

**MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y LA REMOCIÓN DE DQO Y
DBO₅ A PARTIR DE LA DIGESTIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ INOCULADO
CON ESTIÉRCOL BOVINO EN EL MUNICIPIO DE SUAITA, SANTANDER**

LUZ MILA SALAZAR GALVIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER UIS
INSTITUTO DE PROYECCION REGIONAL -IPRED
PROGRAMA PRODUCCION AGROINDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2019

**MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y LA REMOCIÓN DE DQO Y
DBO₅ A PARTIR DE LA DIGESTIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ INOCULADO
CON ESTIÉRCOL BOVINO EN EL MUNICIPIO DE SUAITA, SANTANDER**

Autor:

LUZ MILA SALAZAR GALVIS

Código: 2105333

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título
de Profesional en Producción Agroindustrial**

Director:

IVÁN DARÍO PORRAS GÓMEZ

Ingeniero Agrícola

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER UIS

PRODUCCION AGROINDUSTRIAL

INSTITUTO DE PROYECCION REGIONAL - IPRED

BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por permitirme realizar uno de mis más grandes anhelos.

A mi esposo Wilson, por estar conmigo en las buenas y en las difíciles, por apoyarme de manera incondicional.

A mi hijo Carlos Alberto, por ser una de mis razones para seguir luchando, por toda su colaboración, orientación, palabras de aliento y motivación.

A mi hija Estefanía, por ser mi otra razón para persistir en la realización de mis metas.

A mi suegra Elizabeth, por su apoyo constante y su comprensión.

A mi cuñada María del Pilar, por su ayuda cada vez que la he necesitado.

A la Ingeniera Laura, por sus valiosos aportes al proyecto de grado.

A mi amiga Rubiela, por estar siempre pendiente de colaborarme incondicionalmente.

A Arcelia, por su amistad y colaboración en todo momento.

A María Mayerly, por su amistad y colaboración.

A Milena, por su amistad y apoyo.

A Julián, por su diligencia y colaboración.

Luz Mila

AGRADECIMENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a todos los docentes de la Universidad Industrial de Santander que dictaron cátedra en el IPRED sede Socorro quienes contribuyeron de manera decidida a mi formación como profesional, a los directivos y auxiliares de la UIS, quienes apoyan con gran dedicación el proceso educativo de tantos estudiantes, a mi director de proyecto Ing. Iván Darío Porras, por su orientación y apoyo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. DEFINICIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. Delimitación espacial	17
1.2.2. Delimitación Conceptual	17
1.2.3. Delimitación Cronológica	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. OBJETIVO GENERAL	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
4. JUSTIFICACIÓN	21
5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	23
6. REVISIÓN DE LITERATURA	24
6.1. GENERALIDADES DEL SECTOR CAFETERO	24
6.2. FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	25
6.3. BIODIGESTORES	29
6.3.1. Reactor anaeróbico en secuencia tipo batch	30
6.3.2. Cálculo del volumen del biodigestor	30
7. ESTADO DEL ARTE	31
8. DISEÑO METODOLÓGICO	33
8.1. PRESUPUESTO	37
9. DESARROLLO EXPERIMENTAL	39
9.1. PROPOSICIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR Y ARRANQUE DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN	39
10. RESULTADOS	47
10.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	47

10.2. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA	48
10.3. VARIACIÓN EN EL pH	48
10.4. REMOCIÓN DE DQO	49
10.5. REMOCIÓN DE DBO ₅	49
11. CONCLUSIONES	50
11.1. VOLUMEN DE BIOGÁS OBTENIDO POR CADA KG DE DQO REMOVIDO	50
11.2. EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DQO y DBO ₅	50
12. RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	56

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Crecimiento bacteriano dentro de los digestores	27
Gráfica 2. Partes del sistema de gas.....	30
Gráfica 3. Modelo de biodigestor tipo batch	44
Gráfica 4. Producción diaria de biogás.....	47
Gráfica 5. Variación de la temperatura.....	48
Gráfica 6. Comportamiento del pH	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Contenido sólidos totales estiércol de ganado bovino	39
Tabla 2. Contenido sólidos totales estiércol ganado bovino.....	40
Tabla 3. Características Típicas de las Aguas Residuales de los Beneficios de Café.....	42
Tabla 4. Toma de datos diarios, cantidad de biogás, temperatura y pH.....	45

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Volumen de agua necesaria para llevar al 8% el contenido de sólidos del estiércol	49
Anexo B. Caracterización fisicoquímica del sustrato para iniciar proceso de..... biodigestión anaeróbica	51
Anexo C. Caracterización final del sustrato.....	54
Anexo D. Registro fotográfico.....	55

GLOSARIO

Aguas mieles: mezcla de agua y mucílago que se obtiene durante el lavado del café

Bacterias metanogénicas: grupo de bacterias anaerobias obligadas que degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno y producen metano

Batch: lote o tanda

Biogás: gas producido por la descomposición de materia orgánica

Columna de agua: es una unidad de medida de la presión que representa el peso de una columna de agua pura

DBO₅: (Demanda Bioquímica de oxígeno). Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

Digestión anaeróbica: proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno

DQO: (Demanda química de oxígeno). Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida

Inóculo: microorganismos o sus partes (esporas, fragmentos miceliales, etc.) capaces de provocar infección o simbiosis cuando se transfieren a un huésped

Masilla epóxica: polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador son producto de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol A.

Mucílago: sustancia orgánica de textura viscosa, semejante a la goma, que contienen algunos vegetales

Sólidos volátiles: porción de la materia orgánica que puede eliminarse o volatilizarse cuando una materia orgánica se quema en un horno mufla a una temperatura de 550^o C.

Tiempo de retención hidráulico: tiempo que una unidad de fluido permanece en un recipiente

Variación de temperatura: se define como el cambio de temperatura entre el día y la noche, producido por la rotación de la Tierra

RESUMEN

TÍTULO: MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, Y LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO₅ A PARTIR DE LA DIGESTIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ INOCULADO CON ESTIÉRCOL BOVINO EN EL MUNICIPIO DE SUAITA, SANTANDER*

AUTOR: LUZ MILA SALAZAR GALVIS**

PALABRAS CLAVES: Aguas mieles, beneficio de café, biodigestor tipo batch, fermentación anaerobia, mucílago, poscosecha de café, subproductos agroindustriales.

CONTENIDO: La finca La Loma, ubicada en la vereda Gad del municipio de Suaita Santander, no cuenta con sistema de tratamiento de aguas mieles producto del lavado del café, lo cual está generando problemas de contaminación.

La presente investigación tiene por objeto evaluar la eficiencia del biodigestor anaeróbico tipo batch operado en condiciones ambientales propias de la zona con el fin de conocer el grado de descontaminación que se logra al someter el mucílago de café al proceso de digestión anaeróbica. La relación inóculo sustrato (RIS) fue de 2,84 gramos de sólidos volátiles de inóculo por gramo de sólidos volátiles de sustrato. Se tomaron muestras las cuales se enviaron al laboratorio para conocer las características iniciales y finales del sustrato. El tiempo de retención hidráulico (TRH) fue de 38 días. La temperatura máxima en horas del medio día fue de 36 °C y la mínima de 22 °C. La variación térmica entre las 5:00 a.m. y las 11:00 a.m. osciló en 15 °C. Para la medición del pH se utilizaron cintas indicadoras y la corrección de éste se hizo aplicando bicarbonato de sodio. El biogás obtenido se cuantificó mediante desplazamiento de columna de agua.

