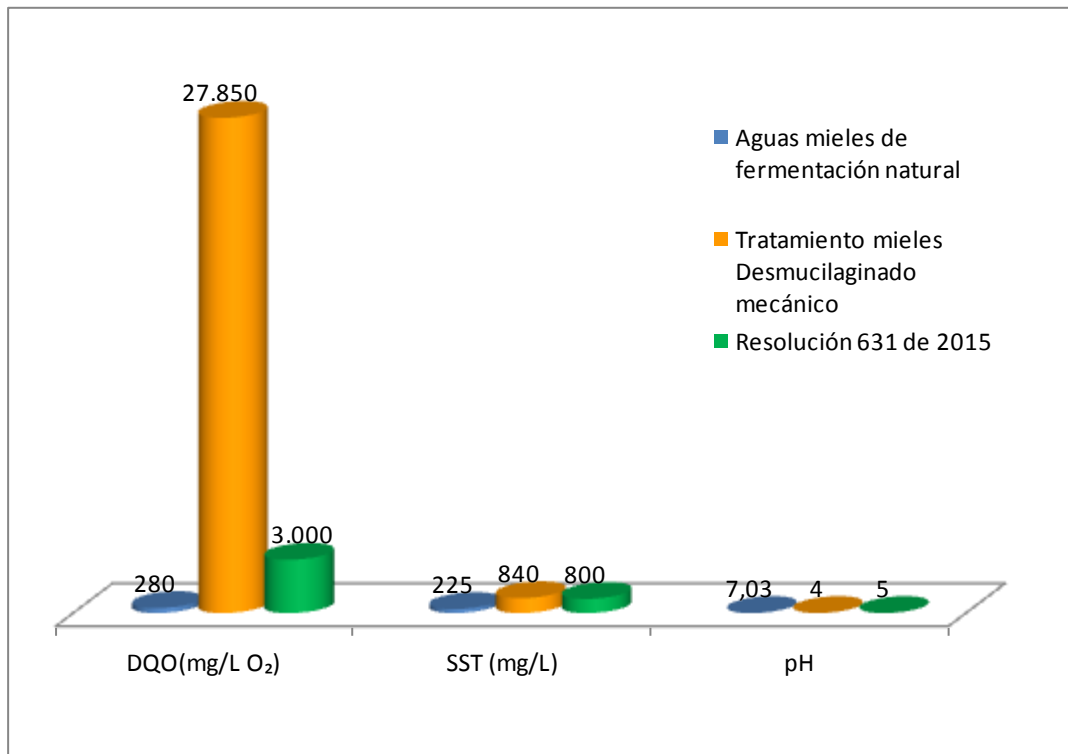


Al observar la gráfica se deduce que el tratamiento aplicado no cumple los parámetros establecidos en la norma, si bien los resultados son positivos entre el entrada tratamiento respecto el tratamiento, finalmente no cumplen con esta normatividad para disposición del efluente del biodigestor para verter a cuerpos de agua como lo indica la resolución actual 631 de 2015.

7.7 Valores finales comparativo tratamiento versus investigación Lugo *et al.* (2009) versus la resolución 631 de 2015.

En la gráfica 5 se presenta el comparativo entre esta investigación, en la cual la mezcla aguamucílago procedentes del desmucilaginado mecánico son sometidas a pasar por el interior de un Biodigestor, y la investigación realizada por Lugo *et al.* (2009) en la cual utiliza las aguas del lavado del café para someterlas al mismo tratamiento, además se comparan estos dos tratamientos respecto a la resolución 631 de 2015.

Gráfica 5. Tratamiento versus investigación Lugo *et al.* (2009) y respecto a la resolución 631 de 2015 café.



De acuerdo a la gráfica se puede observar que la mezcla agua-mucílago de fermentación natural en el día de menor retención cumplen con la normatividad ambiental, tanto para el vertimiento directo como para el vertimiento al suelo, estos resultados fueron obtenidos al someter la mezcla agua-mucílago de fermentación natural de una finca con producción anual de 269@ de c.p.s con el mes pico de cosecha del 25,65%, en un biodigestor de 2,5m³.

