



Evaluación de desempeño del reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente como tratamiento primario de las aguas mieles del café en el departamento del Valle del Cauca

Maria Eugenia Cerquera Rivera

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

Evaluación de desempeño del reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente como tratamiento primario de las aguas mieles del café en el departamento del Valle del Cauca

Maria Eugenia Cerquera Rivera

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar
el título de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Walter Murillo Arango
Doctor en Ciencias Químicas

Línea de Investigación:
Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

A Dios por darme las fuerzas y sabiduría.

*A mi esposo Lewis Castro Posada por su
Apoyo incondicional y comprensión.*

*A mi familia principalmente a mi
Madre María de Jesús Rivera vda. de Cerquera
Por su amor y sus oraciones.*

*Felíz el hombre que encontró la sabiduría y el que obtiene la inteligencia,
Porque ganarla vale más que la plata y ella rinde más que el oro fino.*

Proverbios 3, 13-14.

Agradecimientos

A los caficultores del Valle del Cauca, principalmente a los que hicieron posible el desarrollo de esta Tesis, María Romelia Santafé y Leonardo Osorio del municipio de Cartago, Jair de Jesús Jaramillo y Jesús Sánchez Zapata del municipio de El Águila, Luis Darío García y su hijo Luis Aníbal del municipio de Riofrío, como también al apoyo incondicional de la ingeniera Claudia Alexandra Mejía González, coordinadora del programa de beneficio del Comité de Cafeteros del Valle del Cauca.

Al ingeniero Andrés Julián Zambrano Giraldo, quien me permitió trabajar con su prototipo de reactor hidrolítico de flujo descendente.

Resumen

Se evaluó el funcionamiento de cuatro reactores hidrolíticos acidogénicos de flujo descendente "RHAFD" de 2 m³, instalados como tratamiento primario de las aguas mieles provenientes del lavado del café en fincas cafeteras del Valle del Cauca, con el fin de determinar su desempeño frente a los reactores hidrolíticos acidogénicos de flujo ascendente "RHAFa" que forman parte de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio (SMTA) que son recomendados para el tratamiento de las aguas mieles del café.

Los resultados del tiempo de retención hidráulica calculados en los RHAFD fueron de 47 horas (similar a las 48 horas reportadas para los RHAFa), calculado con base en la producción de café en el día pico en las fincas en las cuales está instalado y con base al consumo de agua utilizado en el lavado del café.

Los resultados del desempeño de los RHAFD, mostraron una remoción media de SST del 69,69%, de DQO del 31,64% y un valor medio de pH de 3,87, frente al desempeño de los RHAFa, en los cuales se obtuvo una remoción media de SST del 50,35%, de DQO del 47,50% y un valor medio de pH de 4,07.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se logró determinar que los RHAFa, que forman parte de los SMTA, muestran un mejor desempeño en la eliminación de la DQO y en el incremento del pH, influenciados posiblemente, por mecanismos de sedimentación, al no tener ningún empaque en su interior, mientras que los RHAFD muestran un mejor desempeño en la eliminación de SST, influenciado por el material de empaque al interior de los mismos.

Los efluentes de los RHAFD y RHAFD, no permiten cumplir con los valores de calidad para vertimientos condensados en el decreto 1594 de 1984 (vertimientos al suelo) y en la resolución 631 del 2015 (vertimientos a cuerpos de agua superficial), por lo que es necesario realizarles un tratamiento adicional.

Palabras clave: Contaminación hídrica, Aguas residuales de café, Reactor hidrolítico acidogénico de flujo ascendente, Reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente, Digestión anaerobia.

Summary

The performance of four 2 m³ RHAFD descending flow acidophilic hydrolytic reactors, installed as primary treatment of the honey water from coffee washing in coffee plantations of Valle del Cauca, was evaluated in order to determine their performance against the RHAFD "upstream flow hydrologic reactors forming part of the modular anaerobic treatment systems (SMTA) that are recommended for the treatment of the water of coffee.

The results of the hydraulic retention time calculated in the RHAFD were 47 hours (similar to the 48 hours reported for the RHAFD), calculated based on the production of coffee on the peak day in the farms in which it is installed and based on consumption of water used in washing coffee.

The results of the RHAFD performance, showed a mean removal of SST of 69.69%, of COD of 31.64% and a mean value of pH of 3.87, against the performance of the RHAFD, in which a Mean SST removal of 50.35%, COD of 47.50% and mean pH of 4.07.

According to the results obtained in the present investigation, it was possible to determine that the RHAFD, which are part of the SMTA, show a better performance in COD elimination and pH increase, possibly influenced by sedimentation mechanisms, With no packing inside, while the RHAFD show a better performance in the elimination of SST, influenced by the packaging material inside them.

The effluents of the RHAFa and RHAFD, do not allow compliance with the quality values for condensed spills in Decree 1594 of 1984 (land spills) and in resolution 631 of 2015 (spills to surface water bodies). Necessary additional treatment.

Key words: Water contamination, Coffee wastewater, Upflowing acidic hydrolytic reactor, Downflowing acidogenic hydrolytic reactor, Anaerobic digestion.

Contenido

Resumen.....	V
Contenido.....	VIII
Lista de Figuras.....	XI
Lista de Tablas.....	XIII
Listado de símbolos y abreviaturas.....	XIV
Introducción.....	1
1. Contexto del problema.....	4
2. Antecedentes investigativos.....	7
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo General.....	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
4. Hipótesis.....	19
5. Pregunta de investigación.....	19
6. Marco teórico.....	20
6.1 Beneficio del café.....	20
6.1.1 Tipos de beneficio húmedo.....	20
6.1.1.1 Beneficio Convencional.....	20
6.1.1.2 Beneficio ecológico con lavado en tanque tina.....	21
6.1.1.3. Beneficio ecológico con tecnología del beneficio ecológico del café y manejo de subproductos módulo BECOLSUB.....	22
6.1.1.4. Beneficio ecológico con lavado del café fermentado mecánicamente ECOMILL®.....	23
6.2 Composición del agua residual de café.....	24
6.3 Biodegradabilidad de las aguas del café.....	24

6.4 El proceso de la digestión anaerobia.....	25
6.4.1 Etapa Hidrolítica.	26
6.4.2 Etapa Acidogénica	27
6.4.3 Etapa Acetogénica	27
6.4.5 Variables que intervienen en la digestión anaerobia.....	28
6.4.5.1 pH.....	28
6.4.5.2 Temperatura	29
6.5 Principales procesos de tratamientos de aguas residuales	30
6.6 Principales procesos en el tratamiento de aguas mieles del café.....	34
6.7 El Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA.....	34
6.7.1 Ventajas del SMTA.....	34
6.7.2 Desventajas de SMTA	35
6.8 Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Ascendente RHAFD	35
6.8.1 Ventajas del RHAFD	38
6.8.2 Desventajas del RHAFD	38
6.9 Normas Legales Vigentes Colombianas.....	38
6.9.1 Decreto 1594 de 1984, Norma de Vertimiento.....	39
6.9.2 Decreto 3930 del 2010.....	40
6.9.3 Decreto 4728 del 2010	40
6.9.4 Resolución 1207 de 2014 Disposiciones relacionadas con el uso de Aguas Residuales Tratadas.....	41
6.9.5 Resolución 631 del 17 de marzo 2015.....	41
6.9.6 Decreto número 2667 de 2012:	43
6.9.7 Decreto único 1076 de 2015:	43
7. Materiales y Métodos	45
7.1 Ubicación geográfica	45
7.2 Seguimiento al funcionamiento del RHAFD	47
7.3 Metodología para la toma de muestras en los análisis físico-químicos.....	48
8. Análisis de Resultados	53
8.1 A la Ubicación Geográfica.	53
8.2 Al seguimiento en el funcionamiento del RHAFD y RHAFD DEL SMTA.....	53

8.3 Visita finca El Rubí donde se encuentra funcionando el SMTA.....	71
8.4 A los resultados de laboratorio.....	74
9. Conclusiones y recomendaciones.....	79
9.1 Conclusiones.....	79
9.2 Recomendaciones.....	79
Anexo A. Tipificación beneficiaderos	81
Anexo A. Tablas de seguimiento de visitas	84
Anexo B. Resultados de Laboratorio UTP.....	93
Bibliografía.....	98

Lista de Figuras

Figura 1. Reactor UASB.....	8
Figura 2. Sistema de Modular de Tratamiento Anaerobio- SMTA.....	10
Figura 3. Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Descendente RHAFD	12
Figura 4. Vista externa e interna del RHAFD	13
Figura 5. Vista de los puntos de salida del efluente y lodos del RHAFD.....	14
Figura 6. Beneficio con tanque tina	22
Figura 7. Módulo BECOLSUB 600 marca INGESEC	23
Figura 8. Tornillo sin con hélice en acero inoxidable.....	23
Figura 9. Módulo ECOMILL®.....	24
Figura 10. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos	26
Figura 11. Ubicación de3 Municipio de Cartago con respecto al Departamento del Valle del Cauca.	46
Figura 12. Ubicación de3 Municipio de El Águila con respecto al Departamento del Valle del Cauca	46
Figura 13. Ubicación de Municipio de R´56 Fr´56 con respecto al Departamento del Valle del Cauca	47
Figura 14. Etiquetas de las muestras	52
Figura 15. Toma de muestras para laboratorio.....	50
Figura 16. Detalles de fallas en la flauta.....	54
Figura 17. Detalles del sobrenadante de larvas e insectos.....	55
Figura 18. Sobrenadante consistente, cubrimiento del 50% al 100%	56
Figura 19. Higuerilla cubriendo el reactor y hueco con cubierta	65
Figura 20. Salida de lodos en los cuatro reactores.....	66

Figura 21. Área de adsorción del efluente del RHAFD	67
Figura 22. Acompañamiento de Zambiental a los sistemas.....	69
Figura 23. Reactores diferentes a los estudiados.....	71
Figura 24. Visita finca con SMTA- Vda. el Rubí.....	71
Figura 25. Reactores hidrolíticos, llave dosificador y flujo a los metanogénicos	73
Figura 26. Confrontación de los RHAFD 2 y 4 y los RHA del SMTA frente a la resolución 631 del 2015.....	77
Figura 27. Confrontación de los RHAFD 2 y 4, y los RHA del SMTA con el decreto 1594 de 1984	77
Figura 28. Informe de resultados de las Fincas El Amparo y Agua Clara	93
Figura 29. Informe de resultados de las Fincas Las Palmas y El Edén	95

Lista de Tablas

Tabla1. Reporte Resultados de laboratorio tomados a la salida del RHAFD de la finca Santa Helena, vereda Santa Helena del Municipio de Cali – Valle del Cauca.....	16
Tabla 2. Tratamientos Físicos.....	31
Tabla3. Tratamientos físico - químicos.....	31
Tabla 4. Comparación entre los sistemas convencionales.....	33
Tabla 5. Decreto 1594 de 1.984. Norma de Vertimientos.....	39
Tabla 6. Parámetros para vertimientos de café. Resolución 0631 del 17 de marzo 2015	42
Tabla7. Detalles de los tanques de las fincas evaluadas	58
Tabla 8. Tiempo de retención del RHAFD en cada finca evaluada	59
Tabla 9. Resultados del análisis en laboratorio de los cuatro RHAFD y los dos RHA del SMTA	74
Tabla 10. Resultados de la variación y remoción de las variables obtenidas de los laboratorios de la tabla 9.....	75
Tabla 11. Finca El Amparo, en la vereda Santa Elena. Municipio de El Águila. Caficultor Jair de Jesús Jaramillo	84
Tabla 12. Finca Agua Clara de la vereda Llano Grande, municipio de El Águila. Caficultor José de Jesús Sánchez.....	86
Tabla 13. Finca Oriente de la vereda Oriente. Municipio de Cartago. Caficultora María Romelia Santafé de Ortega.....	89
Tabla 14. Finca Las Palmas, de la vereda Oriente. Municipio de Cartago. Caficultor Leonardo Osorio.....	91

Listado de símbolos y abreviaturas

Símbolo

Símbolo	Término
@	Arroba

Abreviatura

Abreviatura	Término
ARL	Aguas residuales de lavado
ARnD	Aguas Residuales no Domésticas
BECOLSUB	Beneficio ecológico y subproductos
cps	Café pergamino seco
CVC	Corporación autónoma del Valle del Cauca
CC	Café cereza
DQO	Demanda química de oxígeno
DS	Despulpado en seco
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
kg	Kilogramo
L	Litro
mg	Miligramo
mL	Mililitro
min	Minuto
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
Q	Caudal
RD	Recámara dosificadora
RHAFA	Reactor hidrolítico acidogénico ascendente
RHAFD	Reactor hidrolítico acidogénico de flujo descentente
RM	Reactor metanogénico
SMTA	Sistema modular de Tratamiento anaerobio

XV Evaluación del desempeño del reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente como tratamiento primario de las aguas mieles del café en el departamento del Valle del Cauca

SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura
THR	Tiempo de retención hidráulica
UASB	(por sus siglas en inglés Upflow anaerobic sludge blanket) Reactor de lechos de lodos de flujo ascendente
VFA (AGV)	(por sus siglas en inglés Volatile fatty acids) ácidos grasos volátiles
VEA	Volumen específico de agua

Introducción

El café es el segundo producto que se comercializa a nivel mundial donde Colombia como país exportador participa con una producción de 14,5 millones de sacos de café de 60 kilos frente a la producción mundial de 151,6 millones de sacos en el año 2016, entre café arábigo y robustas (www.ico.org) y es el principal producto de origen agrícola, donde su preferencia son los cafés lavados que se producen en varios países del mundo principalmente en Centro América y Suramérica, siendo el Colombiano denominado como el mejor café del mundo (www.cafedecolombia.com). Dentro de los café lavados se tienen definidas dos calidades de suaves arábicos, que son los más apetecidos a nivel mundial los suaves colombianos que allí está Colombia, Kenia y Tanzania y otros suaves que se producen en centro américa como Costa Rica, México, Guatemala, Cuba entre otros. (García et al. 2004)

Este proceso genera aguas residuales con alta DQO, su concentración depende del volumen de agua con que se haya lavado el café. Los niveles pueden llegar a tener una concentración de 27.400 mg/L y un pH 4,0 – 4,5 (Zambrano et al. 1999) causando agotamiento del oxígeno cuando llegan a las fuentes de aguas superficiales destruyendo por asfixia la fauna y flora acuática. (Roa et al. 1999). Dentro de esta actividad se han desarrollado avances tecnológicos para mejorar el tratamiento de estas aguas porque posee características fisicoquímicas particulares agresivas, como el bajo pH, acidez alta y concentraciones de materia orgánica alta. Con un poder contaminante entre 60 y 240 veces superior a las aguas domésticas. (Rodríguez et al., 2015), buscando con ello conservar los recursos naturales, principalmente el recurso hídrico.

En países productores de café lavado, se han modificado tratamientos de aguas residuales de café con lagunas aerobias, dejando una como estabilizadora de cantidad y pH y la segunda cambiada por un reactor tipo U.A.S.B. por la eficiencia que es superior a una laguna de oxidación aerobia,(Jaubert, 2005) también se han estudiado y diseñado

reactores tipo U.A.B.S funcionando con un solo reactor ó separando las fases en dos reactores uno como hidrolítico- acidogénico y otro como el reactor metanogénico donde se logra mayor eficiencia, también denominados FaFa tanto en México, Costa Rica, Bolivia (Guardia, 2012; Jaubert, 2005) y también buscando nuevas alternativas innovadoras con otros tipos de reactores como de pistón en México.

Estos sistemas anaerobios están ampliamente establecidos en el mundo y en América Latina, pudiéndose adaptar a las características del material residual a tratar como a los lugares donde se quiera implementar (Bermúdez et al. 2016).

En Colombia en 1995 se desarrolló el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) para las aguas mieles del café, que permiten la separación de la fase hidrolítica acidogénica de la fase metanogénica, alcanzando una descontaminación superior al 90% (Roa et al. 1999), su implementación se ha dificultado por su manejo complejo, la exigencia en espacio y altitud para la ubicación de los reactores, además del costo que este representa.

Con el fin de poder vencer la resistencia a la instalación de sistemas de tratamientos de aguas mieles por parte de los caficultores vallecaucanos, se instaló el Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Descendente (RHAFD), cuyo afluente no ingresa al sistema por la parte inferior sino superior aprovechando la separación de los insolubles como un filtro biológico, funcionando con un concepto diferente a los sistemas ya estudiados; este sistema cuenta con el visto bueno de la Corporación Autónoma del Valle del Cauca (CVC) siempre y cuando el primer lavado sea mezclado con la pulpa en la fosa de reúso y el efluente del RHAFD sea dirigido a un campo de adsorción de plantas que cumplan esta función (ver anexo A)

El objetivo del trabajo es evaluar el funcionamiento de RHAFD diseñado por la empresa Zambiental, en términos de remoción de la contaminación generada por las ARL en Demanda Química de Oxígeno DQO, Sólidos Suspendidos Totales SST, potencial de Hidrógeno pH y compararlos con la resolución ambiental vigente Colombiana 631 del 2015 para vertimientos directos a fuentes hídricas, además con la norma de vertimiento al suelo, establecido en el decreto 1594 de 1984 en su artículo 72. Además comparar su

funcionamiento con los RHAFAs del SMTA. Con este propósito se le hizo seguimiento a cuatro RHAFD, dos en el municipio Cartago y dos en el municipio del El Águila, apoyados con las visitas realizadas a otros RHAFAs fuera de los establecidos previamente durante las jornadas labores cotidianas.

Con los resultados obtenidos de la evaluación se podrá analizar el desempeño del RHAFD diseñado por la empresa Zambiental y las recomendaciones sobre su operación; de acuerdo a estos resultados se podrá sugerir cambios o conservación de diseño y de igual manera sobre su operación para el buen funcionamiento de todos los reactores ya instalados en todo el departamento del Valle del Cauca, evitando siempre que las aguas residuales del café, lleguen a fuentes de agua de manera directa o indirecta y con ello disminuir el cobro de la tasa retributiva y el deterioro ambiental.

1. Contexto del problema

Las aguas residuales del café necesitan un tratamiento antes de ser vertidas al suelo ó a las fuentes de aguas, que permitan reducir su contaminación en términos de DQO, SST, SSED y grasas y aceites a los límites permisibles por legislación colombiana vigente, porque de no ser tratadas “están causando deterioro de la calidad del agua” como dice en el plan de gestión ambiental de la Corporación Autónoma del Valle del Cauca CVC. (Plan de acción Trienal CVC, 2012)

Uno de los sistemas de tratamientos integral que existe en Colombia para este tipo de aguas residuales es el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA, diseñado y probado por el Centro de Investigación Nacional del Café (Cenicafé), el cual logra el cumplimiento de lo establecido en el decreto 1594 de 1984 en su artículo 72 y es el que más se acerca a la normatividad de la resolución 631 de 2015 para café. Pese a los excelentes resultados del sistema y basada en la experiencia de trabajo con el comité de cafeteros del valle del Cauca y en visitas realizadas a los departamentos aledaños, se observa una escasa adopción de esta tecnología porque los caficultores manifiestan un manejo complejo además mucha demanda de tiempo en su mantenimiento, área considerable para los tanques además de diferencia de altura entre sus componentes que dificulta su instalación; esto ha ocasionado que se busquen nuevas alternativas que puedan dar manejo a las aguas residuales de lavado (ARL) y se facilite el acercamiento al cumplimiento de la normatividad legal ambiental vigente, disminuyendo o eliminando con ello el valor de la tasa retributiva y los efectos nocivos al medio ambiente .