Al terminar el proceso se envió muestra al laboratorio y se pudieron establecer los siguientes resultados: DQO removidos 29.358 mg/L O₂ (60,39%), DBO₅ removidos 9.045 (48,6%). Biogás obtenido por cada Kg de DQO removido 532 litros. Al término de la investigación se pudo concluir que no se logró el grado de descontaminación esperado, puesto que según investigaciones realizadas por Cenicafe se puede llegar a superar el 80% de remoción de DQO y DBO₅ utilizando la digestión anaeróbica para tratar aguas de lavado de café. Este resultado puede atribuirse a las bajas temperaturas presentadas durante el estudio y a la dificultad para mantener el pH neutro

* Proyecto de grado

** Instituto de Proyección Regional (IPRED). Programa de Producción Agroindustrial. Director Iván Darío Porras Gómez Ing. Agrícola. Profesional Especial Agroindustrial

ABSTRACT

TITLE: MEASUREMENT OF THE PRODUCTION OF BIOGAS, AND THE REMOVAL OF COD AND BOD5 FROM THE DIGESTION OF THE COFFEE MUCILAGE INOCULATED WITH BOVINE MANNER IN THE MUNICIPALITY OF SUAITA, SANTANDER*

AUTHOR: LUZ MILA SALAZAR GALVIS**

KEYWORDS: Honey waters, coffee benefit, biodigester type batch, anaerobic fermentation, mucilage, coffee post-harvest, agro-industrial byproducts.

CONTENT: The La Loma farm, located in the village of Gad in the municipality of Suaita Santander, does not have a water treatment system that is the product of coffee washing, which is causing pollution problems.

The objective of this research is to evaluate the efficiency of the batch-type anaerobic biodigester operated at the environmental conditions of the area in order to know the degree of decontamination achieved by subjecting the coffee mucilage to the anaerobic digestion process. The substrate inoculum ratio (RIS) was 2.84 grams of volatile inoculum solids per gram of volatile substrate solids. Samples were taken which were sent to the laboratory to know the initial and final characteristics of the substrate. The hydraulic retention time (TRH) was 38 days. The maximum temperature at midday was 36 ° C and the minimum temperature was 22 ° C. The thermal variation between 5:00 a.m. and 11:00 a.m. It oscillated at 15 ° C. For the pH measurement, indicator tapes were used and the correction of this was done applying sodium bicarbonate. The biogas obtained was quantified by displacement of the water column.

At the end of the process, samples were sent to the laboratory and the following results could be established: COD removed 29,358 mg / L O₂ (60.39%), BOD₅ removed 9,045 (48.6%). Biogas obtained by each Kg of COD removed 532 liters. At the end of the investigation it was concluded that the degree of decontamination was not achieved, since according to research carried out by Cenicafé, it is possible to exceed 80% of COD and BOD₅ removal using anaerobic digestion to treat coffee washing waters . This result can be attributed to the low temperatures presented during the study and the difficulty to maintain the pH neutral.

*Graduation project

** Regional Projection Institute (IPRED). Agroindustrial Production Program. Director Iván Darío Porras Gómez
Agricultural Engineer. Special Agroindustrial Profession

INTRODUCCIÓN

La presente investigación está basada en la necesidad de encontrar formas para resolver el problema de contaminación que se produce al verter las aguas del lavado del café sin el debido tratamiento lo cual genera no solo contaminación a las fuentes hídricas sino también a los suelos y a la atmósfera.

Según estudios, una de las mejores formas para resolver este problema es el uso del biodigestor anaeróbico para degradar el mucílago del café presente en las aguas mieles. Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones del Café) ha realizado varias investigaciones referentes a este tema, logrando remoción de DQO y de DBO_5 superiores al 80%, estos datos serán usados como referencia para comparar los obtenidos al término de la presente investigación.

A nivel de campo, se presenta una serie de factores los cuales no parecen fáciles de controlar por parte de los productores de café teniendo en cuenta la variación de la temperatura y el manejo de las reacciones bioquímicas que deben darse al interior del reactor para que se lleve a cabo de manera correcta la digestión anaeróbica, siendo éstas probablemente las principales causas por las cuales no se ha adoptado esta tecnología a nivel de las fincas cafeteras. El presente estudio tiene como propósito evaluar la eficiencia del biodigestor anaeróbico tipo batch en la remoción de la contaminación de las aguas mieles producto del beneficio húmedo tradicional del café expresada en términos de DQO y DBO_5 , realizando el proceso a nivel de finca. La metodología utilizada consta de un modelo de biodigestor elaborado con botellas plásticas recicladas al cual se le ha aplicado mucílago de café inoculado con estiércol de ganado bovino. Los resultados de esta investigación se comparan con los resultados obtenidos por Cenicafé y se verifica el cumplimiento de los límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales contenidos en la resolución 631 del 17 de marzo de 2015, de esta forma se puede saber si el tratamiento ha resultado ser eficiente para replicarlo en otras fincas cafeteras.

1. DEFINICIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En una finca cafetera durante el proceso de beneficio del café se generan aguas residuales, las cuales si no reciben tratamiento adecuado se convierten en un contaminante altamente dañino para los ecosistemas. Según Cenicafe en su avance técnico 393 (Zambrano y Rodríguez, 2010), por cada kilogramo de café cereza se obtienen 91 ml de mucílago puro fermentado. En El municipio de Suaita se producen aproximadamente 7.200 cargas de café pergamino seco (c.cps), las cuales generan aproximadamente 409.000 litros de mucílago por cosecha, éstos en su mayoría son vertidos a las fuentes hídricas, ya sea en forma directa o por escorrentía cuando son arrojados a campo abierto.

Otra problemática que afrontan las fincas cafeteras es la falta de fuentes de energía renovables con las cuales se puedan llevar a cabo la cocción de los alimentos, con el agravante de que se usa la leña para la mayoría de estos procesos, lo cual está asociado a afecciones pulmonares en las personas (principalmente de las amas de casa), debido a la inhalación del humo.

En la finca La Loma se producen actualmente 2.125 kg de café pergamino seco, los cuales se obtienen de 10.200 kg de café cereza, generando 928 litros de mucílago puro. En estudio realizado en la finca se estableció que la cantidad de agua miel (cabeza de lavado) que se genera por cada kg de café pergamino seco es de 3.5 litros, es decir que en total se producen 7.437,5 litros de aguas mieles por cosecha. Estas aguas serían las que se llevarían al proceso de biodigestión para la obtención del biogás.

1.2. DELIMITACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Delimitación espacial. El municipio de Suaita está ubicado en la provincia Comunera al sur del departamento de Santander. Cuenta con aproximadamente 1.300 has de café, las cuales se encuentran en manos de pequeños caficultores. El beneficio del café se realiza en su mayoría en forma tradicional. La finca La Loma se encuentra ubicada en la vereda Gad del municipio de Suaita, a una altura de 1.700 msnm, con una temperatura promedio de 21 °C, y una pluviosidad de 2.930 mm. Cuenta con 1 ha sembrada en café variedad Castillo con un promedio de 3 años de edad.

1.2.2. Delimitación Conceptual. En la finca La Loma se realiza el beneficio tradicional del café, para lo cual se usan en promedio 4 litros de agua (3,5 L cabeza de lavado más 0,5 L de agua para enjuague) por cada kilo de café pergamino seco obtenido. Durante el proceso de fermentación se mantiene abierta la salida del tanque para que salga el mucílago que se desprende de la masa de café, el cual se recoge en un recipiente. En el proceso de lavado se separan las aguas del primero y segundo enjuague las cuales son llamadas “aguas mieles”, éstas se revuelven con el mucílago recogido durante la fermentación, esta mezcla es la que es utilizada en la presente investigación.