Lo anterior no ocurre con la mezcla agua-mucílago concentradas procedentes del desmucilaginado mecánico, sometiénolas al mismo tratamiento, una explicación puede ser la dilución de la mezcla agua-mucílago de fermentación natural las cuales se realizan para el caso de la investigación de Lugo *et al.* (2009) en 3 litros de agua/kg c.p.s dado que los tiempos de retención son iguales a la presente investigación, además que la mezcla agua-

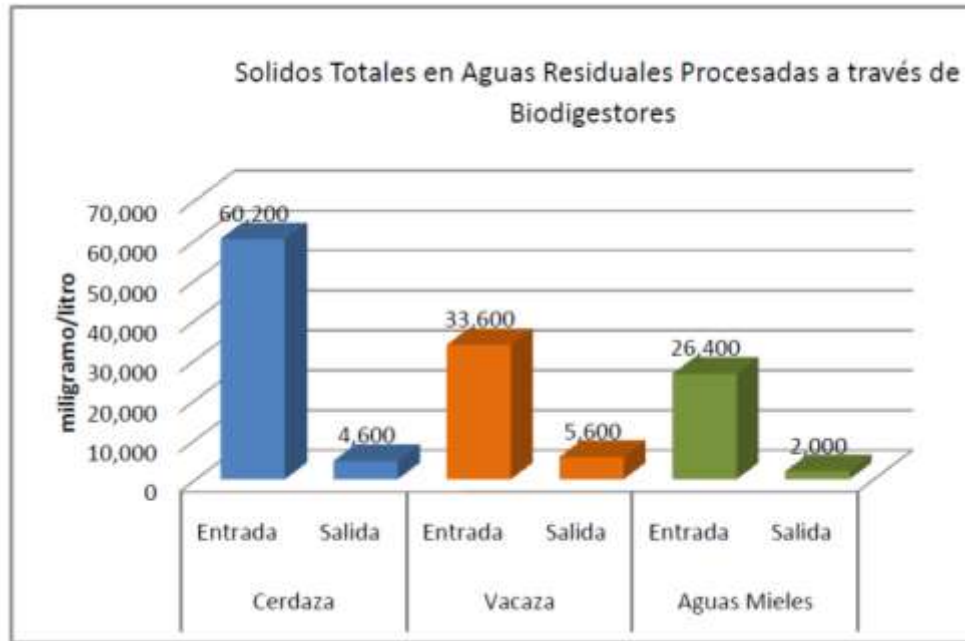
mucílago de fermentación natural han tenido previamente un proceso de degradación natural, lo que lo ocurre con la mezcla agua-mucílago de desmucilaginado mecánico es que entran “frescas” al tratamiento y además de consistencia viscosa dado que poco consumo de agua en este proceso.

7.8 Valores finales comparativo tratamiento versus investigación Perdomo *et al.* (2008) versus resolución 631 de 2015.

La grafica 6, 7 y 8 se presentan los resultados de los datos comparativos que hacen Perdomo *et al.* (2008), sometiendo diferentes materias primas al mismo tratamiento, donde se presenta entre las materias primas las mieles producto del agua de lavado del café del primer y segundo enjuague. Cabe resaltar que para obtener los resultados que se presentarán en la siguientes tres gráficas dejaron reposar por 48 horas las aguas mieles del primer y segundo lavado, según expresan los autores para que la luz solar contribuyera en la degradación de taninos y cafeína y previniendo que una alta acidez afecte el funcionamiento de las bacterias anaeróbicas en el interior del biodigestor.

Se aprovecha el análisis de las gráficas para realizar un comparativo entre las tres investigaciones que han utilizado el biodigestor como tratamiento para las mezcla agua-mucílago de café.