Lo anterior se confirma con lo sucedido en año 2015, cuando en el departamento se instalaron 15 SMTA y sólo quedó funcionando uno con una serie de modificaciones que tuvo que hacer el caficultor para facilitar su funcionamiento, de acuerdo al seguimiento

realizado por el equipo de trabajo del programa de Beneficio del Departamento, quedando como constancia en los registros de visita del servicio de extensión y de acuerdo a la coordinación del programa, Cenicafé se encuentra realizando algunos cambios al sistema para activar nuevamente el funcionamiento de los 14 que no se encuentran activos. Lo anterior se debe también a la falta de incluir en su dinámica de trabajo el mantenimiento e inspección constante de sistemas de tratamiento para las ARL, las cuales siempre han arrojado directamente al suelo ó a fuentes hídricas.

En el departamento del Valle del Cauca, existen al año 2017, 26123 fincas cafeteras y 23579 caficultores, de la cuales 23617 son fincas que se encuentran con áreas en café hasta 5 ha, 9700 son menores a 1 ha, 10533 fincas tienen entre 1 a 3 ha de café, obteniéndose que el 86,74 % de las fincas tienen como máximo 3 ha en café, Sistema de Información Cafetera (SICA, 2017), estas fincas son consideradas como pequeñas, a las cuales hay que proporcionarles un abanico de alternativas asequibles y acordes a sus condiciones económicas, producción, espacio, topografía y disponibilidad de mano de obra.

Esto resalta la importancia del manejo de las ARL para el 86,74% de las fincas del Valle del Cauca que son pequeñas y en su mayoría realizan un proceso de remoción del mucílago con fermentación natural, cuyas aguas de beneficio afectan la calidad del agua sobre las cuencas de los ríos la vieja, el cauca y al océano pacífico (Dagua y Garrapatas), con aportes a la carga con SST del 2,30% al 10% y en DBO₅ del 4,71% al 17%, a través de los tributarios monitoreados Dagua , Anchicayá, San Juan, entre otros. (Plan de Acción Trienal CVC, 2012).

Este sistema es una opción a vencer la resistencia a la adopción de tecnología que minimice el impacto de las ARL, provenientes de los cafés procesados mediante fermentación natural y lavados con la técnica de los cuatro enjuagues preferiblemente en tanque tina, cuyo volumen de agua es alrededor de 5 litros por kilogramo de café pergamino seco, pH entre 4 y 5 unidades y una Demanda Química de Oxígeno, DQO, cercano a 27.400 mg/L. (Zambrano et al., 2006).

Con el ánimo de iniciar a introducir en la dinámica y cultura del Caficultor Vallecaucano el manejo de las ARL , en el año 2013 en el departamento del Valle del Cauca, se instalaron 77 RHAFD, tecnología desarrollada por la firma Zambiental, para el tratamiento primario de las ARL, sin embargo es necesario evaluar de manera más detallada el funcionamiento, las recomendaciones de operación y capacidad de remoción como tratamiento primario después de tener los RHADF un tiempo considerable de funcionamiento, para darle un manejo apropiado a sus efluentes, garantizando con ello que estas aguas residuales no lleguen a cuerpos de agua directamente ó al suelo sin tratamiento alguno.

2. Antecedentes investigativos

La producción de café a nivel mundial, ha motivado a desarrollar tecnologías que contribuyan al manejo de las aguas mieles, producto del proceso del beneficio por vía húmeda para obtener los cafés denominados suaves lavados, principalmente donde el mucílago es retirado por fermentación natural.

En Colombia se ha visto la evolución que ha tenido el proceso del beneficio tradicional, que es una práctica transmitida de generación en generación, donde se utiliza demasiada agua, en todas las etapas del proceso de beneficio hasta la disposición de los subproductos, con un consumo específico de 40 litros de agua por kilo de café pergamino seco (Roa et al 1999), a procesos con una filosofía ecológica, disminuyendo a consumos de agua globales de 4,5 L/kg cps (litros por kilogramo de café pergamino seco). (Roa et al., 1999)

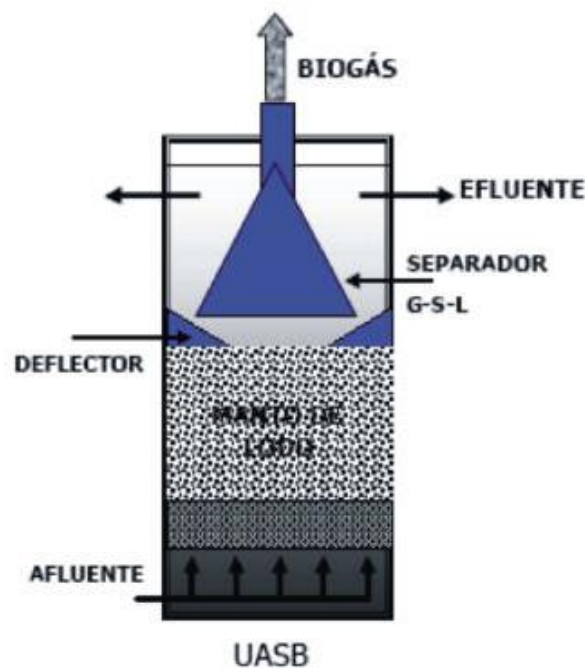
De acuerdo a las investigaciones desarrolladas por CENICAFE, se definen que el despulpar en seco, transportar la pulpa sin agua, realizar su compostaje bajo techo se controla el 74% de la contaminación total generada en el beneficio del café, el 26% restante corresponde a la contaminación generada por las ARL.(Roa et al., 1999)

Con el fin de disminuir el esfuerzo en el lavado del grano y permitir un mejor lavado al redondear las esquinas, se realizó la modificación del tanque tradicional a uno tipo tina . Para disminuir el consumo de agua en el lavado se realiza la implementación de la técnica de los cuatro enjuagues, donde se obtienen aguas residuales con una concentración constante de carga contaminante (DQO) entre 25.000 y 28.000 ppm, lo que hace que el tanque tina con este tipo de lavado, sea una herramienta importante para el

control de la contaminación en el proceso de beneficio y para la generación de aguas residuales homogéneas, que por su biodegradabilidad puede ser tratadas biológicamente y permiten el buen desempeño de los sistemas Modulares de tratamiento Anaerobio diseñados para el manejo de estas. (Zambrano, et al 1999)

El proceso anaerobio como tratamiento a las aguas mieles producidas en el beneficio del café ha sido utilizado a nivel internacional por su facilidad de biodegradación casi en su totalidad (Field, 1987), además que se han desarrollado diferentes tipos de reactores como el Reactor Anaerobio de Lecho Fluidizado de Flujo Ascendente (U.A.S.B por sus siglas en inglés "*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*"), en 1980 por Gatze Lettinga, a este sistema el material a biodegradar ingresa por la parte inferior. Dentro del sistema se producen gases, lodos anaerobios y actividad microbiológica por el crecimiento de colonias, en esta tecnología se puede identificar el manto de lodos, filtro de lodos de flujo ascendente y lecho expandido (Lettinga, 1986).

Figura1. Reactor UASB



Fuente: www.wastewaterengineering.com

Para que este sistema funcione adecuadamente el lodo anaerobio debe tener características de sedimentación y densidad aparente mayor que el flujo de fluido a tratar y el dispositivo debe facilitar la separación de gas, líquido y sólido además de un afluente uniforme en la base del reactor.

Una limitante marcada en los sistemas anaerobios con altos volúmenes y con altas concentraciones, es el tiempo de retención que debe tener, porque tienden a lavar la biomasa del reactor U.A.S.B. si es menor al tiempo establecido para su biodegradación. (Lettinga et al., 1984)

Estos reactores anaerobios permiten la biodegradación por fases llevando los compuestos orgánicos complejos a simples gracias a la hidrólisis y se ven afectados por la calidad del sustrato, el pH, el tiempo de retención hidráulica que permite el desarrollo de las bacterias acidogénicas como las metanogénicas. Las metanogénicas permiten la producción de gas metano. (Guardia, 2012)

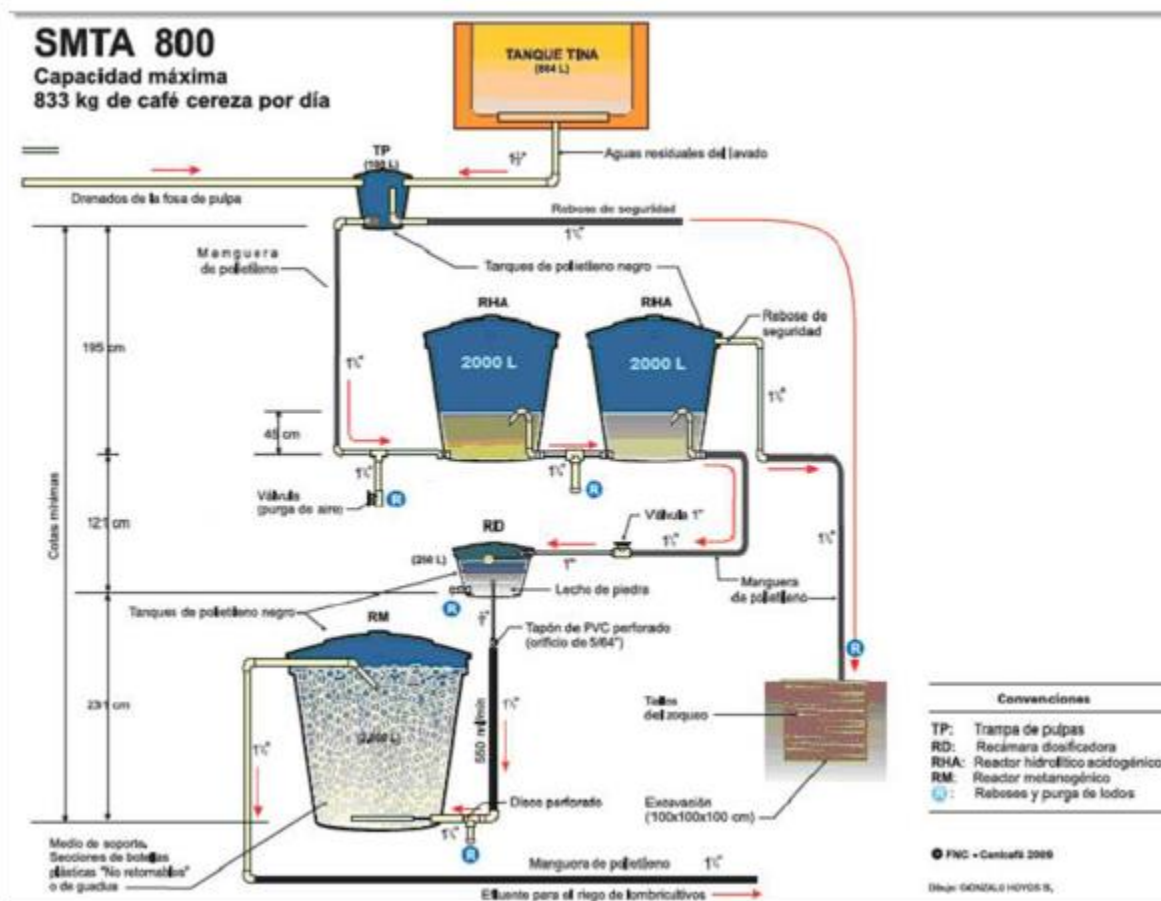
Teniendo en cuenta este principio de la biodegradación aprovechando estas bacterias, se hace el proceso en dos reactores, uno hidrolítico acidogénico y otro reactor metanogénico, con ello desarrolla CENICAFÉ la tecnología del sistema modular de tratamiento anaerobio SMTA en 1995 que alcanza una descontaminación superior al 90%. (Roa et al. 1999)

El Reactor Hidrolítico Acidogénico (RHA) y El Reactor Metanogénico (RM). Son componentes esenciales de un SMTA, aparte de estos dos reactores cuenta con una Recámara de Dosificación (RD) y una trampa de pulpa al inicio del sistema. (Zambrano et al. 1999; Zambrano et al. 2006)

El SMTA es un sistema que biodegrada las aguas residuales del café haciendo la separación de las fases en dos reactores, logrando allí un tiempo de retención hidráulica de 48 horas, para el reactor hidrolítico acidogénico, las bacterias trabajan en los ambientes apropiados, por la acción de los microorganismos presentes en el mucílago en el reactor hidrolítico acidogénico, que se desarrollan porque alcanzan temperaturas hasta de 30°C y las metanogénicas que son inoculadas en el reactor metanogénico

provenientes del estiércol del ganado vacuno ó porcino, que se adhieren a trozos de guadua ó botellas plásticas tapadas quedando en suspensión, (Zambrano et al., 1999; Zambrano et al., 2006). Este sistema requiere de suficiente diferencia de altura de terreno además de un área para su instalación que permita el flujo de las aguas mieles hidrolizadas y acidificadas, en un orificio de 7/64 pulgadas en la recámara dosificadora con un caudal cercano a 550 ml/min a los reactores metanogénicos por lo que requiere de personal capacitado y con tiempo para la revisión periódica por la facilidad con que se tapona el sistema; dependiendo de la finca se diseña el sistema acorde a la producción de la misma, son las unidades de polietileno o el volumen del mismo en cada una de las fases, incrementando los costos a medida que se aumenta la producción.

Figura2. Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio- SMTA



Fuente: Diseño SMTA sugerido por Cenicafé al Convenio Huellas de Paz (2014)

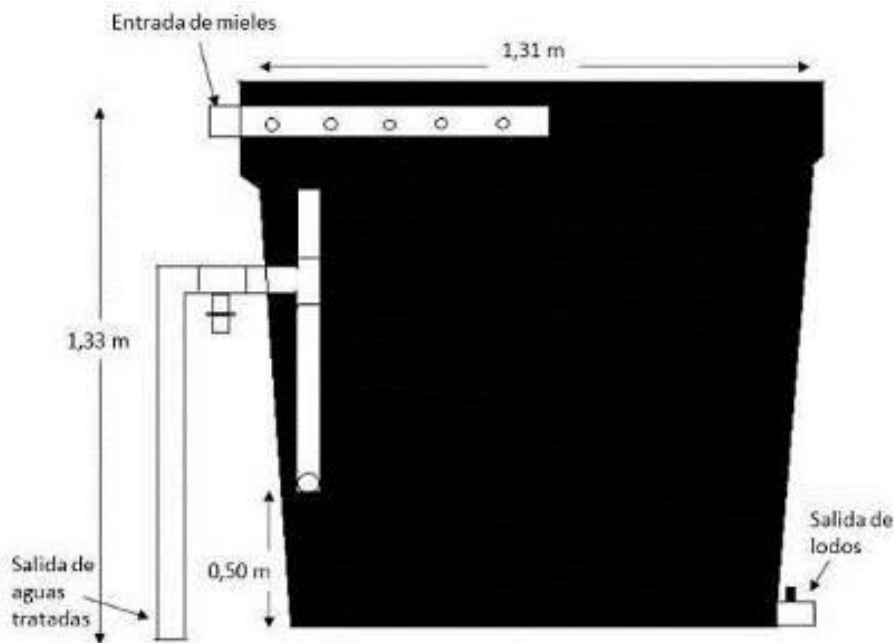
Como innovaciones en tecnología buscando sistemas que faciliten la biodegradación de las aguas mieles del café; en el XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica, del instituto de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas – México, se presentó el diseño y construcción de un reactor de pistón como prototipo de laboratorio para el tratamiento de aguas mieles provenientes del beneficio húmedo del café. El Reactor se diseñó en acrílico con un volumen total de 2,5 L, bajo parámetros de carga contaminante volumétrica y tiempo de retención hidráulica, donde trabajó con un caudal de 0,7 mL/min con tiempo de retención hidráulica de 52 horas. En la evaluación se realizó una cinética de degradación de la DQO inoculando con sedimentos anaerobios de una planta de tratamientos de aguas residuales, alimentado con aguas mieles de café, en este reactor se tuvo en cuenta el promedio de la DQO de entrada de 16.385 mg/L. De la cinética del reactor se encontró un efluente con una degradación de 4.880 mg/L, lográndose una disminución del 70%, que es significativa para la carga contaminante inicial, demostrando así que se puede trabajar con otras alternativas para lograr disminuir la carga contaminante de este tipo de vertimientos.(Instituto Tuxtla, México)

El reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente RHAFD, es un sistema donde su afluente ingresa por la parte superior descargándose en pequeños chorritos que presenta una flauta que cae sobre mínimo 120 frascos plásticos de 250 ml a 1000 ml tapados sin etiquetas y amarrados por ramilletes de 10 unidades, para la facilidad de manejarlos posteriormente, permitiendo bajar la velocidad de estas aguas y con ello que los insolubles se separen de acuerdo a su densidad, además son recipientes que se impregnan de las bacterias que traen las ARL, lográndose un tiempo de retención hidráulica de 48 horas, donde el sobrenadante constituido ayuda a disminuir en gran medida la velocidad de descenso de las ARL, además que retiene partículas insolubles.

En este sistema su efluente se ubica a 50 cm del fondo y con un diámetro de 2 pulgadas permitiendo el desplazamiento del agua clarificada y tratada, en este punto se resalta la importancia del volumen de agua de lavado que ingresa al sistema, donde la firma Zambiental aclara que ingresan los cuatro enjuagues siguiendo estrictamente la técnica del consumo del agua de 4,5 L kg/cps, CVC da el visto bueno con el aprovechamiento del primer enjuague en la fosa de reúso, contando con una válvula de chequeo en la parte externa para permitir el monitoreo de la saturación de lodos, como se observa en la

figura 3. Así mismo CVC, sugiere no tener rebose de seguridad en estos sistemas, dado que la falta de cultura del caficultor con el manejo de las aguas residuales podría utilizarse como una salida rápida al no mantenimiento y poca inspección, lo anterior ocasionaría un rebose de las aguas por la tapa del tanque o se impediría el paso de las aguas residuales al sistema primario, obligando así al mantenimiento.

Figura3. Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Descendente RHAFD



Fuente: La autora

Los reactores evaluados tienen una capacidad de 2000 litros, son de color negro y se resalta que es el primer prototipo de la firma Zambiental; donde el afluente entra por una flauta como se puede observar en la figura 4, que llega hasta la mitad del área del tanque como se observa en la figura No. 5 y no está pegada para ser removible ver figura 6, permitiendo de esta manera retirar el material que obstruye el flujo de la ARL, teniendo la precaución que el orificio que hay en el extremo quede siempre hacia abajo instrucción dada por el fabricante.

Figura4. Vista externa del RHAFD:

Se puede observar la manguera negra de 2" de diámetro que dirige las ARL al reactor, y la tubería de salida de las aguas al pasar con el tratamiento primario, la cuales al final son enviadas a la otra tubería negra de 2" de diámetro al campo de adsorción.



Fuente: La autora

Figura5. Vista interna del RHAFD:

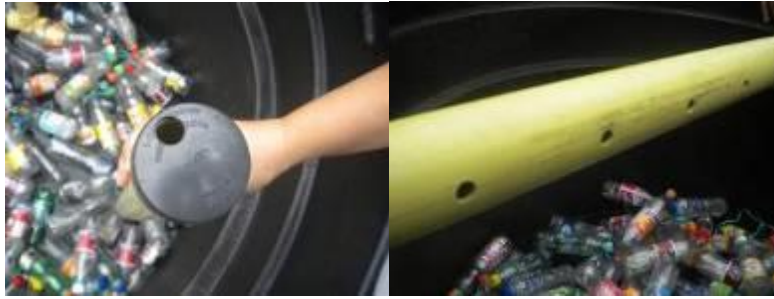
Se introducen 120 tarros plásticos con tapa y sin etiquetas, utilizados para disminuir el impacto y velocidad de ingreso de las ARL para facilitar la formación del sobrenadante.