1.2.3. Delimitación Cronológica

ACTIVIDAD/MES	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Proyecto 1								
Investigación preliminar								
Formulación de la propuesta								
Elaboración del documento del anteproyecto								
Proyecto 2								
Desarrollo de objetivos específicos								
Toma de muestras								
Diseño del biodigestor								
Arranque del biodigestor								
Muestreos pH y temperatura								

Medición de gas producido diariamente								
Obtención de resultados								
Elaboración del documento del proyecto								

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Medir la producción de biogás, y la remoción de DQO y DBO₅ a partir de la digestión del mucílago de café inoculado con estiércol bovino en el municipio de Suaita, Santander

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un modelo a escala de un biodigestor tipo batch el cual permita medir la remoción de DQO, DBO₅ y la producción de biogás
- Registrar la producción de biogás en un lapso de 30 días y analizarla estadísticamente
- Tomar muestra inicial y final del sustrato formulado para analizar en laboratorio su DQO y DBO₅

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la eficiencia de remoción de DQO y de DBO_5 del mucílago tratado, inoculando el biodigestor con estiércol de ganado bovino, comparándolos con los obtenidos por Cenicafé durante la evaluación de un reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar aguas mieles del café?

4. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del agua es uno de los problemas más graves a los que tendrá que enfrentarse el ser humano en un tiempo no tan lejano. Algunas de las consecuencias de la contaminación del agua son pérdida de biodiversidad acuática, daños a la salud por el consumo de aguas contaminadas, disminución de la disponibilidad de agua en varias regiones del planeta entre otras. La iniciativa para esta investigación tiene su origen en la necesidad de implementar un sistema de procesamiento de los subproductos del café en la finca La Loma del municipio de Suaita Santander, teniendo en cuenta que según investigaciones desarrolladas por Cenicafé se ha podido establecer que la pulpa y el mucílago frescos, sin tratamiento, representan el 72% y el 28%, respectivamente de la contaminación resultante en el proceso de beneficio húmedo del café. (Zambrano y Zuluaga, 1993). Al remover el mucílago se producen aguas residuales y lixiviados, con una carga orgánica entre 25.000 y 110.000 ppm en términos de DQO (Zambrano et al., 1999), cifras que son demasiado altas teniendo en cuenta que la legislación ambiental en Colombia, mediante la resolución 631 del 17 de marzo de 2015 establece los límites máximos permitidos para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales los cuales son de 400 mg/L para DBO₅, Y 3000 para DQO. Actualmente en la finca La Loma se realiza tratamiento a la pulpa mediante compostaje, la cual es utilizada como abono orgánico, sin embargo el mucílago es vertido a campo abierto sin ningún tipo de tratamiento, situación que ha llevado a buscar una forma eficiente para remover dicha carga contaminante, la cual a su vez permita sacar un provecho a este subproducto, como puede ser el biogás, teniendo en cuenta que en la finca no se cuenta con un sistema de energía limpia, y el uso de la leña se constituye en la principal fuente de energía para la cocción de alimentos, situación que puede generar problemas de salud en los miembros de la familia puesto que según las investigaciones realizadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) año 2015, indican que la contaminación

del aire intramural en Colombia se asocia con 1.000 muertes al año debido a las afectaciones en las vías respiratorias por inhalación de humo.

La implementación del biodigestor anaeróbico en la finca La Loma del municipio de Suaita permitirá analizar la eficiencia en la remoción de DQO (demanda química de oxígeno) Y DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), así como la producción de biogás a partir de mucílago de café obtenido durante el beneficio húmedo tradicional del grano mediante el estudio de las siguientes variables:

1. Volumen de biogás obtenido por cada kg de DQO removido
2. Eficiencia en remoción de DQO y DBO₅

Una vez obtenidos los resultados se establecerá comparación con los datos obtenidos por Cenicafé y se verificará que el efluente cumpla con los límites máximos permitidos para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales establecidos en la resolución 631 del 17 de marzo de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). De esta forma es posible conocer si se puede recomendar que se adopte este sistema como una alternativa para reducir la contaminación y obtener energía limpia no solo a nivel de la finca La Loma, sino que podrá servir como modelo para otras fincas del municipio de Suaita, las cuales en su mayoría presentan una problemática similar.

5. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación resulta viable desde el punto de vista de la consecución de los materiales requeridos, pues en la finca La Loma se cuenta con el mucílago de café, el cual está disponible gracias a que en la finca se presenta cosecha de café durante la mayor parte del año, lo cual fue posible prever mediante los registros de floración, que permitieron conocer de antemano que durante la época de ejecución del proyecto se presentará maduración de frutos de café. Se calcula que entre los meses de mayo, junio y julio se maduren aproximadamente 2.040 kg de café cereza, equivalente al 20% de la cosecha del año 2018, al beneficiar este café se generan 1.487,5 litros de aguas mieles, En cuanto al estiércol de ganado bovino, éste será obtenido en la finca La Laguna del municipio de Suaita la cual cuenta con 40 animales los cuales producen en promedio 400 kg de excretas al día, las cuales no reciben tratamiento alguno.

Se prevén dificultades con la temperatura durante la ejecución del proyecto, pues el periodo de ensayo coincide con la entrada del periodo de lluvias en la zona lo cual hará que la temperatura descienda en horas del día, lo cual puede llevar a que el tiempo de retención hidráulico (TRH) sea mayor.

6. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1. GENERALIDADES DEL SECTOR CAFETERO

El café colombiano se encuentra clasificado a nivel mundial dentro de la categoría “cafés suaves lavados” (Rodríguez *et al.*, 2015) esta característica hace necesario el uso del agua para su beneficio. Cenicafé ha estimado que para beneficiar el café en Colombia mediante el método tradicional usando tanque de fermentación, se requieren entre 4 y 5 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco producido (Publicación Beneficio del Café en Colombia, Cenicafé 2015)

Si bien las aguas que se producen durante el beneficio húmedo del café son biodegradables, tienen características físico químicas que son muy dañinas para el ambiente como son su pH bajo, alta acidez y alto contenido de materia orgánica, las cuales las hacen entre 60 y 240 veces más agresivas que las aguas residuales domésticas. (Publicación Beneficio del Café en Colombia, Cenicafé 2015).

La industria cafetera es causante del 55% de la huella hídrica gris agrícola en Colombia (Zambrano *et al.*, 2015).

Según el informe del Comité Departamental de Cafeteros año 2014, en Santander hay 71 municipios cafeteros con 50.000 has en manos de 31.542 productores, lo que indica que el área promedio de café es de 1,58 has por caficultor. Con una producción promedio de 11,2 cargas de café pergamino seco por hectárea (Informe 85 Congreso Nacional de Cafeteros 2017). El consumo estimado de agua para beneficiar dicho café es de 350 millones de litros, la contaminación generada es muy alta en términos de DQO y DBO₅ teniendo en cuenta que los sistemas eficientes para tratamiento de aguas residuales son pocos, pues en la mayoría de los casos se limitan a un pozo de oxidación hecho en tierra y en otros casos son arrojados a campo abierto o en forma directa en los cuerpos de agua.

De acuerdo a investigaciones realizadas por Cenicafé publicadas en el avance Técnico 393, (Zambrano y Rodríguez 2010), por cada kg de DQO removido se pueden obtener 336 litros de metano.

En el municipio de Suaita, no se tiene conocimiento de que hayan existido experiencias sobre la producción de biogás a partir de mucílago de café.