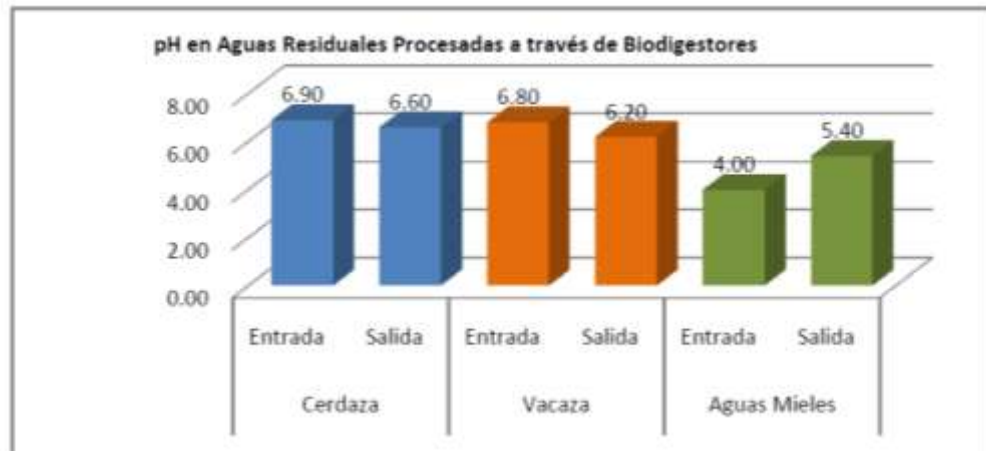
Gráfica 6. Sólidos Suspendidos Totales – investigación Perdomo *et al.*, 2008



La reducción de sólidos totales en aguas mieles es de 26.400 ml/ L a 2000 ml/L, parámetros que nos indican la efectividad en el tratamiento en sólidos suspendidos totales al igual que el tratamiento de este proyecto de investigación donde se presenta una reducción considerable, al realizar un comparativo en porcentajes el tratamiento de Perdomo *et al*, 2008 remueve el 92,4% en términos de SST y el de la presente investigación el 95% en términos de SST, presentando comportamientos muy similares, y para el cumplimiento de la normatividad 1594 de 1984 muy positivo, pero la para resolución 631 de 2015 donde los SST deben cumplir con un valor de miligramo por litro de 800, se encuentra más cerca de cumplirlo el tratamiento donde se someten la mezcla agua-mucílago del becolsub al tratamiento del biodigestor.

La cerdaza y vacaza que expresa el autor que se sometieron al mismo tratamiento tienen de igual forma un comportamiento en porcentaje de remoción muy positivo, de 92,36% en términos de SST y 83,33% en términos de SST respectivamente, pero no cumplen con la resolución 631 de 2015.

Gráfica 7. pH en aguas residuales procesadas a través de Biodigestores - investigación Perdomo *et al*, 2008