Fuente: La autora

Figura6. Detalles de la flauta:

Tubo de PVC sanitario de 2" de diámetro, que distribuye el flujo al interior del reactor, a la vez que sirve como trampa de pulpa estos orificios, esta flauta no es fija y es retirada para sacar las impurezas que se almacenan en su interior.



Fuente: La autora

En la parte externa como se observa en la figura 7, se encuentra una válvula de chequeo que permite obtener una muestra del flujo del efluente, para verificar que los lodos no hayan alcanzado el nivel de la salida, en caso de ser así se debe hacer una extracción de ellos por la llave que se encuentra en la parte inferior, para ser llevados a la fosa e incorporados a la pulpa más seca y de esta manera ser compostados.

Vista de los puntos de salida del efluente y lodos del RHAFD

Figura7. Válvula de chequeo:

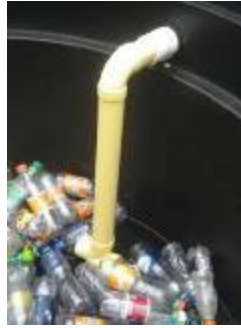
Llave de control que está sobre el tubo del efluente, para la inspección visual de su color, y evidenciar por cambio de color la colmatación por lodos, para realizar su respectiva evacuación en el momento oportuno y ser compostados en la fosa.



Fuente: La autora

Figura8. Vista interna de la toma del efluente:

Tubo de PVC sanitario de 2" de diámetro, que permite la salida de la ARL que han sido sometidas al tratamiento primario a una altura de 50cm.



Fuente: La autora

Figura9. Llave externa para descarga de lodos:

Llave de control en 2" que se encuentra en la parte inferior externa del tanque, para retirar los lodos cuando alcanza la altura de salida del efluente, estos lodos son mezclados con la pulpa.



Fuente: La autora

Este primer prototipo fue instalado en el departamento del Valle del Cauca, como tratamiento primario de las ARL, permitiendo un acercamiento del productor a la adopción de tecnologías con mayor facilidad de manejo.

En un estudio previo al sistema, el comité de cafeteros del Valle del Cauca le realizó un análisis al reactor hidrolítico instalado en la finca Santa Helena, de la vereda Santa Helena del municipio de Cali, en el año 2015. La muestra fue analizada por un laboratorio acreditado, cuyos resultados se presentan en la tabla No. 1.

Tabla1. Reporte Resultados de laboratorio tomados a la salida del RHAFD de la finca Santa Helena, vereda Santa Helena del Municipio de Cali – Valle del Cauca.

Parámetros	Resultado	Incertidumbre**	Unidades	Método	Documento
Acidez	1190	55	mgCaCO ₃ /L	SM 2310 B	SC-GT-31
DQO_Micro ^A	5402	73	mg O ₂ /L	SM 5220 D	SC-GT-04
Sólidos Suspendidos Totales ^A	215	2	Mg/L	SM 2540 D	SC-GT-10
pH ^A	4,40	0,04	Unidades	SM 450 OH ⁺ B	SC-GM-01
FIN DE REPORTE					

Fuente: Informe técnico comité valle- junio 2015

La muestra fue tomada el día 17 de Junio de 2015, a final de la cosecha. El consumo máximo de agua en todo el proceso de lavado en esta finca es de 4,5L/kg de c.p.s, en la finca Santa Helena, se despulpa sin agua, la pulpa es enviada por gravedad a la fosa y se clasifica y lava el café con consumo mínimo de agua indicado anteriormente.

Los resultados obtenidos fueron analizados y comparados por la coordinación del programa de beneficio en el Comité de Cafeteros del Valle del Cauca, basados en la información registrada por CENICAFÉ donde indica que la DQO de las mieles de café 27.400 mg/L que es tomado como la DQO de entrada al reactor, teniendo presente que no se realizó análisis a la entrada del RHFD

El sistema analizado se encontraba funcionando y estabilizado, donde presentó unas características en su efluente en SST ≤ 800 mg/L, cuando se refieren a estabilización en estos sistemas es cuando ya se puede observar la formación de capa en la parte superior

(ver figura 10), siendo esto positivo para evitar taponamiento de la porosidad del suelo superficial, la variable del pH fue inferior a la norma vigente la resolución 631 del 2015, por lo tanto la opción que presentó la coordinación fue corregir el pH con 25 kg de piedra caliza.

Figura 10. RHAFD con formación de la capa superior:

Se observa la consistencia del sobrenadante que aumenta la retención de insolubles cuando la atraviesan y sobre este se encuentran los tarros plásticos.



Fuente: Mejía, C. A., 2015

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño del Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Descendente como tratamiento primario para la remoción de la contaminación producida por las aguas mieles producto del beneficio del café en el departamento del Valle del Cauca.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar los 4 RHAFD, ubicados en los municipios de El Águila y Cartago, en los factores que inciden para su buen funcionamiento.
- Evaluar la capacidad de descontaminación de las aguas mieles del café por la implementación de un reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente que en su interior contiene botellas plásticas, con base a los parámetros de DQO, SST y pH
- Comparar el RHAFD con los RHAFD del SMTA, frente a la capacidad de remoción de la carga contaminante de las aguas mieles en los parámetros de DQO, SST y pH.
- Realizar seguimiento periódico a los 4 RHAFD del presente.

4. Hipótesis

El reactor hidrolítico acidogénico de flujo descendente, cumple en el desarrollo de sus dos primeras fases de la biodegradación de las aguas residuales del café, y de esta manera como tratamiento primario encaminado al cumplimiento de las normativas ambientales vigentes para vertimiento al suelo.

5. Pregunta de investigación

¿Qué impacto ambiental genera la utilización del Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Descendente RHAFD, en el manejo de las aguas mieles del café?

6. Marco teórico

6.1 Beneficio del café.

A nivel mundial se conocen dos tipos de beneficio, uno por vía húmeda, donde el fruto del café es despojado de su pulpa en fresco por la acción de una máquina despulpadora y luego entra a un proceso de fermentación natural entre 12 y 18 horas, allí ocurren diversas reacciones bioquímicas que descomponen el mucílago para luego ser retirado del grano en el momento del lavado de manera manual ó mecánica, posteriormente es llevado a secado solar ó mecánico. El consumo de agua en cada una de las etapas del proceso y el manejo apropiado de los subproductos es lo que diferencia un proceso convencional a un proceso ecológico donde el consumo específico de agua debe ser menor a 5 L/kg cps. En Colombia se sigue un proceso húmedo, que lo enmarca dentro de la categoría, “suaves lavados” para producir el café suave colombiano. (Rodríguez et al., 2015). En algunos países el proceso es por vía seca, donde la fruta recolectada es llevada directamente a secado solar ó mecánico y luego de tener el fruto seco es almacenado a granel, para luego retirar mecánicamente la pulpa seca, denominada criba, dejando la almendra desnuda. Los cafés procesados de esta manera son denominados cafés naturales. Este proceso se lleva a cabo en países como Brasil, Etiopia y Paraguay. (Duceja et al 2004, www.laquiadelcafe.org).

6.1.1 Tipos de beneficio húmedo

6.1.1.1 Beneficio Convencional.

Es un proceso que se ha realizado de generación en generación que 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. La fermentación es una etapa importante del proceso, en ella ocurren múltiples reacciones bioquímicas con la presencia de bacterias, levaduras y enzimas que transforman los compuestos pépticos y azúcares constituyentes del mucílago en alcoholes y ácidos carboxílicos, acético, láctico, propiónico y butírico, que luego se retiran con el lavado con agua limpia, según Roa *et al.* (1999). En el proceso tradicional se consume 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 *et al.*, 1999).

En el vertimiento de ARL a fuentes de agua, se tienen las siguientes consecuencias Roa *et al.* (1999):

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.¹

6.1.1.2 Beneficio ecológico con lavado en tanque tina.

En este proceso se reduce considerablemente el consumo de agua por el transporte del café cereza por gravedad a la tolva de la máquina, despulpado en seco DS, fermentación en seco y lavado con cuatro enjuagues utilizando máximo 4,17 L/ kg de c.p.s. (Zambrano, 1993) en un tanque tipo tina como se observa en la figura 6. 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

¹ Roa, G. M., Oliveros T. C., Álvarez, G. J. & Rodríguez, N., Beneficio Ecológico del Café. P. 13, 1999.

atribuye al manejo hidráulico de la pulpa, la cual en este caso es almacenada en fosas para su posterior aprovechamiento como abonos orgánico.

Figura 11. Beneficio con tanque tina



Fuente: La autora

6.1.1.3. Beneficio ecológico con tecnología del beneficio ecológico del café y manejo de subproductos módulo BECOLSUB.

Este equipo cumple con un despulpados seco “DS”, transporte de café en seco tanto cereza como en baba con la ayuda de un sinfín y no hay fermentación natural, sino que el mucílago es retirado mecánicamente e inmediatamente lavado con un consumo específico de agua inferior a 1,0 L/kg de c.p.s, en el desmucilagador.

En esta tecnología las mieles (compuestas de restos de pulpa y grano, mucílago y agua adicionada) se mezclan con la pulpa (Figuras 7 y 8), 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, en la figura 7 se puede observar un módulo BECOLSUB, con capacidad para procesar 600 kg de c.c/h.

Figura12. Módulo BECOLSUB 600 marca INGESEC



Fuente: INGESEC 2012

Figura13. Tornillo con hélice en acero inoxidable



Fuente: INGESEC 2012

6.1.1.4. Beneficio ecológico con lavado del café fermentado mecánicamente ECOMILL®

Con el fin de realizar un lavado mecánico del café fermentado con reducción notoria en el volumen específico de agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg⁻¹ de c.p.s, las ARL altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café en una fosa de reuso, reteniendo más del 95% del volumen adicionado ó deshidratándola para controlar hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso. Actualmente, se tienen tres modelos con capacidad para 500, 1.500 y 3.000 kg.h⁻¹ de café lavado, como se observa uno de ellos en la figura 9. (Oliveros et al., 2013)

La tecnología ECOMILL® utiliza un tanque cilíndrico con el fondo en forma de cono truncado invertido con inclinación de 60° para fermentar el café y luego cae al alimentador para transportarlo al lavador mecánico. (Oliveros et al., 2013)

Figura14. Módulo ECOMILL®



Fuente: Muñoz, A. 2016

6.2 Composición del agua residual de café.

Teniendo en cuenta el proceso de beneficio de café, las mieles contaminan en un 26%, estas aguas mieles contienen básicamente ácidos orgánicos simples, pectinas y azúcares provenientes del mucílago. (Field, 1987). De acuerdo a los estudios realizados por Cenicafé, en un proceso de lavado con 4 a 5 litros de agua por kg de café pergamino seco, la DQO es cercana a las 27000 ppm, esta es la razón principal por la cual las aguas residuales del beneficio del café deben tener un tratamiento que se ajusten a las normas ambientales vigentes.

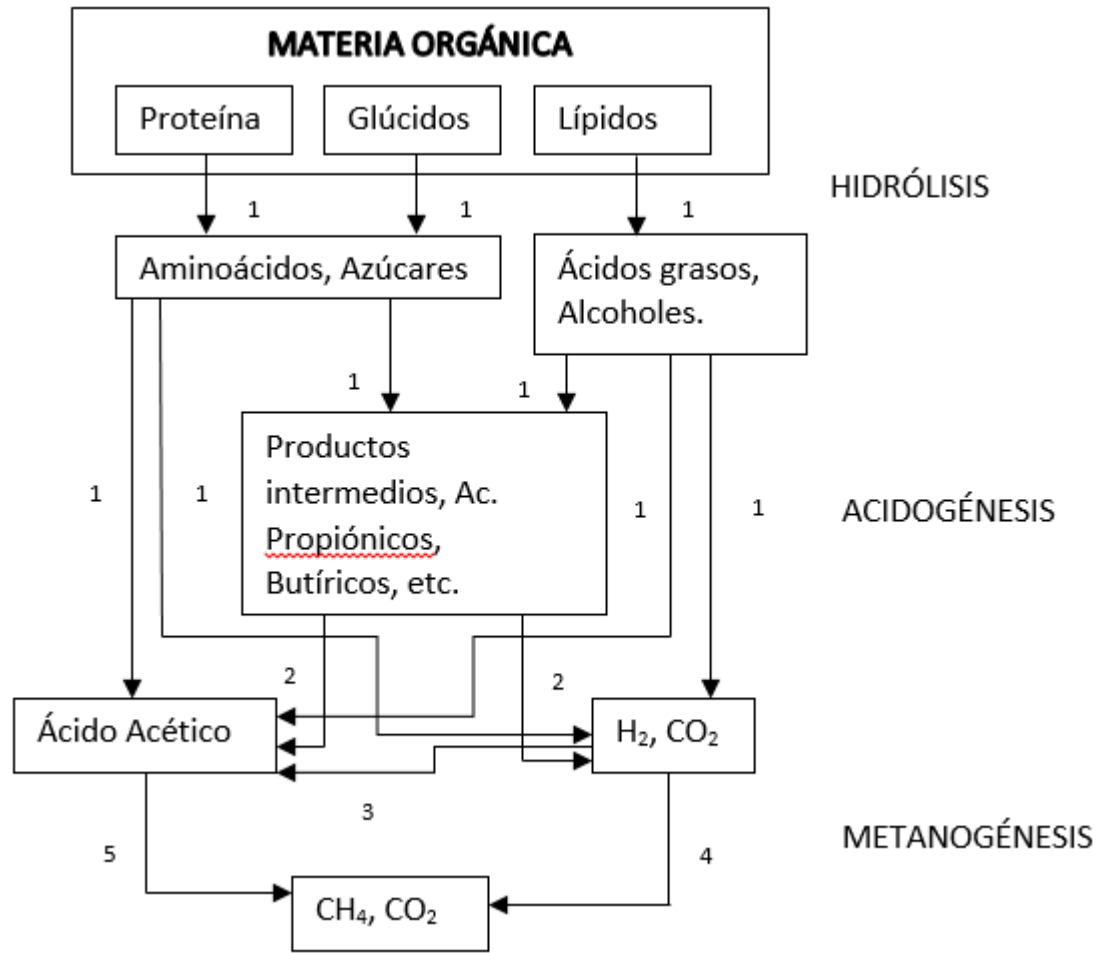
6.3 Biodegradabilidad de las aguas del café.

El agua residual del café es biodegradable casi en su totalidad en una digestión anaerobia, porque contiene ácidos orgánicos simples de pectina, azúcares, proteínas y pequeñas cantidades de cafeína y fenoles (Taninos y ácidos clorogénicos) estos últimos son toxinas potenciales para el proceso anaeróbico, además estas aguas residuales son fácilmente fermentables por la microbiota natural, por esta razón este proceso anaerobio

tiene mayor acogida, por su gran ventaja en la reducción de la carga orgánica contaminante de las aguas residuales del beneficio del café, permitiendo instalaciones de bajo costo, baja producción de lodos y producción de biogás. (Field, 1987; Rodríguez et al., 2000).

6.4 El proceso de la digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo de la materia orgánica, que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno realizada por unas bacterias específicas a productos gaseosos conocidos como biogás (dióxido de carbono, gas metano, entre otros). En esta biodegradación se distinguen tres procesos la hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, que son realizadas de manera consecutiva por 5 grandes grupos de bacterias definidas, desarrolladas en cuatro etapas hidrolítica, acidogénica, acetogénica y metanogénica como se puede observar en la figura 10. (Cámara & Lines, 2011; Marti, 2006). Este proceso anaerobio constituye la base principal de una tecnología para tratar residuos orgánicos, siendo un sistema adecuado y sostenible para los países desarrollados y en vía de desarrollo, además porque sus instalaciones resultan ser más económicas. (Guardia, 2012). Este proceso se ve afectado por la temperatura y el pH del material biodegradado.

Figura15. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos

1. Bacterias Hidrolíticas Acidogénicas
2. Bacterias Acetogénicas
3. Bacteria Homoacetogénicas
4. Bacterias Metanogénicas hidrogenófilas
5. Bacterias Metanogénicas Acetocláticas

Fuente: Cámara & Lines, 2011

6.4.1 Etapa Hidrolítica.

Es la primera etapa de la biodegradación, es muy importante porque los compuestos complejos orgánicos como lípidos, proteínas, hidratos de carbono y compuesto inorgánicos, se hacen más asequibles para las bacterias como fuente de energía y carbono porque son hidrolizados en compuestos más pequeños. Esta hidrólisis es llevada a cabo por las enzimas extracelulares excretadas por las bacterias fermentativas,

celulosa, amilasa, lipasa ó proteasa que son hidrolizadas por diferentes grupos enzimáticos. La hidrólisis puede ser la etapa más limitante de la velocidad del proceso global de biodegradación; esta etapa hidrolítica depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulica TRH, del tamaño de las partículas, de la composición del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del pH, de la concentración de NH_4 y de la concentración de los productos de la hidrólisis. (Cámara &Lines, 2011; Marti, 2006; Trueba, 2012)

6.4.2 Etapa Acidogénica

Los productos obtenidos en la etapa anterior como azúcares y aminoácidos, son fermentados por los microorganismos y bacterias fermentativas, formando compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas como ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono y compuestos orgánicos más simples como ácido láctico, etanol, propiónico y butírico que deben ser oxidados por bacterias acetogénicas a compuestos que puedan utilizar los metanógenos, la proporción de estos compuestos está en función del consumo de hidrógeno de los microorganismos.

Los azúcares pueden ser metabolizados por diversos microorganismos, los principales son del género clostridium que convierte la glucosa y algunos aminoácidos en ácidos butíricos, acéticos, CO_2 y H_2 , también se encuentran las bacterias propiónicas que producen ácido propiónico. (Cámara &Lines, 2011; Marti, 2006)

La glucosa se convierte en piruvato mediante la ruta de Embden – Meyerhof y el piruvato se desdobla a Acetil CoA y CO_2 , esta reacción es conocida como glicólisis, cuya finalidad es conseguir energía para la célula. (Marti, 2006).

De la fermentación de los aminoácidos y otras cadenas nitrogenadas se producen los ácidos grasos volátiles de cadena corta AVG. (Cámara &Lines, 2011)

6.4.3 Etapa Acetogénica

En esta etapa son degradados los productos obtenidos en la etapa anterior como son los ácidos grasos de cadena larga y cadena corta (AVG), a través del proceso conocido

como “la ruta bioquímica denomina β – oxidación” que es un ciclo en espiral, va produciendo moléculas Acetil CoA y moléculas propionilCoA.

Cuando los ácidos son degradados, simultáneamente sucede la deshidrogenación del ácido graso, y la β - oxidación es sensible a la presión por la concentración de H_2 , convirtiéndose en el elemento principal inhibitorio del proceso. (Trueba, 2012)

Existen varios tipos de bacterias acetogénicas, las principales son las homoacetogénicas, que se consumen el H_2 y CO_2 y producen acetato, de estas se destacan el acetobacteriumwoodii o clostridiumaceticum. (Cámara &Lines, 2011)

6.4.4 Etapa Metanogénica:

En esta etapa se finaliza el proceso anaerobio de la biodegradación de los productos obtenidos en las etapas anteriores por las bacterias metanogénicas, principalmente en la última etapa ácido acético e hidrógeno, produciendo metano y CO_2 .