6.2. FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según el manual del biogás, emitido por el gobierno de Chile en el año 2011, se deben tener en cuenta factores muy importantes en la producción de biogás como son los que se describen a continuación.

- Dentro del sistema se requiere que exista carbono y nitrógeno, también sales minerales como el azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otras. En el mucílago de café se pueden encontrar estos elementos, aunque en pequeñas cantidades (Garavito y Puerta. Cenicafé 1998)
- El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimento de las bacterias metanogénicas, el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de nuevas células. Estos microorganismos consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por esta razón se considera óptima una relación carbono/nitrógeno 30:1, cuando el contenido es de 35:1 o mayor, la descomposición de la materia es más lenta, pero el periodo de producción de gas es más prolongado. Cuando la relación C/N es menor a 8:1, se inhibe la actividad bacteriana debido a que forman grandes cantidades de amonio el cual llega a ser tóxico. El mucílago de café contiene una relación C/N de 20,4, (Quintero y Rondón 2012), lo cual lo hace una sustancia viable para la producción de biogás.
- El porcentaje de sólidos totales (ST) con que se carga el biodigestor es importante debido a que a medida que se aumentan los ST, se ve limitada la movilidad de las bacterias. Para conocer el volumen de agua a agregar, se debe conocer el contenido de ST de la materia prima fresca. En digestores

semicontinuos los ST deben estar entre el 8% y el 12%, para digestores discontinuos puede ser de 40% a 60%. El contenido de sólidos totales en las aguas mieles de café es cercano al 0.77%, (Ramírez y Oliveros 2015) lo cual indica que no hay necesidad de agregar más agua para cargar el biodigestor.

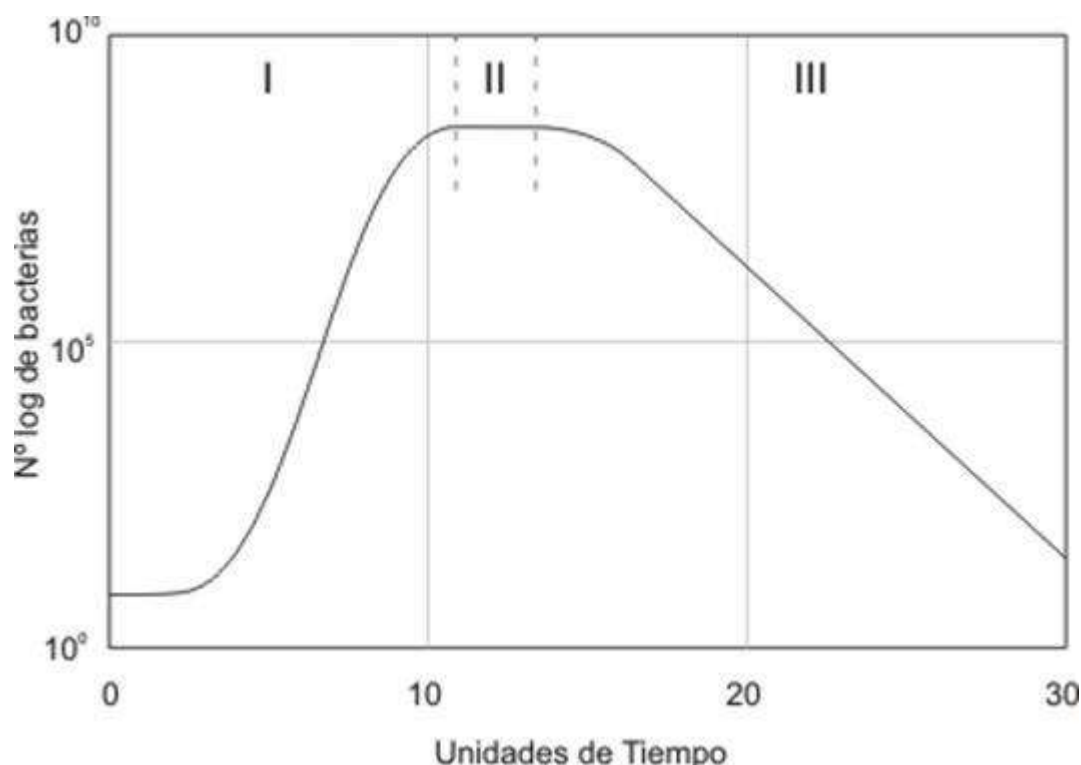
- Los sólidos volátiles (SV), es aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra cuando es sometida a 600 °C durante dos horas. Los SV contienen componentes orgánicos que se convierten en metano.
- La velocidad en los procesos biológicos depende directamente de la velocidad de crecimiento de los microorganismos y ésta a su vez depende de la temperatura, a mayor temperatura, mayor tasa de crecimiento, hasta llegar a un punto máximo. Se debe procurar mantener una temperatura homogénea. Los microorganismos anaeróbicos pueden trabajar en 3 rangos de temperatura; psicrófilos por debajo de 25 °C, mesófilos entre 25 °C y 45 °C y termófilos entre 45 °C y 65°C siendo ésta la velocidad máxima de crecimiento. Para que las bacterias metanogénicas realicen mejor sus funciones se recomienda que las variaciones de temperatura dentro del biodigestor no superen 1,2 °C/día (Varnero *et al.*, 2011).
- La velocidad de carga se refiere a la cantidad de carga orgánica aplicada diariamente al digestor y el tiempo de retención hidráulico (TRH), hace referencia al tiempo que requieren los microorganismos para degradar en su totalidad la materia orgánica (Varnero *et al.*, 2011).
- La eficiencia en la producción de biogás se determina cuantificando el volumen de producción de biogás expresado en m³ por unidad de peso de materia seca (MS) o sólidos volátiles SV ingresados al sistema (Varnero *et al.*, 2011). Para el caso de la presente investigación dicho valor será expresado en litros de biogás obtenido en relación a la cantidad de DQO removidos.
- Los microorganismos metanogénicos son particularmente susceptibles a los cambios de pH, el óptimo de actividad microbiana se encuentra aproximado a la neutralidad (6.8 y 7.4). (Varnero *et al.*, 2011).

Para ayudar a mantener el pH en rango adecuado se pueden utilizar productos como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoníaco, cal o hidróxido de sodio y potasio, de preferencia bicarbonato de sodio gracias a su alta solubilidad y poca toxicidad (Varnero *et al.*, 2011).

Es importante realizar mezclado y agitación del sustrato con lo cual se logra remover los metabolitos producidos por las bacterias, evitar la formación de costra, evitar la formación de espacios muertos y prevenir la formación de espumas y sedimentación del reactor (Varnero *et al.*, 2011).

Se distinguen 3 etapas dentro del digestor: arranque, estabilización y declinación. En la etapa de arranque es importante inocular la materia orgánica con material proveniente de otro digestor el cual sea rico en bacterias metanogénicas en plena actividad (Varnero *et al.*, 2011).

Gráfica 1. Crecimiento bacteriano dentro de los digestores



Fuente: <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2010/>

En este caso no se cuenta con material de otro biodigestor, por lo tanto se inoculará con estiércol de ganado bovino conociendo su alto contenido de bacterias metanogénicas provenientes del rumen, teniendo en cuenta que según estudio realizado en por la Universidad Industrial de Santander en el año 2016, en el cual se realizó recuento de grupos tróficos de acuerdo al Número más probable de células por concentración de inóculo ($NMP_{\text{células/gSSV}}$) reportando $2,8 \times 10^4$ arqueas metanogénicas acetoclásticas, $2,3 \times 10^4$ arqueas metanogénicas hidrogenotróficas y $2,9 \times 10^4$ arqueas metanogénicas del metanol [16] .(Castro *et al.*, 2016). Es importante tener en cuenta que estos grupos tróficos actúan mejor en rangos de temperatura mesofílica y termofílica ($30\text{ }^{\circ}\text{C} - 46\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Corrales *et al.*, 2015). Otro aspecto por el cual se optó por utilizar estiércol bovino es su facilidad para conseguirlo puesto que en la mayoría de fincas de la zona se tiene ganado tanto en el sistema estabulado como pastoreo.