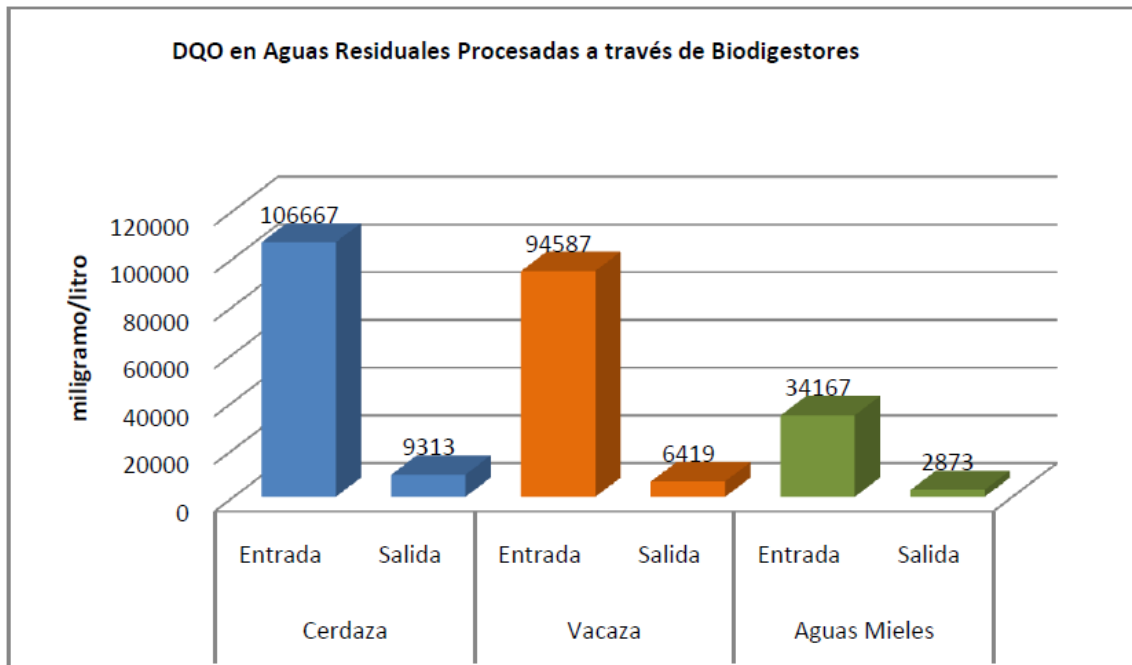


El pH nos muestra la acidez de las mieles, con respecto a los otros tratamientos lo que indica la razón por la cual se dificulta el funcionamiento de los biodigestores, únicamente con aguas mieles. Es necesario darle un tratamiento previo, porque los biodigestores funcionan con mayor eficiencia con valores de pH cercanos a 7 unidades. Quizás, sea necesario hacer enmiendas de cal para aumentar la eficiencia de los biodigestores manejados con mezcla agua-mucílago.

El comportamiento sigue siendo muy similar en cuanto la acidez al comparar este tratamiento con el de la presente investigación, se evidencia que son procesos ácidos, pero con la bondad de los resultados de Perdomo *et al*, (2008) que cumplen con la normatividad actual la cual contempla un pH para café de 5 – 9 unidades (resolución 631 de 2015), lo anterior también corrobora el comparativo con Lugo *et al*, (2009) donde las mieles de fermentación naturales diluidas en agua presentan un pH más neutro que la mezcla agua-mucílago concentradas y frescas del desmucilaginado mecánico.

Para la cerdaza y vacaza ocurren los mismos resultados positivos frente a la norma y con un pH superior al del tratamiento.

Gráfica 8. DQO en aguas residuales procesadas a través de biodigestores - investigación Perdomo *et al*, (2008)



La demanda química de oxígeno como se había mencionado anteriormente es uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de aguas contaminadas, dado que se trata de la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. Los resultados son muy positivos para el cumplimiento tanto del decreto 1594 de 1984 como de la resolución 631 de 2015.

Comparado con la investigación de Lugo *et al*, (2009), donde se sometieron las aguas mieles de lavado de fermentación natural a pasar por el proceso de biodigestión, también cumple con ambas normatividades, lo que no ocurre con la mezcla agua-mucílago de procedentes del desmucilaginado mecánico cuando se someten al mismo tratamiento que este parámetro tan importante no se cumple para ninguna de las dos normatividades vigentes, ya sea para vertimiento al suelo o a cuerpos de aguas.

Para la cerdaza y vacaza, expresan los autores valores en concentración que no cumplen con la actual normatividad para verter a cuerpos de agua, pero si cumplen con la ley 1594 de 1984 con porcentajes de remoción de 91,27 y 93,21 respectivamente.

7.9 Tratamiento de aguas residuales del lavado del café por CENICAFÉ Boletín No20 y Boletín No29) (Zambrano *et al.* 2006)

Las importantes investigaciones del Centro de Investigación Nacional de Café son sin duda hasta el momento uno de los mejores **tratamientos integrales** para las aguas residuales del café con todo el soporte investigativo y con las remociones de carga mencionadas en el numeral 5.11, y se puede utilizar sus efluentes para vertimiento al suelo y pueden cumplir con el decreto 1594 de 1984, pero aún este tratamiento integral tan completo, con la actual normatividad ambiental se encuentra 662ppm en DQO por encima de la norma para cumplir la actual resolución 631 de 2015, el pH y los SST cumplen con lo establecido.