Este proceso se lleva a cabo por dos grupos de bacterias, la metanogénesis acetoclásticas que biodegradan el ácido acético en metano y CO_2 , por la reacción de la metanogénesis hidrogenotrófica, donde la producción de metano se da por la reutilización de H_2 como dador de electrones para reducir CO_2 . (Trueba, 2012)

6.4.5 Variables que intervienen en la digestión anaerobia.

6.4.5.1 pH

Es un parámetro importante en la digestión anaerobia, principalmente para la etapa metanogénica, donde el pH debe estar entre 6,5 y 7,5 siendo el óptimo 7 (Acosta, 2005), pero en un estudio realizado por Pérez, Zoraya-2013, encontró que no existe una influencia marcada del pH en la producción total de AGV. Para que haya un proceso anaerobio satisfactorio, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8. Al aumentar el pH favorece la formación de amoníaco, con alta concentración de este inhibe el crecimiento bacteriano, y al bajar el pH se genera mayoritariamente la forma no ionizada de ácido acético que inhibe la degradación del propionato. (Marti, 2006)

La acidificación de un reactor se puede presentar por el desequilibrio presentado en la producción y consumo de ácidos volátiles, la acumulación de estos provoca un descenso en el pH. (Marti, 2006)

6.4.5.2 Temperatura

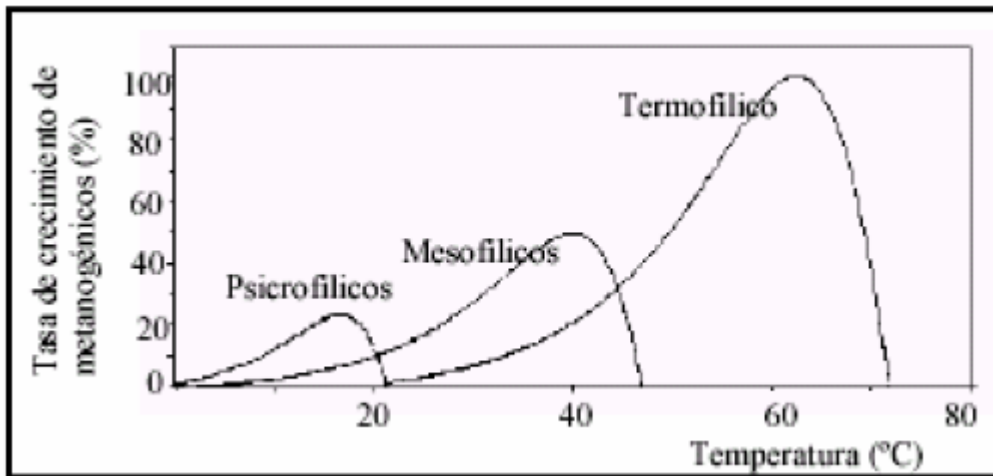
Es un factor determinante para la velocidad con la que se lleva cualquier proceso biológico, porque la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados en cada etapa del proceso, dependen de la temperatura, a medida que aumenta la temperatura aumenta la velocidad de crecimiento. (Marti, 2006).

Marti afirma que la temperatura de operación del digestor es un parámetro principal para el diseño, debido a la gran influencia en la velocidad de la digestión anaerobia.

Los microorganismos anaerobios trabajan a diferentes rangos de temperatura, están los psicrófilos que trabajan a temperaturas menores a 25°C, los mesófilos (temperaturas entre 25°C – 45°C) ó termófilos (temperaturas entre 45 °C – 65°C), estos últimos son más inestables.

La actividad mesofílica es la más utilizada actualmente, pero la tendencia es a implementar los rangos termofílicos, para conseguir una mayor velocidad del proceso. Se puede tener la mezcla de las dos, primero un desarrollo termofílico y luego uno mesofílico para hacerlo más estable. (Marti, 2006).

La solubilidad de los gases generados en un reactor metanogénico desciende al aumentar la temperatura, favoreciendo la transferencia líquido-gas. (Marti, 2006).

Figura16. Dependencia de la constante de crecimiento de temperatura.

Fuente: Marti, 2006

6.5 Principales procesos de tratamientos de aguas residuales

“Los sistemas de tratamientos resultan de la combinación de procesos y operaciones unitarias en los que se pueden diferenciar distintos niveles, dependiendo de los objetivos que se deseen cumplir. La selección del sistema depende de diferentes factores como: Las características del agua residual (DBO_5 , SST, pH, productos tóxicos, entre otros), calidad del efluente necesario para la descarga, costos y disponibilidad de terreno y de las tecnologías disponibles”. (Piñuela, G & Morató, J, 2009)

Piñuela & Morato, clasifican los tratamientos teniendo en cuenta las condiciones anteriores en: tratamiento primario (físico – químico), secundario (Biológico: aeróbico ó anaeróbico) y terciario (adsorción- filtración – desinfección).

En sistema primario cuyo proceso es físico y/o químico, su objetivo principal es la retención de insolubles de origen orgánico ó inorgánico evitando obstrucciones en los sistemas siguientes. De este tipo se tiene los siguientes:

Tabla 2. Tratamientos Físicos

Procesos Físicos	Objetivos
Desbaste	Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices)
Desarenado	Separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1mm - 1m
Flotación	Remoción de grasas y aceites (arrastre por burbujas de aire)

Fuente: Piñuela, G & Morató, J, 2009.

Un tratamientos físicos/químicos, actúan bajo la base de la coagulación y floculación, para ello necesitan adicionar productos coagulantes para neutralizar las cargas, mientras que la floculación requiere de polímeros orgánicos que aumenten el tamaño del coágulo. (Piñuela, G & Morató, J, 2009)

Tabla3. Tratamientos físico - químicos

Procesos Químicos	Objetivo
Coagulación / Floculación	Mejora la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades físico-químicas de las partículas, acelerando su decantación. Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices).

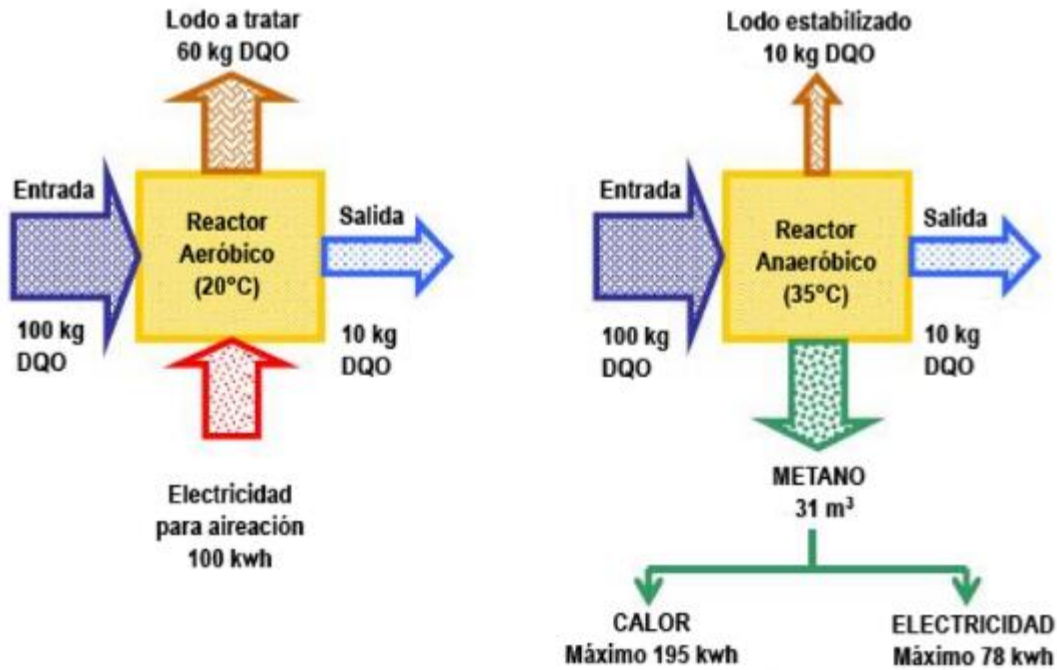
Fuente: Piñuela, G & Morató, J, 2009

Los sistemas secundarios realizan una biodegradación de las aguas residuales por la acción de microorganismos aeróbicos ó anaeróbicos, utilizan la materia orgánica como nutriente.

Entre estos sistemas se pueden identificar dos: uno con la biomasa suspendida y otro con la biomasa fija Piñuela, G & Morató, J, 2009.

Los sistemas con biomasa fija, ó los microorganismos forman biopelículas ó biofilm, son robustos, ocupan menos espacio, tienen alta capacidad de remoción en el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica con elevada eficiencia de remoción. (Piñuela, G & Morató, J, 2009)

Figura17. Comparación de tratamientos biológicos aeróbicos y anaeróbicos

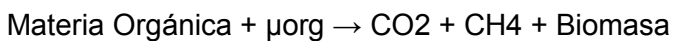


Fuente: Piñuela, G & Morató, J, 2009

Un sistema con tratamiento aeróbico, biodegrada la materia orgánica con microorganismo aeróbicos, es decir, en presencia de oxígeno, en dióxido de carbono, moléculas de agua, y biomasa microbiana, requieren de una aireación continua. Una desventaja que presenta es el costo de energía para airearla y el espacio que requiere. Se resume de la siguiente manera:



Un sistema anaeróbico, biodegrada la materia orgánica en ausencia de oxígeno, a través de distintas reacciones bioquímicas que transforman la materia orgánica contaminante en biogás, cuyos principales componentes son el gas metano CH_4 y gas carbónico CO_2 , entre otros como el ácido sulfídrico H_2S , e Hidrógeno H_2 , se lleva a cabo en temperaturas entre 30- 37°C. Se resume de la siguiente manera:



En este sistema se destaca el UASB, que presenta tres zonas: Una de lecho expandido, otra de lecho fluidizado y otra de zona fluidizada (explicado ampliamente en los antecedentes). Una desventaja de este tipo de sistemas es la puesta en marcha porque es lento el crecimiento de microorganismos anaeróbicos. (Piñuela, G & Morató, J, 2009).

Piñuela & Morató, definen a los sistemas terciarios, como los sistemas que cumplen con las normas legales vigentes, dependiendo del uso del agua tratada. Este sistema elimina compuestos específicos que no han sido eliminados por los sistemas primarios ó secundarios. En este caso se puede citar la adsorción con carbón activado, para eliminar compuestos organoclorados ó la desinfección para eliminar patógenos mediante la cloración u ozonización entre otros.

En la tabla 4, se puede observar el porcentaje de descontaminación de acuerdo al sistema aplicado, y como se va mejorando la descontaminación en la medida que se avanza con la implementación de un sistema más avanzado.

Tabla 4. Comparación entre los sistemas convencionales

Parámetro	Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario
DBO ₅	35	90	99.9
DQO	30	80	99.8
Sólidos Suspendidos	60	90	100
Nitrógeno	20	50	99.5
Fósforo	10	30	99.3

Fuente: Piñuela, G & Morató, J, 2009

6.6 Principales procesos en el tratamiento de aguas mieles del café.

Teniendo en cuenta la anterior información en la clasificación de los sistemas, se puede decir que los sistemas más utilizados a nivel mundial para la biodegradación de las aguas mieles son los sistemas secundarios, donde se han implementados, lagunas de oxidación como sistema aeróbico, los reactores tipo UASB, ya explicados, donde se desarrollan todas las fases de la biodegradación, el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA que es el desarrollado y aprobado por Cenicafé como sistema integral completo donde se alcanzan remociones en la descontaminación de las ARL superiores al 90%, también se están utilizando como sistema mixto el biodigestor, donde se cuentan con explotación de especies menores como cerdos, para la biodegradación anaerobia de la ARL.

6.7 El Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA.

Es un sistema integral que permite la separación de las fases hidrolíticas – acidogénicas como tratamiento primario y la metanogénicas, como tratamiento secundario para la biodegradación de las ARL del café, permitiendo reacciones diferentes de las aguas del lavado del café fermentado con un consumo específico de agua máximo de 5 L/kg cps. Este sistema está constituido por una trampa de pulpas, los Reactores Hidrolíticos Acidogénicos de Flujo Ascendente RHAF, la recámara dosificadora que regula el flujo de su efluente en un orificio de 7/64 pulgada, a un caudal constante alrededor de 550 ml/min, terminando el proceso de biodegradación en el reactor metanogénico que debe ser previamente inoculado con bacterias metanogénicas provenientes de estiércol de ganado vacuno.

6.7.1 Ventajas del SMTA

- No requiere de consumo de energía eléctrica, aprovecha la energía solar.
- No requiere la adición de reactivos químicos para neutralizar, ni balancear la composición química de las aguas residuales del café

- Al realizar la separación de las fases hidrolíticas-acidogénicas de las acetanogénica y metanogénica, permite manejar recipientes más pequeños y de manera modular.
- Se alcanza una biodegradación superior al 90% en la DQO.
- Cumple con el decreto de vertimiento al suelo 1594 de 1984

6.7.2 Desventajas de SMTA

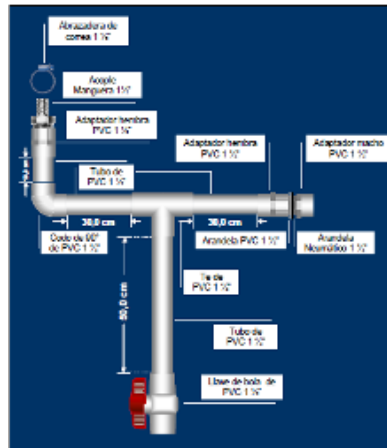
- Se colmata fácilmente la trampa de pulpa y la recámara dosificadora.
- Presenta rebose en los RHAFA de las ARL, sin tratamiento alguno al suelo.
- Requiere revisión periódica después de cada enjuague de la trampa de pulpas,
- Diariamente requiere inspección de la recámara dosificadora.
- Se necesita contar con diferencia en altura entre un componente y otro, por lo tanto requiere de buen espacio y con pendiente.
- Recargar y estabilizar los reactores metanogénicos.

6.8 Reactor Hidrolítico Acidogénico de Flujo Ascendente RHAFA

Está conformado por un tanque de polietileno negro en tronco de cono, multiusos, de 2 m³, la altura total es de 156 cm sin tapa, un diámetro superior de 146 cm y un diámetro inferior de 115 cm, las ARL ingresan al reactor por el fondo a través del accesorio que se observa en la figura 18, las aguas tratadas salen a una altura de 56 cm del fondo a través del accesorio denominado cuello de ganso, como se observa en la figura 19; cuando la producción amerita aumentar los tanques se coloca el accesorio que se muestra en la figura 15 y cuando se presenta rebose se tiene un acceso para permitir la salida de las ARL por rebose en el accesorio. (Villarraga, 2009).

Figura 18. Accesorio de ingreso al RHAFA

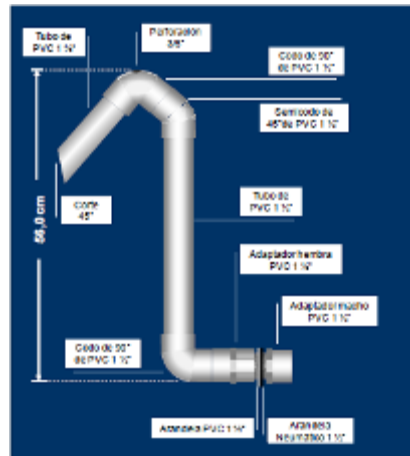
Este accesorio toma la salida de la trampa de pulpas y permite el ingreso de las ARL al RHAFA, cuenta con una llave de control lateral para cualquier obstrucción.



Fuente: Villarraga, 2009

Figura 19. Accesorio en forma cuello de ganso

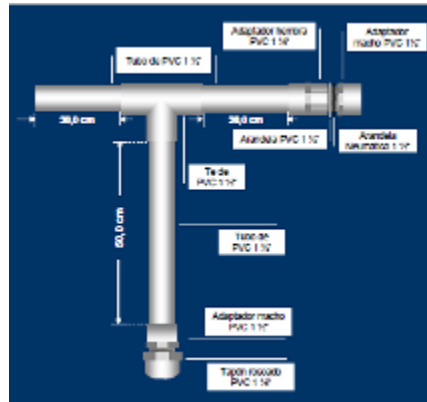
Permite la salida de las ARL tratadas.



Fuente: Villarraga, 2009

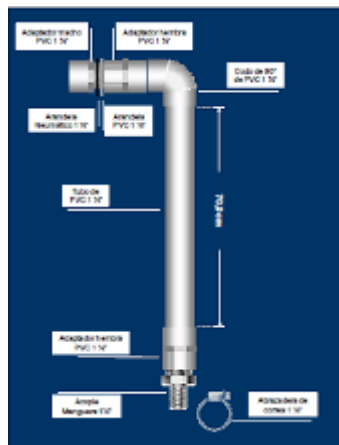
Figura 20. Accesorio de conexión con otro RHAFA

Cuando se requiere más de un RHAFA, se hace necesario este accesorio y también cuenta con llave de salida, en este caso es para los lodos.

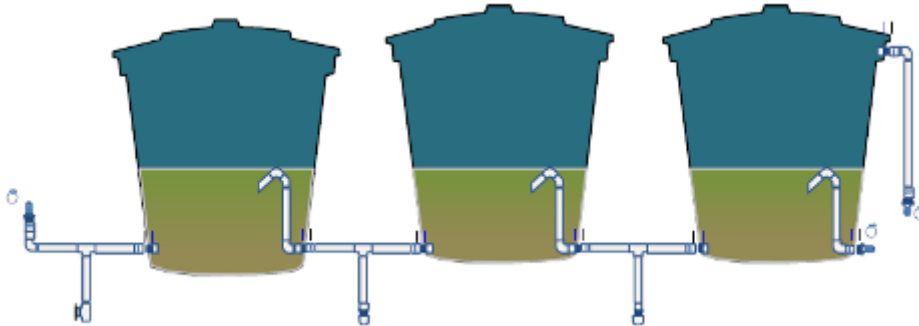


Fuente: Villarraga, 2009

Figura 21. Accesorio para canalizar exceso de ARL evitando rebose.



Fuente: Villarraga, 2009

Figura 22. Vista de los RHAFA con sus accesorios.

Fuente: Villarraga, 2009

6.8.1 Ventajas del RHAFA

- TRH suficiente (48 horas), que favorecen el contacto íntimo tanto de la biopelícula como del Floc granular suspendido con las aguas residuales.
- Permite el trabajo específico de las bacteria especializadas en la hidrólisis y acidogénicos.
- Alcanza una alta retención de insolubles.

6.8.2 Desventajas del RHAFA

- Salida de ARL sin tratamiento por exceso de la misma.

6.9 Normas Legales Vigentes Colombianas

Dentro de las normas más relevantes para el manejo de las aguas residuales de café se tienen el decreto 1594 de 1984 regulando los vertimientos al suelo y la resolución 631 del 2015 donde especifica los parámetros de calidad de las aguas residuales del café.

Para que estas normas sean aplicadas las corporaciones autónomas son las autoridades ambientales obligadas en hacerlas cumplir como lo expresa el decreto 3930, el decreto

4728 del 2010 y pueden generar el cobro de la tasa retributiva aplicando el decreto 2667 del 2012.