El proceso de digestión anaeróbica se divide en las siguientes etapas:

- Hidrólisis

La materia orgánica polimérica debe ser hidrolizada en compuestos solubles para que pueda atravesar la pared celular de los microorganismos, durante este proceso se producen los sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. Este proceso se lleva a cabo por la acción de enzimas extracelulares y depende principalmente de factores como el contenido de sólidos, la temperatura, el tiempo de retención hidráulico, composición bioquímica del sustrato y del pH (Varnero *et al.*, 2011).

- Acidogénesis

La presencia de las bacterias acidogénicas permite eliminar toda traza de oxígeno y fermenta moléculas orgánicas solubles para que puedan ser utilizados por las bacterias metanogénicas (Varnero *et al.*, 2011).

- Acetogénesis

Ácidos grasos volátiles, etanol y algunos compuestos aromáticos son degradados a productos más sencillos como acetato e H_2 así podrán ser utilizados por las bacterias metanogénicas. En esta etapa las bacterias anaeróbicas ya han extraído todo el alimento presente en la biomasa, posteriormente los desechos celulares de éstas serán utilizados por las bacterias metanogénicas (Varnero *et al.*, 2011).

- Metanogénesis

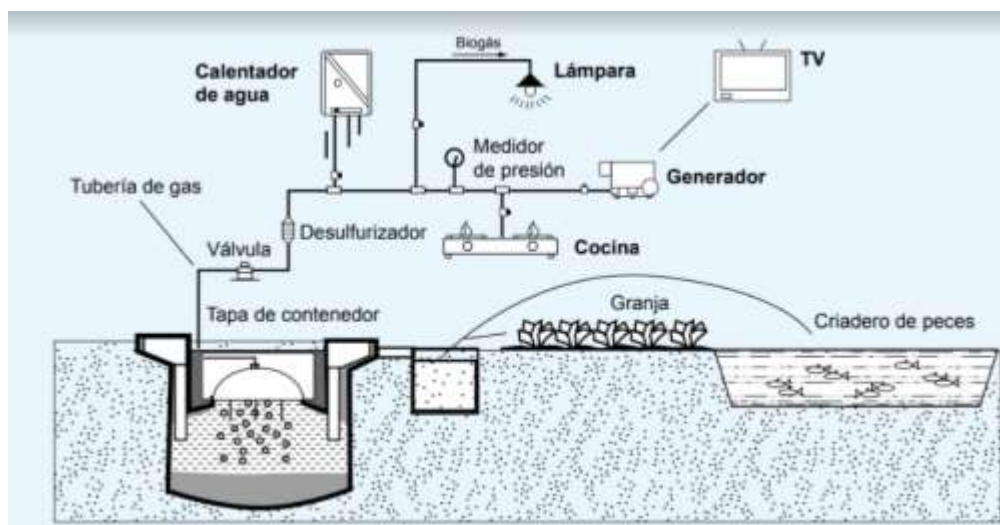
Los microorganismos metanogénicos producen el metano a partir de sustratos con dos átomos de carbono y monocarbonados, los cuales son producidos en las etapas anteriores (Varnero *et al.*, 2011).

6.3. BIODIGESTORES

El biodigestor es un recipiente hermético, impermeable, en el cual se depositan materiales orgánicos diluidos en agua para que sean degradados por microorganismos anaeróbicos y a partir de estos procesos se produzca biogás (<https://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>).

Los componentes de un biodigestor anaeróbico son: El reactor, que es el dispositivo donde se lleva a cabo el proceso bioquímico; Entrada para el afluente, normalmente está en la parte superior del digestor; Salida del efluente, pueden haber varios tubos colocados a distintos niveles de salida, para que se pueda seleccionar el que presente la salida de líquidos con el menor contenido de sólidos posibles; Salida para extracción de lodos, se colocan en el fondo del reactor, deben ser de diámetro considerable para evitar obstrucciones, conducen los lodos hacia fuera del reactor; Sistema de gas, está compuesto por la cúpula de gas, válvulas de seguridad y rompedora de vacío, apagallamas, válvulas térmicas, separadores de sedimentos, purgadores de condensado, medidor de gas, manómetro, regulador de presión, almacenamiento o reservorio de gas y quemador de los gases sobrantes (Varnero *et al.*, 2011).

Gráfica 2. Partes del sistema de gas.



Fuente: Manual del biogás

6.3.1. Reactor anaeróbico en secuencia tipo batch. Este sistema funciona por ciclos divididos en 4 etapas: Alimentación; El afluente es aplicado al reactor. Reacción; Es la etapa en la que ocurre la degradación de la biomasa. Sedimentación; Se detiene la agitación, se decantan los sedimentos y el efluente se clarifica. Descarga; Se retira del reactor el efluente clarificado. Este sistema tiene ventajas como la eficiencia en la reducción de la carga contaminante de la biomasa, pues la descarga se realiza hasta cuando se alcancen los resultados esperados, la sedimentación se realiza dentro del mismo reactor, se le saca mayor provecho a las poblaciones de bacterias que se forman en el sistema (Varnero *et al.*, 2011).

Teniendo en cuenta los aspectos descritos anteriormente se ha seleccionado este tipo de biodigestor para realizar el experimento en la presente investigación.

6.3.2. Cálculo del volumen del biodigestor. Este dato se calculará teniendo en cuenta el estudio realizado por Espinoza y coautores en el cual se plantea que para 1,714 litros de biomasa final (para este caso de sustrato inoculado) el volumen del biodigestor debe ser de 2,97 litros (Espinoza *et al.*, 2017).

7. ESTADO DEL ARTE

- El trabajo titulado Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno realizado por Eduardo Raffo Lec y Edgar Ruiz Lizama en el año 2014, describe el agua como la segunda sustancia más importante para los seres vivos después del oxígeno. Cuando el agua es utilizada por el hombre se contamina de una u otra forma, estos contaminantes pueden ser químicos, físicos o biológicos. La materia orgánica presente en el agua requiere de oxígeno para ser transformada, lo cual resta oxígeno en los ecosistemas. La DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en un medio acuoso. La DBO equivale a la cantidad de materia orgánica del agua. Teniendo en cuenta los factores anteriormente descritos junto con la necesidad de cumplir con la legislación ambiental se parte para realizar la presente investigación.
- Según la publicación Manual del Biogás (Santiago de Chile 2011) de la autoría de María Teresa Varnero Moreno, esta publicación fue apoyada por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, y el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, con el fin de contribuir al uso y fomento de las energías renovables no convencionales. El documento es un compendio de todos los aspectos a tener en cuenta para que se lleve a cabo de manera correcta el proceso de digestión anaeróbica. Como aporte a la tesis se destaca la formulación de los principios básicos fundamentales para realizar el montaje y puesta en marcha el biodigestor.
- Otro estudio de gran importancia para la tesis fue el titulado Evaluación de un reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar aguas mieles del café, realizado por Diego Antonio Zambrano Franco, Nelson Rodríguez Valencia, Paula Andrea Orozco Restrepo, Uriel López Posada en el año 2015. Durante el estudio se evaluó el desempeño de un reactor

metanogénico, tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente (UAF), fabricado en polietileno negro, con tercios de botellas plásticas no retornables, como medio de soporte de bacterias metanogénicas. Como inóculo se utilizó estiércol de ganado vacuno, encontrando que la eficiencia de remoción alcanzada fue de 86,6% en términos de la DQO, y 87,8% en términos de la DBO. Los datos obtenidos en dicha investigación serán tenidos en cuenta para comparar los que se obtengan al final del presente estudio.