Se resalta que en este tratamiento integral no se contemplan Biodigestores para las mieles del café, con obtención de biogas y sólo se recomiendan para aguas residuales del lavado del café anteriormente con una fermentación natural del mucílago.

7.10 Evaluación hipótesis de trabajo.

- Se rechaza la hipótesis porque la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico sometidas al tratamiento no cumplieron con el decreto 1594 de 1984.
- Se acepta la hipótesis porque la mezcla agua-mucílago procedentes del desmucilaginado mecánico sometidas al tratamiento no cumplen con la resolución 631 de 2015.

- Se rechaza la hipótesis porque en todas las épocas de cosecha no hay gas metano suficiente para la combustión.

8. CONCLUSIONES

Es considerablemente positiva la remoción de los SST al hacer la relación con la norma ya que se encuentran por debajo de la misma si aplicamos vertimiento al suelo (80%), pero con respecto a los demás parámetros no se estaría cumpliendo con la normatividad ambiental.

Así mismo con los vertimientos a cuerpos de agua (resolución 631 de 2015), no se estaría cumpliendo con la normatividad encontrándose valores un por encima de la misma.

El Biodigestor siempre se alimentó solo con mezcla agua-mucílago del café procedentes del desmucilaginado mecánico, en las épocas de mayor producción no hubo presencia de gas metano suficiente para la combustión, y por ende no se pudo generar llama en la estufa de la cocina.

La alta acidez que se genera en la época de mayor producción no permite la actividad de las bacterias al interior del biodigestor, en las demás épocas si se genera biogás, lo anterior se debe al corto Tiempo de Retención Hidráulica que no permitió la descomposición de la carga orgánica existente, ocurriendo allí sólo el proceso de acidogenesis en época de cosecha.

Por medio del contacto telefónico con el administrador del predio cafetero donde se realizó la investigación, el épocas de graneos había suficiente gas para la combustión.

Para biodigestores donde el tratamiento es completamente anaerobio posiblemente se pueden mejorar los resultados de remoción de carga respecto a DQO si se incrementan TRH para este caso, lo cual sería para analizar en futuras investigaciones.

En los resultados obtenidos posterior al tratamiento se cumple con el decreto 1594 de 1984 en cuanto a una remoción > 80% en SST (95,14%). El pH tuvo como resultado 4 unidades encontrándose por debajo del parámetro mínimo requerido por la norma y DBO₅ (38,56) no cumple con la norma > 80% para verter al suelo.

La DBO₅ es uno de los parámetros más significativos en la descontaminación de aguas, porque de la disponibilidad de oxígeno en un cuerpo de agua, depende la vida de la flora y fauna del ecosistema, es la razón principal porque las mezcla agua-mucílago destruyen la vida de las fuentes de agua cuando son vertidas directamente y de igual forma para los lixiviados, sin tratamiento previo.

Según los resultados de Perdomo *et al*, 2008, es necesario dejar reposar las aguas mieles del primero y segundo lavado por un espacio mínimo de 48 horas, para que inicie la degradación de taninos y cafeína con la presencia de la luz solar, de lo contrario son aguas con demasiada acidez que afecta el funcionamiento de las bacterias anaeróbicas del interior del biodigestor y consecuentemente disminuye la producción de gas. Este estado de reposo no se tuvo en cuenta en la investigación, pero puede ser una recomendación previo al tratamiento para mejores resultados.

En los resultados obtenidos comparando el entrada tratamiento y el tratamiento respecto a la resolución 631 de 2015, se concluye que tanto el entrada tratamiento como el tratamiento no cumplen la normatividad, pero se encuentra más cerca el tratamiento de cumplirla sólo en términos de SST.