Con el fin de poder tener un uso responsable del agua y permitiendo un desarrollo sostenible que proteja el recurso hídrico se tiene la resolución 1207 del 2014.

6.9.1 Decreto 1594 de 1984, Norma de Vertimiento

Artículo 72. Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos con la siguiente norma que se observa en la tabla No 2.

Tabla 5. Decreto 1594 de 1.984. Norma de Vertimientos

Referencia	Usuario Existente	Nuevo Usuario
pH	5 – 9 unidades	5 – 9 unidades
Temperatura	40 °C	40 °C
Material Flotante	Ausente	Ausente
Grasas y Aceites	Remoción 80% en carga	Remoción 80% en carga
Sólidos Suspendidos Totales Domésticos ó Industriales	50% en carga	80% en carga
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅		
Para desechos domésticos	Remoción 30% en carga	Remoción 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción 20 % en carga	Remoción 80% en carga

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

6.9.2 Decreto 3930 del 2010.

Artículo 7. Parágrafo: Mientras el ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, expide la guía nacional de modelación del recurso hídrico, las autoridades ambientales competentes, podrán seguir aplicando, los modelos de simulación existentes que permitan determinar la calidad asimilativa de sustancias biodegradables o acumulativas y la capacidad de dilución de sustancias no biodegradables, utilizando por lo menos los siguientes parámetros:

1. DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días.
2. DQO: Demanda Química de Oxígeno.
3. SS: Sólidos Suspendidos
4. pH: Potencial del Ión de Hidronio, H⁺
5. T: Temperatura
6. OD: Oxígeno Disuelto
7. Q: Caudal
8. Datos hidrobiológicos
9. Coliformes totales y Coliformes Fecales.

6.9.3 Decreto 4728 del 2010

Artículo 77. Régimen de transición para la aplicación de las normas de vertimiento. Las normas de vertimiento que expida el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se aplicarán a los generadores de vertimientos existentes en todo el territorio nacional, de conformidad con las siguientes reglas:

1. Los generadores de vertimiento que a la entrada en vigencia de las normas de vertimiento a que hace referencia el artículo 28 del presente decreto, tengan permiso de vertimiento vigente expedido con base en el Decreto 1594 de 1984 y estuvieren cumpliendo con los términos, condiciones y obligaciones establecidos en el mismo, deberán dar cumplimiento a las nuevas normas de vertimiento, dentro de los dos (2) años, contados a partir de la fecha de publicación de la respectiva resolución.

En caso de optar por un Plan de Reconversión a Tecnología Limpia en Gestión de Vertimientos, el plazo de que trata el presente numeral se ampliará en tres (3) años.

2. Los generadores de vertimiento que a la entrada en vigencia de las normas de vertimiento a que hace referencia el artículo 28 del presente decreto, tengan permiso de vertimiento vigente expedido con base en el Decreto 1594 de 1984 y no estuvieren cumpliendo con los términos, condiciones y obligaciones establecidos en el mismo, deberán dar cumplimiento a las nuevas normas de vertimiento, dentro de los dieciocho (18) meses, contados a partir de la fecha de publicación de la respectiva resolución.

En caso de optar por un Plan de Reconversión a Tecnología Limpia en Gestión de Vertimientos, el plazo de que trata el presente numeral se ampliará en dos (2) años".

6.9.4 Resolución 1207 de 2.014 Disposiciones relacionas con el uso de Aguas Residuales Tratadas.

Esta resolución establece que el uso eficiente del agua es fundamental para la conservación del recurso hídrico, y es básico para el desarrollo sostenible. Además la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en el año 2010, establece como estrategia el uso eficiente y sostenible del agua, la cual se orienta a fortalecer la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente del agua. Que en el contexto de Gestión Integral del Recurso Hídrico el reúso del agua residual aparece como una estrategia para el ahorro y uso eficiente del agua. Este reúso de agua residual constituye una solución ambientalmente amigable, capaz de reducir los impactos negativos asociados con la extracción y descarga a cuerpos de agua naturales. Sin embargo esta resolución establece la disposición del agua tratada, pero no aplica para su empelo como fertilizantes ó acondicionador del suelo.

6.9.5 Resolución 631 del 17 de marzo 2015

ARTÍCULO 9 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería. Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas

superficiales de las actividades productivas de agroindustria y ganadería, serán los siguientes:

Tabla 6. Parámetros para vertimientos de café. Resolución 0631 del 17 de marzo 2015

PARÁMETRO	UNIDADES	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS - FNC/CENICAFÉ)	
		PROCESO ECOLÓGICO	PROCESO TRADICIONAL
Generalidades			
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 Suspendidos 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 Reporte	Análisis Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis Reporte	Análisis Reporte
Otros Parámetros para Análisis y Reporte			
Color Real (medidas de absorbancia a las siguientes medidas de onda: 436nm, 525nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis Reporte	Análisis Reporte

Fuente: Ministerio del medio ambiente.

6.9.6 Decreto número 2667 de 2012:

Artículo 7°. Tasa retributiva por vertimientos puntuales. Es aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a los usuarios por la utilización directa e indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos o indirectos y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciadas por el hombre y actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas.

La tasa retributiva por vertimientos puntuales directos o indirectos, se cobrará por la totalidad de la carga contaminante descargada al recurso hídrico. La tasa retributiva se aplicará incluso a la contaminación causada por encima de los límites permisibles sin perjuicio de la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar. El cobro de la tasa no implica bajo ninguna circunstancia la legalización del respectivo vertimiento.

6.9.7 Decreto único 1076 de 2015:

Que la producción normativa ocupa un espacio central en la implementación de políticas públicas, siendo el medio a través del cual se estructuran los instrumentos jurídicos que materializan en gran parte las decisiones del Estado.

Que la racionalización y simplificación del ordenamiento jurídico es una de las principales herramientas para asegurar la eficiencia económica y social del sistema legal y para afianzar la seguridad jurídica.

Que constituye una política pública gubernamental la simplificación y compilación orgánica del sistema nacional regulatorio.

Que la facultad reglamentaria incluye la posibilidad de compilar normas de la misma naturaleza.

Que por tratarse de un decreto compilatorio de normas reglamentarias preexistentes, las mismas no requieren de consulta previa alguna, dado que las normas fuente cumplieron al momento de su expedición con las regulaciones vigentes sobre la materia.

Que la tarea de compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario implica, en algunos casos, la simple actualización de la normativa compilada, para que se ajuste a la realidad institucional y a la normativa vigente, lo cual conlleva, en aspectos puntuales, el ejercicio formal de la facultad reglamentaria.

Que en virtud de sus características propias, el contenido material de este decreto guarda correspondencia con el de los decretos compilados; en consecuencia, no puede predicarse el decaimiento de las resoluciones, las circulares y demás actos administrativos expedidos por distintas autoridades administrativas con fundamento en las facultades derivadas de los decretos compilados.

Que la compilación de que trata el presente decreto se contrae a la normatividad vigente al momento de su expedición, sin perjuicio de los efectos ultractivos de disposiciones derogadas a la fecha, de conformidad con el artículo 38 de la Ley 153 de 1887.

Que por cuanto este decreto constituye un ejercicio de compilación de reglamentaciones preexistentes, los considerandos de los derechos fuente se entienden incorporados a su texto, aunque no se transcriban, para lo cual en cada artículo se indica el origen del mismo.

Que las normas que integran el Libro 1 de este Decreto no tienen naturaleza reglamentaria, como quiera que se limiten a describir la estructura general administrativa del sector.

Que durante el trabajo compilatorio recogido en este Decreto, el Gobierno verificó que ninguna norma compilada hubiera sido objeto de declaración de nulidad o de suspensión provisional, acudiendo para ello a la información suministrada por la Relatoría y la Secretaría General del Consejo de Estado.

Que con el objetivo de compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que rigen en el sector y contar con un instrumento jurídico único para el mismo, se hace necesario expedir el Presente Decreto Reglamentario Único Sectorial

7. Materiales y Métodos

7.1 Ubicación geográfica

Localización. Las pruebas se llevaron a cabo en la cosecha del primer semestre del 2015 en los RHAFD instalados en la finca Oriente de la señora María Romelia Santafé ubicada en la vereda Oriente del municipio de Cartago sobre los 1.500 a 1.550msnm y en la cosecha del segundo semestres del 2015 en las fincas el Amparo del señor Jair de Jesús Jaramillo Muñoz y la finca Agua Clara del señor José de Jesús Sánchez Zapata ubicadas en el municipio de El Águila sobre los 1.800 a 1.860 msnm del Valle del Cauca, como parámetro comparativo al sistema se evaluó en la cosecha del primer semestre del 2016 los reactores hidrolíticos RHAFD del SMTA instalado en la finca El Edén del señor Luis Darío García ubicada en la vereda el Rubí del municipio de Riofrío del Valle del Cauca sobre los 1.530 msnm y el RHAFD de la finca Las Palmas del señor Leonardo Osorio ubicada sobre el mismo rango de la finca de oriente.

Figura 23 Ubicación del Municipio de Cartago con respecto al Departamento del Valle del Cauca.



Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_Cartago.svg

Figura 24. 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

Figura25. Ubicación del Municipio de Riófrio con respecto al Departamento del Valle del Cauca



Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_Riófrio.svg

7.2 Seguimiento al funcionamiento del RHAFD

Se montó una matriz con las observaciones realizadas en las visitas a los cuatro sistemas monitoreados antes de realizar las pruebas de laboratorio, dejando registrado todos los detalles observados tanto del comportamiento del caficultor frente al manejo y conocimiento del funcionamiento del sistema, como los cambios observados en el funcionamiento del mismo, apoyado con fotografías. También se registró las observaciones y experiencias tenidas por parte del caficultor en la finca donde funciona el SMTA, acompañado de igual forma con fotografías.

Con el fin de poder conocer el tiempo de retención hidráulica en el RHAFD, se tomó el cálculo por diferencia de altura del volumen de un cilindro dejado entre la flauta y la altura del tubo de salida del agua clarificada, de la siguiente manera:

$$V = \pi \times r^2 \times H$$

El tiempo de retención hidráulica TRH se calculó así:

$$TRH = (V_r / Q)$$

V_r = Volumen de retención

Q = Caudal (volumen de agua gastado día pico con restricción de 5 L/ kg cps)

El volumen del agua gastado del día pico se calculó de la siguiente manera:

$$V_{dp} = @ \text{ cps/año} \times 0,025 \times 12,5 \text{ kg/@} \times 5 \text{ L/kg cps}$$

@ cps /año = producción de la finca en arrobas de café pergamino seco en el año.

0,025= el 2,5% equivale al día pico, es la base dptal y su error es muy poco.

12,5 = conversión a kilogramos

5 L/ kg cps = limitante en el consumo de agua técnica 4 enjuagues

$TRH = 1118 \text{ L}/(V_{dp} \text{ L} \times 1/24\text{hr})$ La frecuencia de lavado es uno diario.

Con el fin de apoyar el estudio al comportamiento de los RHAFD, se tuvo en cuenta las visitas técnicas en el tiempo de trabajo a caficultores que contaban con él, en donde se encontró condiciones muy similares a las observadas en los cuatros reactores planteados en el trabajo, algunos funcionando bien, otros sin sobrenadantes porque eran lavados al ingresar todas las aguas, incluyendo cuando lavaban el tanque. Por los olores los tanques eran completamente vaciados y lavados debido al desconocimiento de su funcionamiento.

7.3 Metodología para la toma de muestras en los análisis físico-químicos

La toma de las muestras de las ARL fueron realizadas en diferentes tiempos debido a la diferencia de las épocas de cosecha, por tal razón una se tomó en cosecha del primer semestre y otras en cosecha del segundo semestre del mismo año 2015, y las últimas muestras evaluadas fueron en el primer semestre del 2016, se llevaron al laboratorio de aguas residuales y de alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira UTP, sólo una

se evaluó en el laboratorio de CENICAFE, no se pudo hacer repeticiones a las muestras para laboratorio por contar sólo con recursos económicos propios y tiempo limitado, como tan poco se tiene evaluaciones anteriores a los mismos por parte de CVC. Estos análisis se realizaron siguiendo el proceso del STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER edición 22 ND del 2012 y de las normas técnicas colombianas.

Se tomó una muestra homogénea de los cuatro enjuagues que ingresan a cada RHAFD menos al RHAFD 3, que entran 3 enjuagues, el último es manejado en un filtro especial construido en años anteriores por un programada de CVC para ese fin y al primer RHAFD, provenientes de la salida del tanque de fermentación, de las aguas de lavado del café fermentado naturalmente, para el RHAFD 1: 82 kg/cb, RHAFD 2: 360 kg/cb, RHAFD 3: 150 kg/cb, RHAFD 4: 72 kg/cb y para RHAFD 1: 326 kg/cb, donde se utilizó un consumo de agua entre los 5 y 6,5 L/kg cps, este dato se obtuvo de aforar el caudal de agua a utilizar para el lavado y el tiempo gastado. De igual forma se tomó la muestra a la salida de cada sistema, con la mezcla de los volúmenes iguales desplazados en cada enjuague homogenizados.

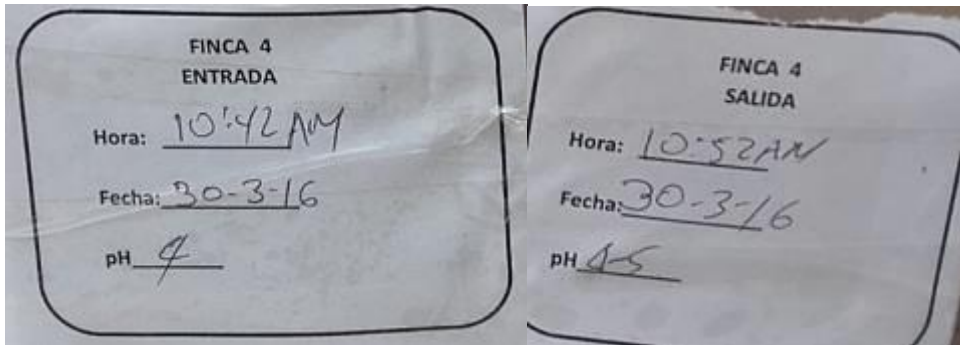
Las muestras obtenidas en cada unidad de estudio, se envasaron previamente tamizadas para material grueso sólo en la muestra del tanque de fermentación porque se sacó por encima antes de la rejilla, a la salida no fueron tamizadas y purgándose tres veces los recipientes de 2 litros, inmediatamente llenados y antes de taparlos se tomó el pH con la cinta tornasol, para tener un pH insituo como lo hace CVC que es aproximado al real tomado en laboratorio, la información tomada se dejaba registrada en la etiqueta que se muestra en la figura No.14, que estaba previamente identificada la finca 1, 2, 3, 4 ó 5, la hora de la toma de la muestra, el pH, entrada ó salida al reactor.

Siguiendo el mismo protocolo se tomaron las muestras para los RHA del SMTA, en este caso se tomó la muestra de las ARL como testigo y la salida a cada uno de los RHA para evaluar cada tratamiento como se puede observar en la figura 15.

Las muestras se transportaron en una nevera de icopor con hielo y se llevaron inmediatamente a los laboratorios donde se analizaron (ver figura 21), una en Cenicafé y

el resto al laboratorio de la Universidad Tecnológica de Risaralda para los análisis de los parámetros de calidad del agua: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Acidez Titulable y Potencial de Hidrógeno (pH),

Figura 26. Etiquetas de los empaques de las muestras para laboratorio.



Fuente: La Autora

Figura 27. Tamizado de la muestra del tanque de fermentación para material grueso



Fuente: La Autora

Figura 28. Válvula de chequeo punto de toma de la muestra de la salida del RHAFD.



Fuente: La autora

Figura 29 Recipientes con la homogenización de las muestras a la entrada y salida del RHAFD.



Fuente: La Autora

Figura 30 Toma de la muestra del pH insituo con cinta tornasol



Fuente: La Autora

Figura 31. Muestreo de la salida del primer RHAFA

Punto de muestreo imagen izquierda y muestra obtenida imagen derecha.



Fuente: La Autora

Figura 32. Muestreo salida del segundo RHAFA

Punto de muestreo antes de la recámara dosificadora en la imagen izquierda y muestra obtenida imagen derecha.



Fuente: La Autora

Figura 33. Muestras etiquetadas y empacadas del RHAFA

A la izquierda y RHAFA a la derecha, sobre la nevera de icopor en que se transportaban con hielo hasta el laboratorio.



Fuente: La autora

8. Análisis de Resultados

8.1 A la Ubicación Geográfica.

El clima cafetero de Cartago tiene incidencia del efecto de clima valle montaña, siendo este más cálido que el clima cafetero del municipio de El Águila, que se encuentra a 300 msnm más arriba. El aumento de la temperatura acelera la actividad microbiológica como lo afirma Marti, y por lo tanto la velocidad de la biodegradación de las ARL, que son las condiciones encontradas en la finca de Las Palmas, además la ubicación del mismo tanque en la finca. De esta manera la actividad microbiológica que se presenta en este reactor es únicamente la correspondiente a las fases hidrolítica-acidogénica. Sin embargo el sol es más fuerte a una altitud mayor, tanto así que el reactor que está más alto de la finca El Amparo, presentó olores fuertes que necesitó sombrío con higuierilla, el color de estas mieles siempre fueron más claras a las mieles de los otros tres reactores. Lo cual indica que el sistema funciona para las variables de clima cafetero cuya temperatura oscila entre los 19°C y 25°C, favorecido por el color negro que absorbe mejor el calor buscando mayor eficiencia en la biodegradación de las ARL.

8.2 Al seguimiento en el funcionamiento del RHAFD y RHAFD DEL SMTA

El RHAFD ha sido fácilmente adoptado por el caficultor por su manejo y mantenimiento, por ser un solo tanque que incluye la trampa de pulpas en su interior, además que la disposición de mano de obra en el campo cada vez es más escasa; el sistema requiere mejorar la facilidad para la limpieza de la flauta y evitar que esta se gire. También ha permitido que el caficultor tome conciencia en el manejo de los volúmenes de agua de lavado y el manejo de ellas.

Las botellas plásticas que lleva el reactor en su interior son amarradas entre sí, y la recomendación de la firma Zambiental es retirarlas en el momento que se requiera hacer mantenimiento a la capa superior, sin realizarles ningún tipo de lavado

La tapa debe permitir un cerrado más ajustado evitando que los olores se dispersen fácilmente incluyendo el control de la proliferación de insectos, esto se logra colocando espuma de alta densidad ya que no se ve afectado el proceso por ser anaerobio. (Lettinga et al., 1984; Rodríguez et al., 2000)

Durante las visitas periódicas se pudo evidenciar la falta de conocimiento del funcionamiento del RHAFD por parte de los caficultores y con ello desconocían su manipulación para un buen funcionamiento.

Como se puede observar al inicio de las visitas, en uno de los reactores se encontró suelta la flauta y no se hubo separación de insolubles como se puede apreciar en la figura No. 34.

Figura 34. Detalles de fallas en la flauta,

En la imagen izquierda está suelta y en la imagen derecha está girada 90°.



Fuente: La autora

También se encontró que en los cuatro reactores no había inicialmente formación del sobrenadante, pero siempre hubo presencia de larvas e insectos principalmente uno que parece una mosca; éste se encontró en abundancia en la finca de Oriente como se observa en la figura 35, mientras que en el reactor de la finca del Amparo se observó un

recubrimiento por la formación de levaduras (figura 37) en la primera visita y también se observó en la finca de Oriente con más reincidencia.