- En la tesis Estudio preliminar de la producción de biogás a partir de la digestión anaerobia del mucílago de café utilizando lodo estiércol de cerdo como inóculo de la autoría de María Claudia Quintero Vega Y Yuli Paola Rondón Castro año 2012, se realizó la evaluación de la producción de metano mediante la DA de MC estudiando las variables pH, relación inóculo/sustrato y temperatura utilizando lodo estiércol de cerdo como inóculo variando el volumen de operación y dejando fijo el volumen de inóculo utilizando un reactor tipo batch. Como resultado se identificó que el lodo estiércol de cerdo es un inóculo adecuado para la degradación de mucílago de café. Se determinó que se debe realizar un control del pH puesto que la mayor producción de metano se obtuvo a pH 7.
- Su aporte a esta tesis es de gran importancia debido a que se demostró que a partir de la degradación anaerobia del mucílago de café se puede obtener biogás y que el pH juega un papel fundamental en el proceso.
- En el trabajo titulado Codigestión anaeróbica de estiércol y lodos de depuradora para producción de biogás, la investigadora Karina García Amado en el año 2009, seleccionó las condiciones de operación idóneas del proceso de codigestión anaerobia de estiércol y lodos de depuradora que optimizan la generación de biogas. Un valioso aporte a esta tesis fue el análisis fisicoquímico realizado al estiércol de bovino el cual permitió referenciar de manera teórica su contenido de sólidos totales.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo o clase de investigación	Exploratoria y explicativa
Sistema de hipótesis y variables	Es posible producir biogás a partir de la descomposición anaeróbica del mucílago del café obtenido mediante el beneficio tradicional del grano, logrando una eficiencia del 80% de remoción de DQO y de DBO₅ del mucílago tratado, inoculando el biodigestor con estiércol de ganado bovino, en la finca La Loma del municipio de Suaita Santander. Variables independientes: • Temperatura La temperatura afecta en forma directa las reacciones biológicas dentro del digestor, estudios han demostrado temperaturas entre 30 °C y 40 °C, son favorables para el metabolismo de las bacterias metanogénicas, lo cual permite un mejor desempeño del biodigestor. • pH Las bacterias metanogénicas son muy susceptibles a los cambios de pH, valores entre 6,8 y 7,2 favorecen la actividad microbiana y por ende la producción de metano.

	Variables dependientes • DQO Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica en una muestra líquida. • DBO₅ Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C. Se usa para conocer el grado de contaminación de una sustancia líquida. • Cantidad de biogás Es la mezcla de varios gases, cuyo principal componente es el metano, los cuales se obtienen mediante el proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica en una solución acuosa.
Técnica de análisis y procesamiento de la información	El proceso de digestión anaerobia se llevará a cabo en un biodigestor a escala tipo batch, hecho con botellas plásticas de 3 litros al cual se le hará una sola carga, se permitirá su reacción hasta que ya no se produzca biogás, para luego hacer la descarga del reactor y medir los resultados. 1. Para conocer la cantidad de DQO y de

	DBO₅ removidos, se calcula la diferencia entre los valores de la muestra inicial y los valores de la muestra final, las cuales serán enviadas al laboratorio para ser analizadas. 2. Para conocer la cantidad de biogás obtenido se utilizará el método de desplazamiento de columna de agua, al terminar el experimento se hará la sumatoria de los valores diarios registrados cuyo resultado será expresado en litros de biogás obtenido por cada mg/L de DQO y DBO₅ removidos, dichos valores se expresarán de esta forma teniendo en cuenta que los valores de DQO y DBO₅ indican la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica presente en el sustrato, valores que estarán directamente relacionados con la cantidad de materia orgánica que utilizarían las bacterias anaeróbicas dentro del biodigestor para producir el biogás.
Método de investigación	Se aplicará método de investigación de campo “in situ”, puesto que se llevará a cabo en la misma finca donde posteriormente sería adoptado el sistema de biodigestor como método para manejar las aguas residuales producto del beneficio tradicional del café y a la vez para la producción de biogás como fuente de energía limpia.

Fuentes de información	Como fuentes de información primarias se cuenta con los conocimientos adquiridos mediante la revisión de información descrita en los antecedentes del presente documento
Técnicas de investigación	La toma de información se realizará por el método de observación directa, se establecerá un tratamiento con 4 repeticiones y un blanco utilizando estiércol de bovino y agua para medir la cantidad de biogás producido por éste y descontarlo del volumen de biogás producido en el sustrato inoculado. La muestra inicial para enviar a laboratorio será tomada del total de sustrato inoculado y la muestra final será tomada del digestor que haya producido la mayor cantidad de biogás.
Instrumento para recolectar la información	Se tomará la información diariamente en cuanto a la cantidad de biogás producido y la variación de la temperatura, se harán lecturas de pH cada 3 días, utilizando cintas indicadoras de pH para hacer las correcciones necesarias. Para ello se emplearán registros de observación tomados en hojas de campo.
Modo de aplicación	Directa
Alcance	El estudio se realizará en el municipio de Suaita el cual está ubicado en la provincia Comunera al sur del departamento de Santander. Cuenta con aproximadamente

	1300 has de café, las cuales se encuentran en manos de pequeños caficultores. La finca La Loma se encuentra ubicada en la vereda Gad, a una altura de 1700 msnm, con una temperatura promedio de 21 °C, y una pluviosidad de 2930 mm. Cuenta con 1 ha sembrada en café variedad Castillo con un promedio de 3 años de edad.
Tiempo de aplicación	El desarrollo del presente estudio tiene su inicio el 1 de noviembre de 2017 con la investigación preliminar y la formulación de la propuesta. El desarrollo de la fase experimental será desde el 13 de abril hasta el 13 de mayo y su terminación comprende hasta el mes de junio de 2018 mes en el cual se obtienen los resultados definitivos y se elabora el documento final.

8.1. PRESUPUESTO

Concepto	Cantidad	Unidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Papelería	50	Impresiones	200	10000
Alquiler computador	1	Portátil	200000	200000
Servicio de internet	50	Horas	1000	50000
Mano de obra estudiante	160	Horas	4500	720000
Asesorías tutor	32	Horas	20000	640000
Análisis de laboratorio	2	Muestras	202000	404000
Materiales para construir los reactores, venoclisis, silicona, pegante, manguera	2	Recipientes, tuberías, accesorios	30000	60000
Termómetro	1	Unidad	30000	30000

Cintas indicadoras de pH	1	Frasco	10000	10000
Bicarbonato de sodio	1	Kg	12000	12000
Gramera	1	Unidad	15000	15000
Transportes y servicio de correspondencia	1	Costo unificado	80000	80000
Costo total				2231000

9. DESARROLLO EXPERIMENTAL

9.1. PROPOSICIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR Y ARRANQUE DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN

Después de analizar los principios que deben cumplirse para que se lleve a cabo el proceso de digestión anaeróbica y teniendo en cuenta que el biodigestor más adecuado para realizar el estudio es el tipo batch, se optó por utilizar envases plásticos de gaseosa reciclados, teniendo en cuenta que tienen gran resistencia, son fáciles de conseguir y no implican costo adicional. El sellamiento de las tapas se realizó usando masilla epoxi y pegante instantáneo para garantizar un ambiente anaeróbico al interior del reactor y para evitar escape de biogás en la botella con agua.