El sistema de tratamiento integral diseñado por Cenicafé se encuentra muy cerca de cumplir la normatividad actual para vertimiento a cuerpos de agua y con un total cumplimiento para verter al suelo, pero estos sistemas sólo son utilizados para aguas procedentes de lavado y no de desmucilaginado mecánico.

Se sugiere continuar la investigación con cálculos de TRH superiores a 20 días con respecto al día pico de cosecha, y evaluar la utilización de aguas residuales domesticas o pecuarias por su alto contenido de microorganismo o bacterias encargadas de realizar la descomposición de la materia orgánica existente Nitrógeno, Fosforo, etc., lo cual puede permitir mejorar los niveles de pH, remoción de carga en cuento a DQO, DBO₅ y SST, y de Biogas según lo analizado en la investigación realizada por Balsea y Cabrera 2011.

Para incrementar el TRH se debe incrementar las dimensiones del biodigestor, por lo tanto se elevaría el área para destinar en la finca al igual que los costos del mismo, lo cual posiblemente no sea viable para la mayoría de las fincas cafeteras, sería importante evaluar si es posible un equilibrio entre el TRH, remoción y costos.

Una recomendación puede ser mezclar las aguas de entrada al biodigestor con cal para bajar la acidez que no permite que las bacterias metanogénicas realicen su proceso de degradación o

descomposición aún con TRH superior a 20 días, para este proceso se debe realizar un aforo y la medición del pH en futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras y el autor expresan su agradecimiento a la Universidad de Manizales, Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo - CIMAD, a la Dra. Paula Uribe, al Dr. Jaime Jaramillo docente de la Universidad del Valle, al PhD. Mario Garcia, Docente e Investigador de la Universidad Nacional de Colombia, a la Ing. Maria Eugenia Cerquera y al personal de la finca el Cañón y a su propietaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALVAREZ G.J.** Despulpado del café sin agua. Chinchiná, CENICAFÉ, 1991. 6 p. (Avances Técnicos N° .164).
2. **BALSEA D., D.A. y CABRERA B., J.C.** Producción de biogás a partir de las aguas mieles y pulpa de café. Honduras, 2011. 27p.
3. **CALLE V., H.** Subproductos del café. Chinchiná, Cenicafé, 1977. 84 p. (Boletín Técnico N.6).

4. **CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ - CENICAFE.** Beneficio Ecológico del Café con manejo de subproductos. Manizales, 1995. 30 p.
5. **CENTRO - CIPAV.** Biodigestores de plástico para el tratamiento de aguas residuales pecuarias en Colombia. Sección I. Investigación y experiencias de multiplicación en países tropicales. Cali, 2002. 20 p.
6. **COLIN PHILIPPE.** El tratamiento anaerobio de las aguas residuales en Colombia histórico, posibilidades, limitaciones situación actual y perspectivas. Colombia, 1996. 29p.
7. **CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DE CAUCA.** Plan de acción trienal. Santiago de Cali, CVC, 2007. 132 p.
8. **DECRETO 1594 DEL 26 JUNIO DE 1984.** De las normas de vertimientos. Bogotá, 1984. 55p
9. **DECRETO N° 901 DE 1997.** De las normas de vertimientos. Bogotá, 1997. 9p.
10. **DECRETO 3930 DE 2010.** De las normas de vertimientos. Bogotá, 2010. 27p.
11. **FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FEDERACAFÉ.** BOGOTA. COLOMBIA. Sistema de información cafetera. Encuesta Nacional Cafetera, SICA. Estadísticas Cafeteras. Santafé de Bogotá, FEDERACAFÉ, 1997. 178 p.
12. **FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FEDERACAFÉ.** BOGOTA. COLOMBIA. Informe gerencia técnica. FEDERACAFÉ, 2011. 23 p.
13. **FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FEDERACAFÉ.** BOGOTA. COLOMBIA. Sistema de información cafetera. Encuesta Nacional Cafetera, SICA. Estadísticas Cafeteras. Santafé de Bogotá, FEDERACAFÉ, 2004. 178 p.
14. **IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.** Métodos Estadísticos aplicados a la Investigación Agrícola. Tegucigalpa – Honduras.
15. **ISAZA H.J. D.** Manual de Laboratorio de Biodigestión anaerobia y caracterización de aguas residuales. Chinchiná (Colombia). Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 1996. (Mecanografiado).
16. **MEJIA G., C.A.** Evaluación del desempeño técnico y ambiental del desmucilagador de café con rotor de varillas. Santiago de Cali, 2006.103 p.