Figura 35. Presencia de larvas, insectos y gusanos en el interior del RHAFA



Fuente: La Autora

Figura36: Agua completamente clarificada sin sobranadante en el RHAFD de la finca de Oriente.



Fuente: La Autora

Figura 37. Formación de levaduras sobre el sobrenadante en los RHAFD

En las fincas de Agua Clara y Oriente.



Fuente: La autora

Con la periodicidad de las visitas se pudo observar la formación del sobrenadante que cubría progresivamente el área de los reactores, en donde se pudo observar que alcanzó un cubrimiento del 50% al 100%, este último se observaba a la cuarta visita mensual, como se puede observar su aumento progresivo en las figuras 38, 39 y 40.

Figura 381. Formación del sobrenadante.

Se observa el inicio de formación del sobre nadante sobre las ARL con un cubrimiento alrededor de un 50%.



Fuente: La Autora

Figura 39. Sobrenadante cubriendo el 80% del área.

Se observa un sobrenadante con una consistencia débil por su poco espesor y cubre hasta un 80 % del área superficial.



Fuente: La Autora

Figura 40. Sobrenadante cubriendo el 100% del área.

Se observa un sobrenadante más consistente que alcanza una capa de 6 cm de espesor y ocupa el 100 % del área superficial.




Fuente: La autora

En el manejo de las ARL al RHAFD, se enfatizó que las aguas sin miel no debían ir allá para evitar lavar el reactor, debido a que al aumentar el volumen específico superior a 5 L/kg cps, disminuye el tiempo de retención causando efecto de lavado del reactor, porque no tiene con control de reducción de caudal a la salida como lo presenta el RHAFD con la recámara dosificadora.

Cabe resaltar que los tanques de fermentación en donde se evaluaron todos los sistemas primarios inclusive donde se tomó las muestras de los RHAFA del SMTA, son muy diferentes, como se puede observar en la tabla No. 7.

Tabla7. Detalles de los tanques de las fincas evaluadas

Finca	Tanque	Capacidad max. Kg Café Baba	Producción @cps /año	Día pico Kg café baba .
El Amparo		332,8	200	187,5
Agua Clara		940	364,96	475,2
Oriente		896	200	187,5
Las Palmas		470	150	140,6

El Eden		612	760	712,5
---------	---	-----	-----	-------

Fuente: La Autora

Para entender más aún el comportamiento de los RHAFD, fue necesario visualizar la capacidad de retención que tiene dependiendo del volumen ocupado por las ARL, que van a depender de la velocidad de salida desde la flauta hasta la toma de la descarga del efluente.

Finca 1 = El Amparo municipio del Águila 312,5 L/día pico

Finca 2 = Agua Clara municipio del Águila 570 L/ día pico

Finca 3 = Oriente municipio de Cartago 312,5 L/ día pico

Finca 4 = Las Palmas municipio de Cartago 234 L/ día pico

Tabla 8. Tiempo de retención del RHAFD en cada finca evaluada

Altura (H) metro	Volumen	Tiempo Retención Finca 1	Tiempo Retención Finca 2	Tiempo Retención Finca 3	Tiempo Retención Finca 4
H Total 1,5 m	2000 L				
H Efectiva 0,83 m	1119 L	86 horas	47 horas	86 horas	115 horas

Fuente: La Autora

El color negro es apropiado para el aumento de la temperatura permitiendo alcanzar temperaturas mayores al medio ambiente, la temperatura es un parámetro importante a considerar ya que afecta directamente los procesos biológicos con que se lleva a cabo los procesos biológicos en el agua residual que pueden llegar a temperaturas hasta de 30°C,

de acuerdo a los resultados encontrados en la literatura. (Zambrano et al., 1999), permitiendo con ello una buena velocidad de desarrollo de las distintas bacterias que actúan en la biodegradación en las dos fases que se llevan a cabo por la acción de las bacterias hidrolíticas y acidogénicas, que son principalmente mesófilas y estas trabajan entre 25°C y 45°C, las termófilas entre 45 y 65°C.(Cámara & Lines, 2011; Marti, 2006, Acosta et al., 2005).

Por lo tanto se pudo observar que los sistemas no presentaban un correcto funcionamiento, como fue el caso de la finca Agua Clara, donde se había soltado la flauta, se encontró con muchos residuos en la finca de Las Palmas ó con los orificios perpendiculares al nivel del agua como fue en la finca de Oriente. La primera causa es la falta de cultura de incluir entre las actividades del caficultor el permanente aseo de la flauta que se llena constantemente de impurezas, la segunda causa puede ser del diseño que no permite hacer el mantenimiento externo a la flauta, si no, que hay que abrir el reactor para realizarlo, lo que disminuye la inspección visual de este dispositivo

Cuando se avanzó con las visitas se pudo observar que se aumentaba la cantidad de sobrenadante hasta llegar a cubrir un 100 % del área del reactor, esto se pudo observar a la tercera visita, hubo uno que no logró superar el 50% del área, este fue el caso que se presentó en la finca de oriente, este sistema siempre se observó el agua más clarificada que los otros tres sistemas, la causa mayor a este comportamiento se debe a la falta de compromiso por parte del operario, quien no seguía un lavado con la técnica de los cuatro enjuagues y posiblemente el volumen de aguas con muy bajo contenido de agua del último enjuague desplazaba rápidamente las mieles sin permitir un tiempo de retención hidráulica de 48 horas. Es importante que la capa del sobrenadante se forme completamente, porque esto permite tener un proceso de filtrado de los siguientes enjuagues, y con ello la disminución de la velocidad de ingreso que a su vez facilita la precipitación de los insolubles.

Con la frecuencia de las visitas a los caficultores, aumentaron su compromiso en revisar el RHAFD antes de iniciar el lavado, principalmente la flauta donde se enfatizaba el inspeccionar que no se tapara, y la válvula de chequeo para revisar la calidad del efluente que no llevara lodos. El seguimiento constante a cualquier proceso que emprenda el

caficultor es de gran importancia, más aún si es una nueva tecnología. En esta etapa es importante la facilidad de acceso al reactor y la periodicidad con que se hace, esto se pudo observar que funcionó bien en las visitas realizadas en un periodo de 10 meses, cuando se realizó la última visita con la empresa Zambiental, se observó que en la finca de Oriente no hubo una persona comprometida, se encontró obstrucción total del paso de las ARL en la flauta a tal punto que el operario optó por dirigir las al canal de drenaje directamente.

Respecto a los RHAFAs de los SMTA, las recomendaciones fueron inspección visual y retiro de impurezas de la trampa de pulpas antes de iniciar la descarga de las ARL, estar pendiente de manera visual que no tuvieran reboses los RHAFAs, incluso levantar la tapa del los Reactores para identificar si se aproximaba un rebose, adicionalmente si en el momento de la descarga de las ARL evidenciaba algún taponamiento en la trampa de pulpa disponer con "palito" al lado para sobarlo en la superficie y así permitir que vayan fluyendo las ARL.

La falta de periodicidad en la revisión de la flauta hace que se taponen los orificios y por tal motivo se suelta, y al no estar la flauta la fuerza con que ingresan las ARL no permite que se tenga una disminución de la velocidad que facilite la separación física de los insolubles que forman lodos y sobrenadante, para que haya una clarificación y acción de las bacterias anaerobias con un tiempo de retención hidráulica que no debe ser menor a 48 h (Zambrano et al., 1999) que permita la hidrólisis y acidogénesis de manera efectiva cuando aumenta el TRH, se aumenta la acidez titulable como se observó en el RHAFD de la finca de Las Palmas y el segundo RHA del SMTA como se observa en la tabla No. 6 .

Para el buen funcionamiento del RHAFD, es importante el compromiso del caficultor en implementar la técnica de los cuatro enjuagues con el uso eficiente del agua no mayor a 5 L/kg cps (Zambrano, 1993), previamente chequeando la flauta, para el ingreso de ARL a una menor velocidad que facilita la formación del sobrenadante cubriéndolo en un 100% además por los envases que sobrenadan ayudan a disminuir la velocidad, y con ello evita romper la nata, es decir, el sobrenadante de insolubles que cubren el área superficial del reactor, funcionando así como filtro biológico. El TRH va a depender del volumen de agua de lavado que ingresan al RHAFD, que es lo que afectó el funcionamiento del

RHAFD de la finca Oriente donde se hace difícil el control del volumen por la dimensión del tanque para la producción de la finca, además de la falta de personal responsabilizado del sistema.

En todos los cuatros RHAFD, se pudo apreciar visualmente que la cobertura vegetal existente no se ve afectada por la calidad del efluente y tan poco se observó muerte de las mismas, para este estudio no hubo un análisis más riguroso que la apreciación visual de la cobertura vegetal, aquí se puede intuir, que las ARL del café son fácilmente biodegradadas por la microbiota natural (Rodríguez, et al., 2000). Este comportamiento muestra que logra bajar su impacto negativo como un pretratamiento en sus fases de hidrólisis y acidogénesis.

Este sistema ha permitido que los caficultores vallecaucanos, inicien un proceso de incluir en su dinámica cafetera, el manejo primario de sus ARL y la educación ambiental, aumentando el grado de compromiso que tienen frente a la conservación del medio ambiente, sin embargo fue necesario realizar un acompañamiento más frecuente en cada una de las fincas donde se hizo seguimiento al sistema, más aún donde el caficultor no tenía claro el buen funcionamiento del mismo, de esta manera lograr que todos los sistemas instalados trabajen en sus condiciones óptimas, evitando que sus efluentes lleguen directamente a fuentes hídricas.

El seguimiento periódico permitió identificar aquellos caficultores que realmente se acogen a las recomendaciones técnicas realizadas por el servicio de extensión, donde se pudo evidenciar que esto se logra cuando hay una persona responsable del buen funcionamiento del RHAFD, como sucedió con los reactores del águila y la finca de las palmas en Cartago.

En el seguimiento constante realizado a los 15 SMTA por parte del equipo de beneficio del comité y de las trabajadoras sociales del proyecto de Huellas de Paz, considerándolo como sistema integral y sin realizar un análisis por separado dado que no era el objetivo del equipo de beneficio, el mismo que obedece este trabajo de investigación, también fue apoyado por el Auxiliar de investigación el señor Samuel Castañeda de Cenicafé, capacitando a cada uno de los beneficiarios, los cuales fueron muy receptivos a todas las

recomendaciones, finalmente 14 abandonaron los sistemas por más acompañamiento que se les prestó, expresando muchas dificultades de rebose y taponamiento en la trampa de pulpas como se muestran en la figura 41a. y 41b., al no hacer algunos uso de la misma se les saturaban los Reactores, y la mayor dificultad era el taponamiento en la recámara dosificadora como se observa en la foto 43.

Figura 41. Trampa de pulpa con taponamiento y rebosada.



Fuente: Comité Valle del Cauca

Figura42. Reactores colmatados.



Fuente: Comité Valle del Cauca

Figura43. Recámara dosificadora colmatada.



Fuente: Comité Valle del Cauca

Expresa la coordinadora del programa que se encuentra a la espera de algunas modificaciones que va a proponer Cenicafé para activarlos nuevamente.

Respecto a los RHAFD un detalle especial que sólo lo manifestó el caficultor de la finca del amparo fue un olor fuerte que llegaba a la vivienda, principalmente cuando el clima estaba muy cálido, por lo tanto se cubrió con hojas verdes y terminó sembrando alrededor higuera para controlar este problema y al final no lo percibían, la descarga de los lodos la realizaba cada dos meses al hueco de 1m por 1m por 1m, asperjaba sobre éste cal dolomita y al final cenizas, para controlar olores y evitar el crecimiento de larvas, este hueco tiene tapa con hoja de zinc. Esta recomendación dada inicialmente por Zambiental, pero CVC pide el manejo de lodos en la fosa para compostaje.

Figura 44. Regulación de temperatura y disposición de lodos finca El Amparo.

Higuerilla cubriendo el reactor para regular temperatura figura 44 a y hueco a donde se drenan los lodos con cubierta de zinc para evitar ingreso de animales y aguas lluvias figura 44b.



Fuente: La autora

En cada visita de seguimiento se verificó la consistencia de los lodos, donde se pudo observar que estos fueron fluidos de menos denso a más denso, sin llegar a ser pastosos. En la finca del amparo por el vaciado frecuente y 15 días antes a la toma de las muestras, su consistencia fue más fluida y su color siempre fue más claro que los otros que presentaron un color caramelo como se puede observar en las figuras 36, 37, 38 y 39, las fotos son realizadas al momento de la visita como observación del cambio de la consistencia de los lodos y no vaciado de esto. Sólo una finca lo realizaba así.

Figura45. Revisión de lodos fincas El Amparo y Agua Clara.

La consistencia de los lodo en las finca el amparo figura 45a y Agua Clara figura 45b..



Fuente: La Autora

Figuras46. Revisión lodos finca Oriente y las palmas

La consistencia de los lodos en las fincas de Oriente figura 46a y Las Palmas figura 46b.



Fuente: La autora

En ninguna de las salidas de los efluentes se observó en la vegetación un impacto fuerte o alteración de su color, todos mostraron un desarrollo normal en su cobertura vegetal como se puede observar en las figuras 47, 48 y 49, además las visitas periódicas fueron llevadas a cabo en el año 2015, donde se presentó escasez de lluvias.

Figura 47 Área de adsorción fincas Agua Clara y Las Palmas

Se observa el efluente del RHAFD de la finca Agua Clara figura 47a con plantas de bore y vegetación natural en la finca de Las Palmas figura 47b.



Fuente: La Autora

Figura 48 Área de adsorción del efluente del RHAFD de la finca de Oriente.



Fuente: La Autora

Figura 49. Área de adsorción del efluente del RHAFD de la finca El Amparo.



Fuente: La autora

En el SMTA, no se tiene área de adsorción inmediata a los RHAFD porque este es un sistema integral, por lo tanto el efluente del segundo RHAFD pasa a la recámara dosificadora para ingresar finalmente al reactor metanogénico.

Como un acompañamiento final por parte de la empresa Zambiental, el primero de abril del 2016, se visitaron los cuatro RHAFD después de realizadas las tomas de las muestras a los sistemas y enviadas al laboratorio.

En esta visita se encontró un sobrenadante con un espesor de 5cm a 10 cm, el mayor espesor se observó en la finca de Las Palmas y Agua Clara, como puede observarse en las figuras 50a. y 50b, en la finca del Amparo estaba todavía en formación tenía un 90% del área cubierta figura 53a. y 53b, mientras que en la finca de Oriente, el sistema presentaba total taponamiento de la flauta, como se puede observar en la figura 51 a y b, 52 a, b y c., a tal punto que no pasaban las ARL y fueron desviadas totalmente al canal de salida desde la caja de distribución.

Figuras 50. Evaluación de la consistencia del sobre nadante por parte de Zambiental en la finca Agua Clara.



Fuente: La Autora

Figuras 51. Estado de la flauta totalmente tapada en la finca Oriente.

Se observa hongo sobre los orificios de salida primera figura 51a, y totalmente tapada figura 51b, situación encontrada en la finca Oriente.



Fuente: La Autora

Figura 52 . Estado de la flauta de la finca oriente

Se vació manualmente (figura 52a), los insolubles tomaron la forma cilíndrica de la flauta presentando consistencia semisólida (figura 52b) y en la figura 52c se observa la flauta vacía.



Fuente: La Autora

Figura 53 Apariencia del sobrenadante en las fincas El Amparo y Las Palmas.

En la figura 53a RHAFD de la finca El Amparo y en la 53b sobrenadante de la finca Las Palmas.



Fuente: La autora

Pero también se encontró en algunas fincas que los reactores presentaban un sobrenadante con una formación liquen, y las aguas del efluente eran más claras,

principalmente donde el caficultor tenía claro el lavado con el mínimo de agua y llevando sólo aguas mieles a este.

Figura 542. Sobrenadante de reactores de fincas aparte a las del trabajo.

Reactores diferentes a los estudiados figuras 54a. y 54b, presentan un sobrenadante con formación especial, parece liquen, no se profundizo en su análisis específico



Fuente: La autora

8.3 Visita finca El Rubí donde se encuentra funcionando el SMTA

El sistema funciona por modificaciones que realizó el caficultor, una de las modificaciones fue instalar un tanque con una malla sobre un aro con cruce de alambre para soportarla y con entrada en flauta. Para regular el caudal a la trampa de pulpa instaló una llave en la parte inferior de control de flujo, que no se podía abrir completamente y frecuentemente debía cerrarla para destaponar el paso a la trampa de pulpa, pese a que la caja de salida en el tanque también tenía malla mosquitera como se puede observar en la figura 55a.

Figura 55. Aspectos antes y de la trampa de pulpas del SMTA.

Malla mosquitera para evitar el paso de insolubles grueso (figura 55a) y tanque para regular caudal antes de la trampa de pulpa del SMTA, con entrada de la ARL en flauta

(figura 55b), provista de malla mosquitera (figuras 55c y 55d), instalado por iniciativa del caficultor, para disminuir taponamiento del SMTA y disminuir el rebose.



Fuente: La autora

Siempre antes de iniciar el lavado del café, se debe limpiar las mallas para que no se rebosen tanto el tanque de regulación de caudal como la trampa de pulpa, casi siempre al fluir inicialmente las ARL a los reactores se presenta un rebose que forma una columna vertical de ARL y luego estabiliza y no se vuelve a presentar, estos reactores hidrolíticos siempre mantienen un sobrenadante en el borde superior de los tanques como se puede observar en la figura 25. Otra modificación del caficultor es que instaló una llave antes del dosificador para poder estar destaponándolo porque se tapa fácilmente igual que los orificios de 2 mm que pasan a los reactores metanogénicos, el desplazamiento que se debe realizar para esta labor son alrededor de unos 30 m con respecto al nivel de la caja de salida del tanque con una pendiente pronunciada.

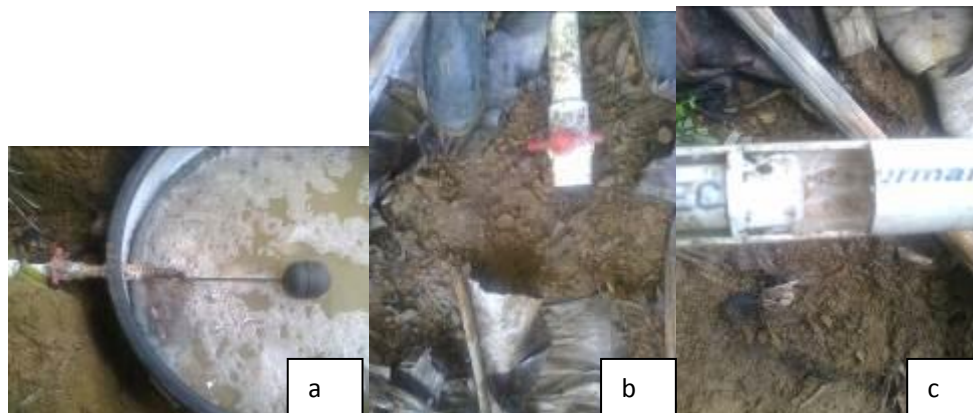
Figura 56. Niveles de los dos Reactores hidrolíticos de flujo ascendente



Fuente: La Autora

Figura 57. Detalles en la recámara dosificadora

Tanque flotador que regula el ingreso a la recámara dosificadora (figura 57a), llave de cierre de paso antes de la recámara para destaponar el orificio en el regulador con el flotador (figura 57b) y flujo a la salida de la recámara dosificadora que se tapona fácilmente para ingresar al reactor metanogénico (figura 57c).