Para la preparación del sustrato se parte del hecho de que el estiércol de ganado bovino cuenta en promedio con 18% de sólidos totales.

Tabla 1. Contenido sólidos totales estiércol de ganado bovino. Anaeróbica de Estiércol y Lodos de Depuradora para Producción de Biogás

PARAMETRO	VALOR MEDIO	DESV. ESTANDAR
pH (lixiviado) (upH)	6,37	0,91
Sólidos Totales (%)	18,24	0,54
Sólidos Volátiles (% ST)	83,37	0,49
Amonio (mg NH ₃ -N/kg)	74,62	50,09
Nitrógeno Total Kjeldhal (% s/peso seco)	1,82	0,09
DQO Total (g O ₂ /L)	98,21	3,62
DQO Soluble (g O ₂ /L)	64,15	13,81
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	3475,00	318,20
Carbono Orgánico Total (ppm)	19235,00	975,81
Relación C/N	26,57	

Tomado de Codigestión Anaeróbica de Estiércol y Lodos de Depuradora para Producción de Biogás,
Autor: Karina García Amado para optar el título de Máster perfil Investigador Noviembre de 2009 Cádiz,
España.

También podemos encontrar en el Manual de Biogás página 37 que la cantidad de sólidos totales del estiércol de bovino está entre el 13,4% y 56,2%.

Tabla 2. Contenido sólidos totales estiércol ganado bovino

Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0
Asestín	74.0 – 80.0

Tomado de Manual del Biogás. Chile 2011

Otro aporte fue el encontrado en la publicación Diseño de Biodigestores y producción de biogás, hecha por el Instituto Costarricense de Electricidad ICE, donde se indica que para el caso del estiércol de vacuno se toma como promedio 18% de sólidos totales y lo recomendado es llevar la mezcla para alimentar el biodigestor entre un 8% a 12% de sólidos totales, para lo cual se debe agregar agua en cantidad de 2,25 partes por cada kilogramo de estiércol fresco a utilizar (Anexo A).

En el caso del estiércol recolectado para el ensayo se toma como promedio 18% de sólidos totales teniendo en cuenta la consistencia y la apariencia física del mismo.

En cuanto a la cantidad de mucílago a utilizar, se hace la aclaración que se utilizan aguas de cabeza de lavado o aguas mieles, las cuales se obtienen en el primer enjuague. Tomando como referencia estudios realizados por Liu, G. y Zhang, R. 2009, con los cuales demostraron que no se debe exceder de 3 g sv/g sv (gramos de sólidos volátiles de inóculo por g de sólidos volátiles de sustrato) ni estar por debajo de 0,5 g sv/g sv de esta forma se logra equilibrio dentro del reactor y se mejora la población de bacterias metanogénicas.

La mezcla para alimentar el biodigestor se calculó de la siguiente manera:

Para calcular los sv (sólidos volátiles) presentes en el estiércol de bovino:

- ✓ Contenido de sólidos totales aproximados en el estiércol 18%, de los cuales se estima que el 80% aproximadamente son sólidos volátiles.

Cálculo de la cantidad de sólidos volátiles presentes en 100 g de estiércol:

$$SV = (18 \times 80) / 100 = 14,4 \text{ g}$$

Para estimar los sv del sustrato mucílago de café, se tiene en cuenta el estudio realizado por Molina, G. y Villatoro, M. 2006, en el cual describen que las aguas mieles producto del lavado de café en el beneficio tradicional, poseen entre 2.980 y 4.050 mg/l de sv, en este caso se toma el mayor valor por tratarse de aguas de cabeza de lavado.

Tabla 3. Características Típicas de las Aguas Residuales de los Beneficios de Café

Parámetro determinado	Agua de despulpe del proceso	Agua de lavado de Fermentación	Agua de lavado mecánicamente
DQO mg/L	12410-16200	8100-13200	15200-21100
DBO mg/L	3450-9420	5300-7100	9520-12100
Sólidos totales mg/L	6200-8600	4100-5200	7920-10300
Sólidos volátiles.	4620-8050	2980-4050	5300-7610
N_NH3 mg/lit	14-20	11-17	18-27
Fósforo total mg/lit	20-25	13-19	21-30
Fenoles mg/L	18-55	ND	ND
pH	3.5-4.5	4.2-5.0	4.1-4.7

Tomado de Instituto Superior de Ciencia y Tecnología de La Habana

Para obtener los sv contenidos en el sustrato se calculó:

$$4050 \text{ mg}/1000 = 4,05 \text{ g/l}$$

$$\text{Relación g sv inóculo/g sv sustrato} = 14,4 \text{ g}/4,05 \text{ g} = 3,5$$

Ajustando:

$$\text{SV presentes en 80 g de estiércol} = (14,4 \cdot 80)/100 = 11,52 \text{ g sv}$$

$11,52 \text{ g sv inóculo}/4,05 \text{ g sv sustrato} = 2,84$ valor que se encuentra dentro del rango recomendado.

En este caso se agregaría agua para diluir el estiércol la cual es calculada de la siguiente manera:

$$(80 \text{ g} \cdot 225 \text{ ml})/100 = 180 \text{ ml de agua a agregar (Es decir que si para 100 g de estiércol se requieren 225 ml de agua, para 80 g se requieren 180 ml).}$$

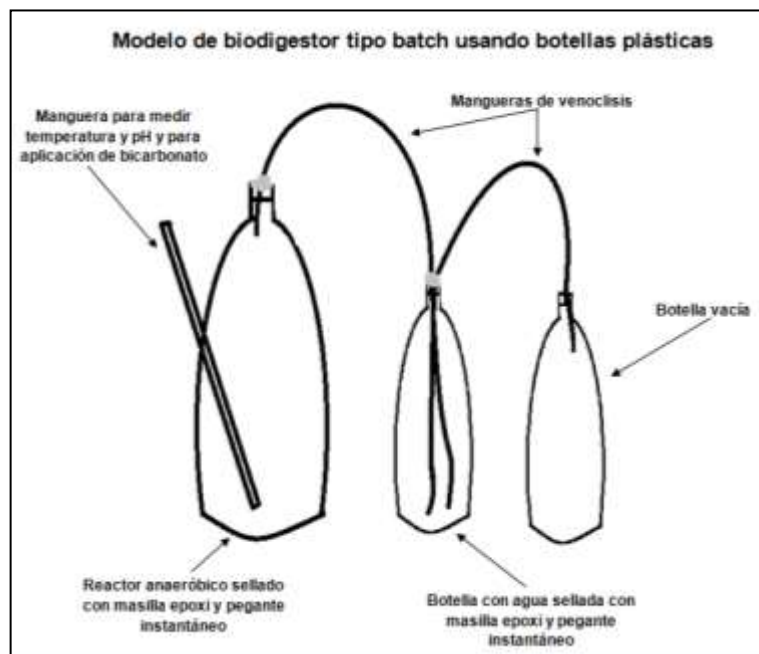
Total de la mezcla para cargar el biodigestor:

- ✓ 1 litro de mucílago de café
- ✓ 80 g de estiércol de bovino
- ✓ 180 ml de agua

Se prepara una cantidad de mezcla igual a la anteriormente descrita para ser enviada al laboratorio para realizar análisis de DBO_5 y DQO con lo cual se establecerán los parámetros de arranque del biodigestor y se podrá establecer comparativo al terminar el ensayo para determinar la eficiencia en la remoción de dichos parámetros, para ello se enviará al laboratorio muestra final. Las muestras serán tomadas y se harán llegar al laboratorio en el transcurso del día, éstas se colocarán en recipiente con gel refrigerante para inhibir los procesos microbianos. Como reactores se usaron botellas plásticas de 3 litros a las cuales se les realizó perforación hacia la parte media y se les introdujo una manguera de tal forma que el extremo interior quedará por debajo del nivel del sustrato, el propósito de esta manguera es que sirva para introducir el termómetro para medir la temperatura al interior de la mezcla y para realizar las mediciones y corrección del pH.