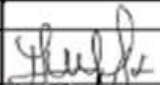

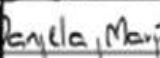

17. **LUGO C., C.I.; et al.** Control de contaminación de las aguas mieles del café a partir de la obtención de gas por medio de biodigestores. Santiago de Cali, 2009. 73p.
18. **OLIVEROS T., C.E.; et al.** El beneficio ecológico para pequeños productores. Chinchiná, CENICAFÉ, 1999. 4p. (Avances Técnicos N° .261).
19. **OLIVEROS, T., C.E.; et al.** Desmucilaginosos mecánicos de café. Chinchiná, CENICAFÉ, 1995. 4p. (Avances Técnicos N° .217).
20. **OLIVEROS T., C.E.; et al.** El Becolsub 300. Chinchiná, CENICAFÉ, 1998. 8p. (Avances Técnicos N° .253).
21. **PERDOMO N., C.A.; et al.** Manejo Biológico integrado de la pulpa de café y aguas mieles en PANACAM, Honduras, IHCAFE, 2008. 34p.
22. **PUERTA Q.,G.I.;** Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. Chinchiná, CENICAFÉ, 2001. 8p. (Avances Técnicos N° .284).
23. **RESOLUCIÓN 631 DE 2015.** De las normas de vertimiento. Bogotá, 2015. 62p
24. **ROA M., G.; et al.** Beneficio Ecológico del Café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1999. 273p.
25. **SISTEMA DE INFORMACIÓN CAFETERA -“SICA”.** Comité del Valle del Cauca. 2014.
26. **ZAMBRANO F., D.** Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná, CENICAFÉ, 1993. 8p. (Avances Técnicos N° .197).
27. **ZAMBRANO F., D.** Lavado del café en los tanques de fermentación. Cenicafé, 45(3):106-118. 1994.
28. **ZAMBRANO F., D.A.; and ISAZA H., J. D.** Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Cenicafé, 49(4):279-289. 1998.
29. **ZAMBRANO F., D.A.; et al** Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Chinchiná (Colombia) CENICAFÉ, 1999. 26p. (Boletín Técnico N° . 20).
30. **ZAMBRANO F., D.A.; et al** Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Chinchiná (Colombia) CENICAFÉ, 2006. 28p. (Boletín Técnico N° . 29).

- 31. ZAMBRANO F., D.A.; and CARDENAS C., J.** Manejo y tratamiento primario de lixiviados producidos en la tecnología Becolsub. Chinchiná (Colombia) CENICAFÉ, 2000. 8p. (Avance técnico N°. 280).

CIBERGRAFÍA

1. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_El_%C3%81guila.svg.
2. <http://www.sanut.com/energia-renovable-principal/que-es-un-biodigestor>
3. <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>