Fuente: La autora

8.4 A los resultados de laboratorio

Los resultados obtenidos del laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), corresponden a las fincas de Agua Clara, El Amparo, Las Palmas y El Edén, junto con los resultados del laboratorio que se realizaron en Cenicafé de la finca Oriente, fueron tabulados en la tabla 6, en donde se observa los cambios en las variables a la entrada y salida de cada uno de los sistemas en estudio.

Tabla 9. Resultados del análisis en laboratorio de los cuatro RHAFD y los dos RHA del SMTA

REACTOR	PUNTO MUESTREO	PARÁMETROS NORMATIVOS Según Resolución 631 del 2015			
		pH (5,0 a 9,0)	DQO 3.000 mg/L O ₂	SST 800 mg/L	Acidez titulable ml NaOH
RHAFD 1. Finca El Amparo, en la vereda Santa Elena. Municipio de El Águila.	Entrada	3,49	16.452	4.500	2.614
	Salida	3,28	15.723	3.000	4.351
RHAFD 2. Finca Agua Clara de la vereda Llano Grande. Municipio de El Águila.	Entrada	3,87	16.352	5.700	1.620
	Salida	4,19	7.862	1.600	2.012
RHAFD 3. Finca Oriente de la vereda Oriente. Municipio Cartago.	Entrada	3.90	34.450	132	N.E.
	Salida	4,06	19.600	10	N.E.

RHAFD 4. Finca Las Palmas, de la vereda Oriente. Municipio de Cartago.	Entrada	3,49	16.828	3.700	1.803
	Salida	3,96	12.267	700	3.907
RHAFD 1 y 2 Finca El Eden, de la vereda El Rubí. Municipio de Ríofrío	Entrada	3,92	11.628	3.125	500
	Salida 1	4,03	7.752	2.800	750
	Salida 2	4,1	4.457	303	1.250

Fuente: Resultados laboratorio UTP y la analizada en CENICAFE

Con el fin de poder analizar con mayor claridad los cambios que se observan en la tabla No. 9, se realizaron los cálculos necesarios para obtener la variación y porcentaje de remoción que se obtuvo en las variables entre la entrada y la salida a cada uno de los sistemas, cuyos valores se tabularon en la tabla No. 10.

Tabla 10. Resultados de la variación y remoción de las variables obtenidas de los laboratorios de la tabla 9.

Reactor	Finca	% Variación pH	% Remoción de la DQO	% Remoción de los SST	% Variación de la Acidez
RHAFD 1	El Amparo	- 6,02	4,43	33,33	66,45
RHAFD 2	Agua Clara	8,27	51,92	71,93	24,20
RHAFD 3	Oriente	4,10	43,11	92,42	N.E.
RHAFD 4	Las Palmas	13,47	27,10	81,08	116,69
RHAFD 1	El Edén	2,81	33,33	10,40	50,00
RHAFD 2	El Edén	4,59	61,67	90,30	150,00

Fuente: La Autora

De acuerdo a los resultados se puede observar que el RHADF de la finca El Amparo estaba iniciando formación de la capa de sobrenadante que al parecer mejora el funcionamiento del RHAFD, el hecho de no estar formada obedece a que se desocupó 15 días antes de la toma de la muestra por los fuertes olores que presentaba, por tal motivo el pH de la salida es menor que a la entrada, y se relaciona con la alta acidez titulable, fue el más ácido de los cuatro reactores, La mayor variación en el pH se encontró en la finca de las Palmas, pudo ser por condiciones de clima (Marti, 2006), pero se puede observar que la variación del pH fue más alta para los RHAFD que en los RHAFAs, además en la finca de El Amparo su remoción en DQO es mínima es posible por la falta de la formación del sobrenadante consistente para que tenga mayor retención de insolubles, además es el reactor que está a mayor altitud, y la temperatura es la menor de todos, haciendo más lento el proceso como lo afirma Marti, Una variable muy importante para el buen comportamiento de la actividad microbológica es la temperatura permitiendo el desarrollo de las distintas bacterias de acuerdo a los rangos de temperatura establecidos, psicrófilas, mesófilas y termófilas, las mesófilas son más estables y permiten la biodegradación anaerobia.

Los resultados obtenidos de los 4 RHADF, se promediaron para confrontarlos con el promedio de los dos RHAFAs, donde se encontró que el pH para los dos es menor a la norma solicita 5 como mínimo tanto para el decreto 1594 de 1984 como para la resolución 631 del 2015, siendo un poco más alto el del RHAFAs de 4,07 frente al RHAFD de 3,87 del promedio, como se observan en las figuras 58 y 59, afectado por valor de la finca El Amparo.

Con mayor eficiencia en la remoción de la DQO se encontró en el RHAFAs, esta remoción se alcanza notablemente en el segundo RHAFAs que alcanzó el 48% como se observa en la figura 77, mientras que el RHAFD DE 32% esto frente a la norma de vertimiento no cumple ninguno de los dos que exige mínimo el 80%, al observar estos resultados en miligramos por litro que presenta cada efluente para RHAFAs fue de 6105, en el RHAFD de 13863 y la resolución 631 exige que sea mínimo de 3000. Este resultado favorable del RHAFAs puede obedecer a la seguridad que tiene este sistema de no ser lavado, gracias al control que hace la recámara dosificadora, garantizando el TRH de 48 h. Motivo por el

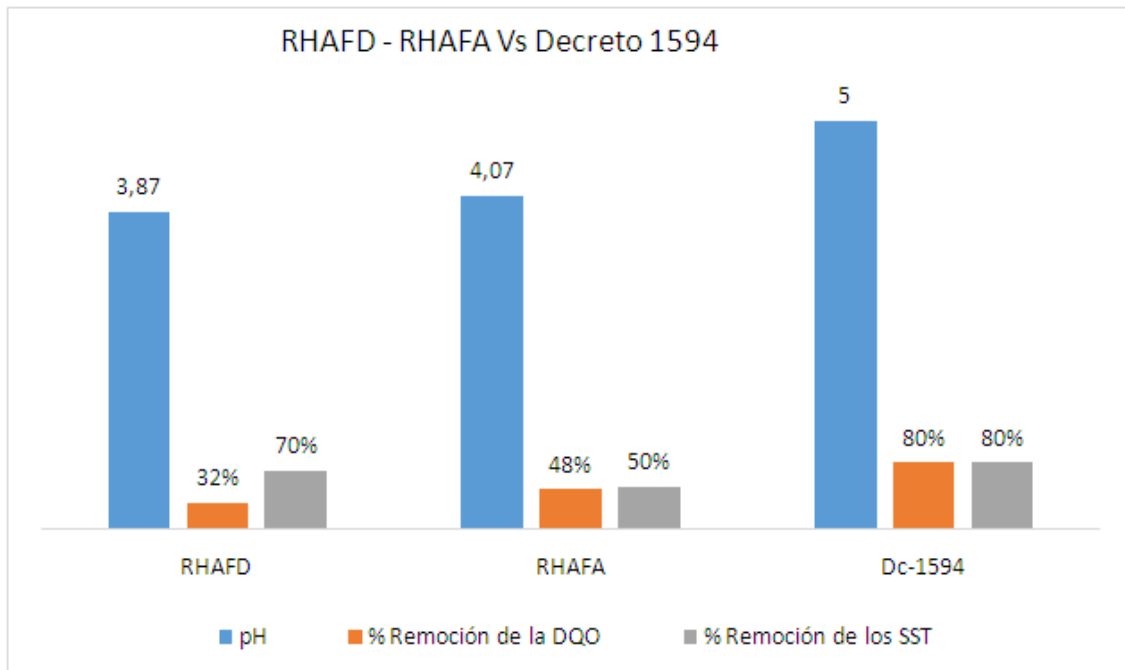
cual se debe ser exigente en el consumo de agua específico para el lavado en los dos sistemas, que no supere los 5 L/kg de cps, más aún el RHAFD que no hay regulación en la salida del efluente y no presenta rebose, el volumen de ARL que ingresa, automáticamente desplaza un volumen igual en el efluente. El tiempo mínimo encontrado en TRH fue de 47 horas en el RHAFD que se observa en la tabla 8.

Donde presenta mayor eficiencia el RHAFD es en la retención de los SST, porque alcanza un 70% superior al RHAFD que presenta un 50%, cuando el decreto 1594 de 1984 exige como mínimo el 80%, y analizado en miligramos por litro, se obtuvo 1328 para el RHAFD, mientras que el RHAFD presentó 1552 mg/L, y la resolución exige 800 mg/L, esto evita el taponamiento de la porosidad del suelo, permitiendo así que la microbiota que allí se encuentra en el área de adsorción pueda biodegradarla tomando sus nutrientes.

Figura58. Confrontación de los RHAFD y los RHAFD del SMTA frente a la resolución 631 del 2015

Fuente: Resultados laboratorio UTP – Cenicafé y Resolución 631 de 2015

Figura 59. Confrontación de los RHAFD 2 y 4, y los RHA del SMTA con el decreto 1594 de 1984



Fuente: Resultados laboratorio UTP y Decreto 1594 de 1984

Confrontando los resultados del RHAFD frente al RHAFA, se puede decir que se aproxima mucho al pH, en DQO el RHAFD muestra ser más eficiente cuando alcanza una formación más consistente del sobrenadante, esto lo apoyan los otros reactores que se observaron aparte a los evaluados y se destaca en la retención de SST.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se logró determinar que los RHAFA, que forman parte de los SMTA, muestran un mejor desempeño en la eliminación de la DQO y en el incremento del pH, influenciados posiblemente, por mecanismos de sedimentación, al no tener ningún empaque en su interior, mientras que los RHAFD muestran un mejor desempeño en la eliminación de SST, influenciado por el material de empaque al interior de los mismos.

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 Conclusiones

Los RHAFD, alcanzaron una remoción promedio del 70% de los SST, acercándose a lo exigido por la ley de vertimientos al suelo (decreto 1594 de 1984), evitando con ello el taponamiento de la porosidad del suelo y favoreciendo la biodegradación por la microbiota del suelo en el área de adsorción.

El pH de salida de los RHAFD fue de 3,87, menor al obtenido por los RHAFD que fue de 4,07, por lo tanto se debe hacer corrección de pH si se quiere continuar con un tratamiento con bacterias metanogénicas, su efluente no debe llegar a fuentes de agua.

La remoción promedio de DQO de los RHAFD fue de 31,64%, inferior a la presentada por los RHAFD de 47,5%.

El RHAFD, cumple como tratamiento primario llegando a su mayor eficiencia cuando alcanza el desempeño del RHAFD en el SMTA, por lo tanto su efluente debe continuar con el tratamiento en el área de adsorción ó para el cumplimiento de la normatividad se requiere de un reactor metanogénico, previamente corrigiendo el pH, para alcanzar un remoción superior al 90%.

9.2 Recomendaciones

La formación del sobrenadante es importante para el buen funcionamiento del RHAFD, para que esto suceda la entrada de la ARL debe ser lateral y contar con los envases

suficientes para cubrir la superficie que serían menores a los recomendados por la firma Zambiental, pues su función es principalmente disminuir la velocidad de las ARL facilitando la separación de insolubles.

Se recomienda que la llave en la base del RHAFD, para el control de salida de los lodos, tenga un diámetro de una pulgada, para facilitar su manipulación evitando con ello cualquier accidente.

La temperatura es una variable muy importante para la velocidad de la biodegradación por la acción de las bacterias hidrolíticas y acidogénicas que se desarrollan en un TRH mínima de 48 h, de ahí la importancia de la ubicación del reactor para captar la mayor cantidad de energía solar y no debe quedar enterrado por el efecto contrario que causaría.

Es determinante para que un sistema anaerobio funcione, la concientización del caficultor en el uso controlado del agua que no debe superar el volumen específico de 5 L/kg cps.

Es importante el acompañamiento permanente del caficultor por parte del servicio de extensión, en la adopción de tecnologías que lo lleven al cumplimiento de la normatividad legal vigente, como también es importante presentarle varias opciones de tratamiento que se ajusten a sus condiciones.

Es necesario mejorar el sistema de limpieza de la flauta del RHAFD, esta labor se hace algo dispendiosa por la manipulación que hay que hacer, esto se facilita dejando la flauta que atraviese todo el reactor y al momento que sale colocar un codo de 90° colocando un niple de 40 cm con llave terminal.

Anexo A. Tipificación beneficiaderos

TIPIFICACIÓN DE BENEFICIADEROS

La siguiente tipificación de beneficiaderos se hace de acuerdo al consumo de agua y el manejo de los subproductos:

TIPO DE BENEFICIO	Definición	Observaciones
CONV.	Beneficiadero convencional. Uso indiscriminado del agua (40L/kg c.p.s). Arroja toda la pulpa y el mucilago a las quebradas.	Tolva de recibo con agua y sin recirculación, despulpa con agua, transporta la pulpa con agua, sin fosa o la tiene en mal estado, transporta el café lavado o en baba con agua, canal de correteo, no realiza tratamiento a los subproductos.
B1	El mismo beneficiadero anterior, pero que dispone de fosas para descomponer la pulpa que transporta con agua.	Las fosas deben estar en buen estado
B2	Beneficiadero donde se despulpa y se transporta la pulpa sin agua a las fosas de manejo o procesadoras de pulpa y con desmucilaginado mecánico. Arroja a las quebradas la mezcla agua mucilago con impurezas.	Tienen Becolsub, utilizan menos de 3 litros de agua/kg c.p.s pero la mezcla agua mucilago con impurezas se vierte directamente al suelo o al agua. Fosa en buen estado para el manejo de la pulpa.
B3	Beneficiadero donde se despulpa y se transporta la pulpa sin agua a las fosas de manejo o procesadoras de pulpa, y que lava el café con un máximo 5 litros de agua/kg c.p.s pero hace vertimiento directo de las aguas mieles a la fuente hídrica.	Es un beneficiadero con fermentación natural y bajo consumo de agua, con fosa para la pulpa pero sin ningún tratamiento a las aguas de lavado del café.
B4	El mismo beneficiadero anterior, en el cual se mezcla, se asperja o se empapa la pulpa con el "primer enjuague" obtenido con el lavado de café utilizando máximo 5 litros de agua/kg c.p.s.	El primer lavado se debe asperjar a la pulpa, pero los siguientes lavados también deben tener al menos un tratamiento primario que permita la separación de insolubles y control en los mismos, sin que estos lavados vayan directamente a verter a la fuente hídrica. Los lixiviados de la fosa se asperjan en la misma o son llevados al sistema de tratamiento. Son válidos todos los tratamientos donde <u>se</u>

		<p><u>demuestre</u> la recirculación y/o utilización de los lavados del café sin presentar vertimiento directo.</p> <p><u>Ejemplo tratamiento primario:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Trampa de pulpa y Reactor Hidrolítico Acidogénico de flujo Descendente * Biodigestor en buen funcionamiento. <p><u>Ejemplo tratamiento integral:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio - SMTA * Trampa de pulpa, Reactor Hidrolítico Acidogénico y filtro anaerobio. * Sedimentadores, filtro anaerobio y lagunas impermeabilizadas.
B5	Beneficiadero tipo BECOLSUB. Desmucilaginado mecánico con mezcla de la pulpa y del mucilago con tornillo sinfin. Utiliza fosas de manejo para procesar la mezcla de la pulpa y mucilago. Vierte a las quebradas la lixiviados que drenan de la fosas.	<p>Tiene Becolsub, presenta bajo consumo de agua s 3 litros de agua/kg c.p.s, la mezcla mucilago y pulpa en el proceso de descomposición generan unos lixiviados los cuales son vertidos directa o indirectamente a las fuentes hídricas.</p> <p>Las fosas para la disposición de la pulpa se encuentran en buen estado.</p>
B6	El mismo beneficiadero tipo BECOLSUB en el cual se realiza un manejo integrado de los subproductos con lombricultivo y recirculación de lixiviados a las camas del lombricultivo. No arroja ningún residuo a las quebradas.	<p>Tiene Becolsub, se precisa que No necesariamente debe tener lombricultivo, siempre y cuando haga buen manejo de los lixiviados y no haga vertimiento directo, la recirculación también puede ser en la misma pulpa.</p> <p>Son válidos todos los tratamientos donde <u>se demuestre</u> la recirculación o utilización de los lixiviados, sin presentar vertimiento directo.</p> <p>En caso de que el lixiviado no sea recirculado o reutilizado completamente deberá ser tratado.</p>

ACTA DE REUNION EXTERNA






PROCESO: Propuestas Integrales para la conservación y el mejoramiento ambiental		Fecha: 20 / 11 / 2015 dd mm aaaa	
Dependencia (s): Dirección Técnica Ambiental		Cuenca / Municipio / Lugar: Sitio de reunión Sala de la DTA-CVC	
Tema: Clasificación de los beneficiaderos de café en el Valle	Hora de Inicio: 10:00 a.m.	Hora Final: 12:15 p.m.	
Objetivo de la reunión: Revisión de las consideraciones técnicas para la clasificación del tipo de beneficiaderos			
Agenda de la reunión: 1. Revisión de la propuesta realizada para la clasificación de los beneficiaderos de café			
Desarrollo de la reunión: 1. Se revisan los criterios de aportes de cargas contaminantes de acuerdo con la clasificación realizada por CENICAFE y acogida por la CVC para la estimación de aportes de cargas en el Valle del Cauca 2. Ante la dificultad que se tiene en campo tanto para los funcionarios de la CVC, como del Comité de Cafeteros de establecer claramente el tipo de beneficiadero existente en relación con el manejo de las aguas mieles y de la pulpa se plantea la necesidad de establecer las condiciones que deben ser tenidas en cuenta que dan lugar a la clasificación del beneficiadero. 3. Cuando por alguna razón alguna de las condiciones establecidas no se cumple en el tipo de beneficiadero considerado, se realizará entonces la clasificación con la categoría anterior. 4. Se acuerda que hasta tanto se realicen los estudios que permitan establecer claramente sobre el aporte de la carga contaminante, se continuará utilizando lo establecido por CENICAFE con respecto a las cargas aportadas según el tipo de beneficio y a la metodología definida por la corporación para la determinación de las cargas considerando el manejo de los subproductos del beneficio. 5. Es necesario preparar una guía técnica y hacer la socialización en las DAR de la CVC y del Comité de Cafeteros. Adicionalmente la CVC debe realizar el ajuste a la encuesta para el trabajo de campo.			
Acuerdos y Compromisos			
Actividad	Responsable	Fecha	
Remitir la versión final con los ajustes en redacción a la propuesta de clasificación	CVC	lo antes posible	
Preparar guía y plan de trabajo para la divulgación entre las entidades	CVC/ Comité de Cafeteros	1er semestre de 2016	
Evaluación final de la reunión Se cumplió con las expectativas propuestas			
ANEXOS: Listado de asistencia			


 Nombre: Amparo Duque Vargas
 Cargo: Profesional Especializado DTA

Anexo B. Tablas de seguimiento de visitas


Tabla 11. Finca El Amparo, en la vereda Santa Elena. Municipio de El Águila. Caficultor Jair de Jesús Jaramillo

Observación	Fotos
<p>Marzo 10 del 2015</p> <p>Al reactor se le hizo mantenimiento aproximadamente un mes, la flauta está bien instalada y limpia.</p> <p>Se observa inicio de formación de la nata de separación de insolubles, hay presencia de larvas e insecto, los lodos fueron vertidos a la excavación donde hay alta presencia de larvas, están ingresando todos los enjuagues.</p>	
<p>21 de Abril 2015</p> <p>Presencia de larvas e insectos, nata en toda la superficie, entran los tres enjuagues.</p> <p>Lodos fluidos había sacado lodos en la primera semana de marzo.</p> <p>Salida del efluente del reactor</p> <p>Presencia de larvas e insecto, nata en toda la superficie, entran los tres enjuagues.</p>	

	  
<p>Mayo 14 de 2015</p> <p>El caficultor hizo una descarga de lodos el 28 de abril, los llevó al hueco resumidero donde se le aplicó al final cal dolomita para evitar la presencia de larvas, manifiesta el caficultor que cuando el reactor se calienta demasiado el olor están fuerte que llega a la vivienda y es poco soportable, por lo tanto le coloca hojas de plantas para evitar que se caliente tanto. Al momento de la visita se pudo observar un efluente mucho más claro al de la visita anterior y una buena consistencia de nata con una presencia mayor al 90% del área superficial.</p>	   

	
<p>22 de Agosto de 2015.</p> <p>La actividad del beneficiadero ha sido poca, se han presentados graneos en julio y ninguno en agosto, por lo tanto se observa una nata consistente, hay presencia de bastantes larvas de color negro. Se observó la consistencia de los lodos y tiene alta viscosidad.</p>	

Tabla 12. Finca Agua Clara de la vereda Llano Grande, municipio de El Águila. Caficultor José de Jesús Sánchez.