Anexo 1. Resultados de laboratorio

	REPORTE RESULTADOS DE LABORATORIO		RC-LA-0024 REVISION 1 MAYO - 2010	
	FECHA DEL INFORME: 2014-07-08		CONSECUTIVO: IE-0274-14	
EMPRESA SOLICITANTE:		Comité de Cafeteros Valle.		
DIRECCIÓN:		Finca el Cañon, vereda San Martin, Municipio El Aguila, Valle del Cauca.		
TELÉFONO:		3116132671		
FECHA DE MUESTREO:		2014-06-11		
TIPO DE MUESTRA:		Simple- Agua Residual.		
TOMADA POR:		Personal Empresa Solicitante		
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:		2014-06-13 Hora: 08 h 27 min		
FECHA DE ANÁLISIS:		2014-06-13 a 2014-06-18		
NOMBRE DE LA MUESTRA:		Salida Desmucilagador Código Laboratorio 0887-14		
ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	mg/L O ₂	Incubación 5 días DBO-5 SM-5210 E	18868,3	± 1,7
DQO	mg/L O ₂	Método Colorimétrico SM-5220 D	70400	± 15
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	Secado a 103°C SM- 2540 D	17300	± 223
<p>ACLARACION: Los resultados aqui presentados son validos unicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin</p> <p>OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, salvo solicitud del cliente.</p> <p>OBSERVACIONES: Las condiciones de la muestra en cuanto a tiempo de preservacion y recipientes no era adecuado al momento de la recepción en el laboratorio, sin embargo el cliente aprobó la realización de los análisis</p>				
ANÁLISIS SUBCONTRATADOS				
ANÁLISIS/MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	LABORATORIO SUBCONTRATADO
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
CONTROL DEL INFORME				
RESPONSABLES DEL ENSAYO	NOMBRE Y CARGO			
	Ana Maria Jimenez López Analista Fisicoquímico Laboratorio Ambiental			
		Martha Viviana Celis Echeverry Auxiliar Laboratorio Ambiental		
RESPONSABLE DEL INFORME	Elaboró Daniela Marin Cardona Auxiliar Laboratorio Ambiental			
	Aprobó Claudia M. Cardona Lindo - Lider Gestión ambiental y Director Técnico de Laboratorios			



REPORTE RESULTADOS DE LABORATORIO

RC-LA-0024
REVISION 1
MAYO - 2010

FECHA DEL INFORME: 2014-07-08 CONSECUTIVO: IE-0275-14 PAGINA 1 DE 1

EMPRESA SOLICITANTE:	Comité de Cafeteros Valle.
DIRECCIÓN:	Finca el Cañon, vereda San Martín, Municipio El Agulla, Valle del Cauca.
TELÉFONO:	3116132671
FECHA DE MUESTREO:	2014-06-11
TIPO DE MUESTRA:	Simple- Agua Residual.
TOMADA POR:	Personal Empresa Solicitante
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:	2014-06-13 Hora: 08 h 27 min
FECHA DE ANÁLISIS:	2014-06-13 a 2014-06-18
NOMBRE DE LA MUESTRA:	Salida Caja descarga Biodigestor Código Laboratorio 0888-14

ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
DBO ₅	mg/L O ₂	Incubación 5 días DBO-5 SM-5210 B	11590,0	± 1,7
DQO	mg/L O ₂	Método Colorimétrico SM-5220 D	27850	± 15
Sólidos suspendidos Total	mg/L	Decado a 103°C SM-2540 D	840	± 14

ACLARACIÓN: Los resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del Informe sin autorización del Laboratorio Ambiental.

OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, salvo solicitud del cliente.

OBSERVACIONES: Las condiciones de la muestra en cuanto a tiempo de preservación y recipientes no era adecuado al momento de la recepción en el laboratorio, sin embargo el cliente aprobó la realización de los análisis

ANÁLISIS SUBCONTRATADOS

ANÁLISIS/MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	LABORATORIO SUBCONTRATADO
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

CONTROL DEL INFORME

	NOMBRE Y CARGO	FIRMA
	RESPONSABLES DEL ENSAYO	Ana María Jiménez López Analista Físicoquímico Laboratorio Ambiental
	Martha Viviana Celis Echeverry Auxiliar Laboratorio Ambiental	
RESPONSABLE DEL INFORME	Elaboró Daniela Marín Cardona Auxiliar Laboratorio Ambiental	
	Aprobó Claudia M. Cardona Lindo - Líder Gestión ambiental y Director Técnico de Laboratorios	