Observación	Fotos
<p>Marzo 10 del 2015</p> <p>La flauta de entrada está suelta</p> <p>No se observa nata de separación de insolubles, hay presencia de larvas e insecto, se revisa salida de lodos que indica entrada de mieles, están ingresando los primeros enjuagues</p>	

	
<p>21 de Abril 2015 Presencia de larvas e insectos, nata más consistente, sólo entran dos enjuagues. Lodos fluidos.</p>	

<p>Mayo 14 de 2015</p> <p>Se observa muy disminuida la nata, se puede estimar la presencia de un 50% de nata consistente, los orificios de la flauta están cayendo casi perpendicularmente a la superficie, hasta el momento nunca se han retirado los lodos del reactor. Hay alta presencia de larvas y moscas. Se le pidió al caficultor que al finalizar cosecha descargar totalmente los lodos hasta que salga agua clarificada, estos lodos deben ser mezclados con la pulpa realizando volteos cada 15 días, utilizar equipo de protección como careta con filtro y guantes.</p>	
<p>Agosto 22 de 2015</p> <p>El café que se ha beneficiado es poco, graneos en julio y nada en agosto, hay una viscosa flotando en el agua clara por la separación de los insolubles, se observa alta presencia de larvas negras en todo el tanque, también se alcanza ver la formación de una delgada capa blanca de hongo por la inactividad del tanque.</p>	

Tabla 13. Finca Oriente de la vereda Oriente. Municipio de Cartago. Caficultora María Romelia Santafé de Ortega

Observación	Fotos
<p>Marzo 03 del 2015.</p> <p>La flauta de entrada esta girada dejando una caída perpendicular al nivel del agua.</p> <p>No se observa nata de separación de insolubles, está muy lavado el sistema, posiblemente entrada de últimos enjuagues ó lavado del tanque al sistema, hay presencia de larvas e insecto, se revisa salida de lodos que indica entrada de mieles, están ingresando todos los enjuagues</p>	
<p>22 de Abril 2015</p> <p>Se observan larvas y una nata delgada blancusca y coagulación de la nata de mieles en menor cantidad se puede hablar máximo un 30% del área superficial.</p> <p>Lodos fluidos.</p> <p>Presencia alta de este insecto que se parece a la mosca.</p> <p>Se observa opaco la entrada porque ya estaba en refrigeración, pero casi no se vio cambio en el color de entrada y salida.</p>	



	
<p>Mayo 11 de 2015</p> <p>Se observa una nata blanca en más del 70% del área superficial del tanque y la nata de los insolubles consistente aproximadamente el 50%, por debajo de la nata blanca.</p>	
<p>3 de septiembre de 2015.</p> <p>Se observa poca nata, está muy clara el agua, los graneos han sido pocos y se alcanza ver una película blanca en gran parte de la superficie, hay presencia de larvas de gran tamaño de color negras, los lodos son fluidos.</p>	


Tabla 14. Finca Las Palmas, de la vereda Oriente. Municipio de Cartago. Caficultor Leonardo Osorio

Observación	Fotos
<p>Marzo 3 del 2.015.</p> <p>Se retiró la flauta de entrada para observar su limpieza porque estaban taponados algunos orificios.</p> <p>Se observa nata por separación de insoluble en la parte superior, hay presencia de larvas e insecto, se revisa salida de lodos que indica entrada de mieles, están ingresando los cuatro enjuagues</p>	
<p>22 de Abril 2015.</p> <p>El reactor presenta alto número de larvas, no hay nata como tal y su color es claro, no se observa turbiedad.</p> <p>Se tomó pH entrada y salida, se observa cambio del efluente con menor concentración frente a la entrada.</p> <p>El caficultor granea a diario.</p>	
<p>Mayo 11 de 2.015.</p> <p>Continúa la presencia de larvas, pero ya se observa formación de nata más consistente en un 50% del área superficial, hay fluidez en los lodos.</p> <p>Se le pide al caficultor que al terminar la cosecha sacar completamente los lodos</p>	

<p>hasta observar la salida del agua clarificada, mezclar los lodos con la pulpa en la fosa húmeda, tomando el tiempo de salida de los lodos principalmente después de cosecha o travesía.</p>	
<p>2 de Septiembre de 2015 Se observa una nata consistente, el café cereza recolectado ha sido poco su color es café, hay presencia de larvas grandes y presenta los lodos fluidos.</p>	

Anexo C. Resultados de Laboratorio UTP

Figura 3. Informe de resultados de las Fincas El Amparo y Agua Clara

	VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN		<table border="1"> <tr><td>Código</td><td>125-LAB-105</td></tr> <tr><td>Versión</td><td>4</td></tr> <tr><td>Fecha</td><td>2015-02-06</td></tr> <tr><td>Página</td><td>2 de 5</td></tr> </table>		Código	125-LAB-105	Versión	4	Fecha	2015-02-06	Página	2 de 5
	Código	125-LAB-105										
Versión	4											
Fecha	2015-02-06											
Página	2 de 5											
INFORME DE RESULTADOS			<table border="1"> <tr> <td>INFORME DE RESULTADOS No.</td> <td>1081/15</td> </tr> </table>		INFORME DE RESULTADOS No.	1081/15						
INFORME DE RESULTADOS No.	1081/15											
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):												
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES							
Caficultor: Jair de Jesús Jaramillo Cedula: 94.263.412 Finca: El Amparo – Entrada Vereda: Santa Elena Municipio: El Águila Departamento: Valle A.S.N.M - 1860 Hora: 11:33 am Fecha: 26-11-15 pH: 4	Agua Residual	---	Noviembre 27/15	1039-1	Muestras enviadas por Servientrega y recibidas en el laboratorio por Betty Pinzón							
Caficultor: Jair de Jesús Jaramillo Cedula: 94.263.412 Finca: El Amparo – Salida Vereda: Santa Elena Municipio: El Águila Departamento: Valle A.S.N.M - 1860 Hora: 11:59 am Fecha: 26-11-15 pH: 4				1039-2								
Caficultor: José Jesús Sánchez Cedula: 6.272.036 Finca: Agua Clara - Entrada Vereda: Llano Grande Municipio: El Águila Departamento: Valle A.S.N.M - 1800 Hora: 4:26 pm Fecha: 26-11-15 pH: 4				1039-3								

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
 Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: abaquas@utp.edu.co.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

Código	19-LAB-029
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	3 de 5

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1081/15

Caficultor: José Jesús Sánchez Cedula: 6.272.036 Finca: Agua Clara - Salida Vereda: Llano Grande Municipio: El Aguila Departamento: Valle A.S.N.M - 1800 Hora: 4:07 pm Fecha: 26-11-15 pH: 4	Agua Residual	---	Noviembre 27/15	1039-4	Muestras enviadas por Servientrega y recibidas en el laboratorio por Betty Pinzón
---	---------------	-----	--------------------	--------	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					1039-1	Ū expa	1039-2	Ū expa	1039-3	Ū expa
Noviembre 27/15	pH	SM: 4500 H+-B. Electrométrico	---	UNIDADES DE PH	3,49 (21,5°C)	±0,02	3,28 (21,5°C)	±0,02	3,87 (21,3°C)	±0,02
Diciembre 02/15	Sólidos Totales	SM: 2540 B Secado a 103-105 °C. Gravimétrico	--	mg / L	4500	---	3000	---	5700	---
Noviembre 27/15	Acidez Total	Potenciométrico	--	mg CO ₃ / L	2614	---	4351	---	1620	---
	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	16352	---	15723	---	12998	---

Ū expa = incertumbre Expandida



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

Código	19-LAB-029
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	4 de 5

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1081/15

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					1039-4	Ū expa	XXX-XX	Ū expa	XXX-XX	Ū expa
Noviembre 27/15	pH	SM: 4500 H+-B. Electrométrico	---	UNIDADES DE PH	4,19 (21,8°C)	±0,02	---	---	---	---
Diciembre 02/15	Sólidos Totales	SM: 2540 B Secado a 103-105 °C. Gravimétrico	--	mg / L	1600	---	---	---	---	---
Noviembre 27/15	Acidez Total	Potenciométrico	--	mg CO ₃ / L	2012	---	---	---	---	---
	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	7662	---	---	---	---	---

Ū expa = incertumbre Expandida

Figura 4. Informe de resultados de las Fincas Las Palmas y El Edén



ACREDITADO
ONAC
ISO/IEC 17025:2005
10-LAB-029

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION**

INFORME DE RESULTADOS



Código	1231-AA-FRM
Versión	4
Fecha	2015-02-08
Página	1 de 4

INFORME DE RESULTADOS No.	231/16
---------------------------	--------

Laboratorio:	Análisis de Aguas y Alimentos
--------------	-------------------------------

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas
Día	Mes	Año		
06	04	2016	1089/15	4

DATOS DE LA EMPRESA	
Razón Social: ---	NIT o C.C.: 55-58300
Solicitante: MARIA EUGENIA CERQUERA RIVERA	Cargo: Particular
Dirección: Calle 8 No. 12-28 Piso 2 B, San Nicolás	Teléfono/Fax: 320 347 5597
Municipio/Departamento: Cartago /Valle	Correo electrónico: Maria.cerquera@cafedecolombia.com.co
Lugar de Toma de muestras: ---	Fecha de Toma de muestras: ---
Muestras tomadas por: ---	Fecha de Recepción de las Muestras: Marzo 17/16


BETTY PINZÓN
 Auxiliar Administrativo
 Elaboró


OLGA INES VALLEJO V.
 Responsable Técnico
 Matrícula PQI-0172
 Revisó


CARLOS HUMBERTO MONTOYA N
 Director de Laboratorio
 Matrícula PQI-0177
 Aprobó



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

Código	223-1AA-106
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	2 de 3



INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 234/16

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Finca 4 * Las Palmas *- entrada Hora: 10:42 am Propietario: Leonardo Osorio Ubicación: Cartago Valle - Vereda Oriente Sobre los 1500 msnm	Agua Residual	---	Marzo 30/16	230-1	Muestras entregadas en el laboratorio por María Eugenia Cerquera y recepción por Betty Pinzón.
Finca 4 * Las Palmas *- Salida Hora: 10:52 am Propietario: Leonardo Osorio Ubicación: Cartago Valle - Vereda Oriente Sobre los 1500 msnm				230-2	

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					230-1	0 expa	230-2	0 expa	XXX XX	0 expa
Marzo 30/16	pH	SM: 4500 H+-B. Electrométrico	---	Unidades de pH	3,49 (20,9°C)	--	3,96 (20,9°C)	---	---	---
Abril 04/16	Sólidos Suspendidos Totales	SM: 2540 B Secado a 103-105 °C. Gravimétrico	--	mg / L	3700	---	700	---	---	---
Marzo 30/16	Acidez Total	Potenciométrico	--	mg Ca CO ₃ / L	1803		3907	---	---	---

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos - Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

Código	223-1AA-106
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	3 de 3

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 234/16

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					230-1	0 expa	230-2	0 expa	XXX XX	0 expa
Marzo 30/16	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	16826	---	12267	---	---	---

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION

Código	231LAB-590
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	3 de 4



INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 231/16

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					209-1	Ū expa	209-2	Ū expa	209-3	Ū expa
Marzo 17/16	pH	SM: 4500 H+-B. Electrométrico	---	Unidades de pH	3,92 (20,6°C)	--	4,03 (20,8°C)	--	4,10 (20,7°C)	--
Abril 04/16	Sólidos Suspendidos Totales	SM: 2540 B Secado a 103-105 °C. Gravimétrico	--	mg / L	3125	--	2800	---	303	---
Marzo 17/16	Acidez Total	Potenciométrico	--	mg Ca CO ₃ / L	500		750	--	1250	--
	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	--	mg O ₂ /L	11628	--	7752	--	4457	--

Ū expa = Incertidumbre Expandida

Bibliografía

- [1] ACOSTA, L., Obaya, Y.& ABREU, M. C. La digestión anaerobia. Parte 1.IICIDCA. Cuba, 2005, 15p.
- [2] BERMUDEZ, Rosa C.; et al. Ventajas en el Empleo de Reactores UASB en el Tratamiento de Residuales Líquidos para la obtención de Biogas. Centro de Estudios de Biotecnología. Universidad de Oriente. Cuba, 2016, 12p.
- [3] CÁMARA MOGUEL, Karla Cristel& LINES CANEPA, José Ramón. La Digestión anaerobia y Bioquímica. Kuxulkab', revista No. 32 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México,2011, 89 – 95p.
- [4] CORPORACIÓN AUTÓNOMA DEL VALLE CVC.Plan de Acción 2012 – 2015, un Plan para la paz, Santiago de Cali, 2012, 231p.
- [5] DUICEJA GUAMBI, L. A., FARFAN TALLEDO, D. S & otros. Post Cosecha y Calidad del Café Árábigo. Colfenac& otros. Ecuador, 2004,39p.
- [6] DECRETO 3930 DEL 2010. De las Normas de Vertimientos. Bogotá, 2010, 27p.
- [7] DECRETO 4728 DEL 2010. De las Normas de Vertimientos. Bogotá, 2010, 3p.
- [8] DECRETO 1594 DEL 26 DE JUNIO DE 1984. De las Normas de Vertimientos. Bogotá, 1984, 15p.
- [9] Decreto 2667 del 2012. Reglamenta Tasa Retributiva. Bogotá, 2012, 15p.
- [10] FIELD, Jim. Aguas Residuales del Café.AgriculturalUniversity of Wageningen, Holanda, 1987, 11p.
- [11] GUARDIA PUEBLA, Yans. Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales del despulpe del beneficio húmedo del café. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, 2012, 161p.
- [13] GARCÍA ORTIZ, F., Gil Muela, M. & García Ortiz, P. P. Bebidas. Mostole. Madrid, 2004, 195p.

- [14] JAUBERT CALVO, Oscar Gerardo. Diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente (del tipo U.A.S.B.) para el tratamiento de las aguas residuales producto del beneficio de café en Coopedota RL. (Tesis Maestría). Universidad de Costa Rica, 2005, 128p.
- [15] LETTINGA, Gatzke; HULSHOFF, L.W. & otros. High-Rate Anaerobic Waste-Water Treatment Using the UASB Reactor under a Wide Range of Temperature Conditions, *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 1984, 2:1, 253 – 284, DOI: 10.1080/02648725.1984.10647801.
- [16] LETTINGA, Gatzke. Anaerobic Waste Water Treatment as an appropriate Technology for developing Countries. Holanda, 1986.
- [17] MARTI ORTEGA, Nuria. Phosphorus Precipitation In Anaerobic Digestion Process. Boca Raton, Florida – USA, 2006, 50p.
- [18] MEJÍA GONZÁLEZ, Claudia Alexandra. Informe Técnico Comité de Cafeteros Valle del Cauca, Junio 26 de 2015, 3p.
- [19] OLIVEROS TASCÓN, Carlos & ROA MEJÍA, Gonzalo. El Desmucilaginado Mecánico del Café. Avance Técnico No. 216. Cenicafé– Chinchiná, 1995, 7p.
- [11] OLIVEROS TASCÓN, Carlos E.; SANZ URIBE, Juan R.; RAMÍREZ G., César A. & TIBADUIZA V., Carlos A. Ecomill Tecnología de Bajo Impacto Ambiental. Boletín Técnico. No 432, Cenicafé - Chinchiná, 2013, 8p.
- [12] OROZCO RESTREPO, Paula Andrea. Arranque y Puesta en Marcha de un Reactor Tipo UAF, para El Tratamiento de las Aguas Residuales del Café. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 2003, 95p.
- [12] Peñuela, Gustavo & Morató, Jordi. Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas Residuales. Unesco – España. 2009, 117p.
- [13] Resolución 631 del 2015. Establece parámetros y valores límites máximos permisibles de vertimientos. Bogotá, 2015, 62p.
- [14] Resolución 1207 del 2014. Disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Bogotá, 2014, 9p.
- [15] ROA, M. Gonzalol.; et al. Beneficio Ecológico del Café. CENICAFÉ. Chinchiná – Colombia, 1999, 273p.
- [16] RODRÍGUEZ, Suyén; PÉREZ, Rosa M. & FERNÁNDEZ, Maikel. Artículo: Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas del beneficio húmedo del café. *Revista Interciencia*. Cuba, 2000, 6p.
- [17] RODRÍGUEZ VALENCIA, Nelson; et al. Beneficio del café en Colombia. Chinchiná, 2015, 37p.
- [18] Sistema de Información Cafetera SICA, Colombia, 2017.

[19] TRUEBA SANTISO, Alba María. Operación de reactores biológicos para el Tratamiento del agua. (Tesis Master). Universidad de Coruña, 2012, 36p.

[20] VILLARRAGA LOZANO, Harry Williams. Manual Técnico para la Fabricación de los Accesorios Requeridos en la Instalación de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA). Cenicafé- Chinchiná, 2009, 13p

[21] XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica. Diseño y Construcción de un Reactor de Pistón para el Tratamiento de Aguas Mieles provenientes del Beneficio Húmedo del Café. Instituto de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas, México.

[22] ZAMBRANO Franco, Diego; RODRÍGUEZ VALENCIA, Nelson; LÓPEZ POSADA, Uriel OROZCO R.; Paula Andrea & ZAMBRANO GIRALDO, Andrés Julián. Tratamiento Anaerobio de las Aguas Mieles del Café. Boletín Técnico de Cenicafé No. 29, 2006, 29p.

[23] ZAMBRANO FRANCO, Diego; ISAZA HINESTROZA, Juan D.; RODRIGUEZ VALENCIA, Nelson; & LÓPEZ POSADA, Uriel. Tratamiento de Aguas Residuales del Café. Boletín Técnico No. 20, Cenicafé - Chinchiná, 1999, 31p.

[24] ZAMBRANO FRANCO, Diego. Fermente y Lave su Café en el Tanque Tina. Avance técnico No.197, Cenicafé-Chinchiná, 1993, 8p.

DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia - Valle del Cauca - El %C3%81quila.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Valle_del_Cauca_-_El_%C3%81quila.svg)

<http://www.sswm.info/category/>

www.cafedecolombia.com

www.laguiadelcafe.org

www.ico.org