Una vez introducida la mezcla se procedió a sellar las botellas con la misma tapa la cual fue perforada en el centro y se introdujo una manguera de venoclisis para salida del biogás, como sellante se usó masilla epóxica y pegante instantáneo. Como válvula de presión y a la vez columna de agua para medición del volumen de biogás generado en cada reactor se colocó una botella plástica con capacidad para 340 ml, ésta se tapó con su propia tapa sellada con masilla epóxica y pegante instantáneo a la cual se le introdujeron dos mangueras de venoclisis (la manguera que viene del reactor y otra de salida), se colocó una tercera botella plástica de la misma capacidad que la anteriormente descrita a la cual se introdujo la manguera que conduce el agua que es desplazada de la segunda botella debido a la presión que ejerce el biogás que emite el reactor.

Gráfica 3. Modelo de biodigestor tipo batch.



Se montaron 4 repeticiones para no correr riesgo de que al fallar se tuviera que abandonar el experimento, también se montó un blanco el cual contiene solamente agua y estiércol de bovino, con el fin de descontar la cantidad de biogás emitida por el estiércol de vacuno de la cantidad que se obtenga en el reactor alimentado con mezcla de estiércol y mucílago.

Diariamente se realizaron lecturas de temperatura, cantidad de agua en la tercera botella y cada 3 días se hizo medición y ajuste de pH.

El ajuste de pH se realiza mediante la aplicación de bicarbonato de sodio, en las cantidades requeridas hasta obtener pH cercano a 7.

Fue necesario realizar algunas acciones con el propósito de regular la temperatura, no obstante, al tratarse de una prueba de campo es muy difícil controlar factores medioambientales, lo cual dificultó el desempeño de la actividad metanogénica, puesto que la temperatura varió considerablemente entre el día y la

noche. También se presentó época lluviosa en la zona durante el desarrollo de la investigación, lo cual hizo que la temperatura fuera aún menor.

En la tabla 4 se puede observar la medición diaria de biogás, así como la temperatura en el momento del día en que se contó con mayor presencia de brillo solar.

Tabla 4. Toma de datos diarios, cantidad de biogás, temperatura y pH

Toma de datos cantidad de biogás, temperatura, pH											
Fecha año 2018	#	R. 1	R. 2	R.2 (Litros)	R.3	Blanco	R. 5	Temperatura °C		pH	Bicarbonato aplicado (gr.
	día							11:00 a.m.	5:00 a.m.		
Abr-13	3	4	5	0,005	5	47	300	33	15	4,08	2
abr-14	2	345	430	0,43	352	38	335	35	15		
abr-15	3	320	340	0,34	435	12	452	36	16		
abr-16	4	160	110	0,11	180	1	108	22	14	3	2,5
abr-17	5	322	520	0,52	300	13	318	34	15		
abr-18	6	600	360	0,36	230	18	220	35	15		
abr-19	7	525	530	0,53	470	30	370	35	15	7,5	0
abr-20	8	72	80	0,08	95	5	80	22	14		
abr-21	9	530	560	0,56	545	10	520	36	15		
abr-22	10	1480	1520	1,52	1495	29	1500	36	16	7	0
abr-23	11	1215	1244	1,244	1235	50	1230	34	15		
abr-24	12	210	216	0,216	212	46	210	35	15		
abr-25	13	230	220	0,22	210	5	187	32	15	4	2,5
abr-26	14	795	850	0,85	830	0	845	36	16		
abr-27	15	435	430	0,43	425	0	410	35	15		
abr-28	16	425	440	0,44	435	80	420	30	15	4	2,5
abr-29	17	85	100	0,1	92	0	82	28	15		
abr-30	18	75	70	0,07	68	100	65	29	15		
may-01	19	325	336	0,336	340	0	320	28	15	4	2,5
may-02	20	17	18	0,018	19	0	15	27	15		
may-03	21	13	15	0,015	12	0	10	28	15		
may-04	22	3	5	0,005	4	0	3	23	14	7	0
may-05	23	1226	1231	1,231	1234	60	1252	35	15		
may-06	24	1108	1063	1,063	1136	58	1184	35	15		
may-07	25	931	907	0,907	902	44	953	32	15	7	0
may-08	26	812	816	0,816	823	52	864	30	15		
may-09	27	517	738	0,738	729	60	512	28	15		
may-10	28	615	557	0,557	617	60	646	30	15	7	0
may-11	29	684	433	0,433	483	50	719	31	15		
may-12	30	418	311	0,311	347	40	485	30	15		
may-13	31	281	254	0,254	297	28	286	29	15	6	1
may-16	32	209	173	0,173	234	17	209	30	15		
may-17	33	96	93	0,093	132	3	123	28	15		
may-18	34	179	186	0,186	195	1	148	31	15	6	1
may-19	35	45	53	0,053	83	0	74	30	15		
may-20	36	7	16	0,016	32	0	28	28	15		
may-21	37	9	30	0,03	45	0	26	30	15	6	0,5
may-22	38	38	5	0,005	13	0	19	31	15	5,98	0
Total		15572	15620		15521	957	15528				

El ensayo fue ubicado dentro de un secador solar para café, el cual estaba cubierto con plástico transparente.

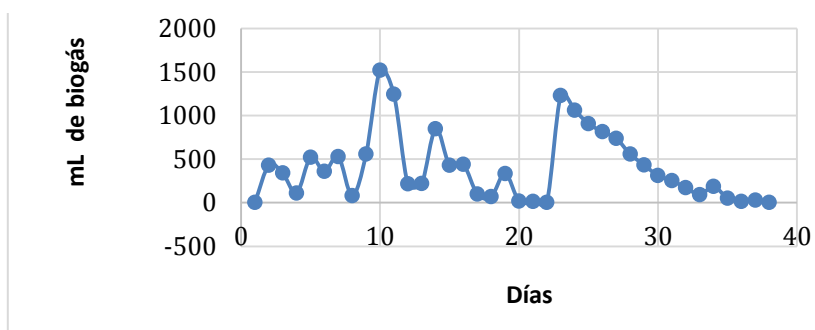
La muestra final para enviar al laboratorio se tomó del reactor # 2 teniendo en cuenta que fue el que produjo la mayor cantidad de biogás.

10. RESULTADOS

10.1. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

- La cantidad de biogás obtenida fue en promedio de 15.560,25 ml
- La mayor cantidad de biogás obtenida fue de 15.620 ml
- La muestra final para enviar al laboratorio se tomó del reactor # 2 teniendo en cuenta que fue el que produjo la mayor cantidad de biogás
- El biogás producido en el tratamiento 4 (blanco) fue de 957 ml
- Al descontar el biogás producido por el estiércol se estima que la producción real de biogás por parte del mucílago de café fue $15.620 - 957 = 14.663$ ml

Gráfica 4. Producción diaria de biogás

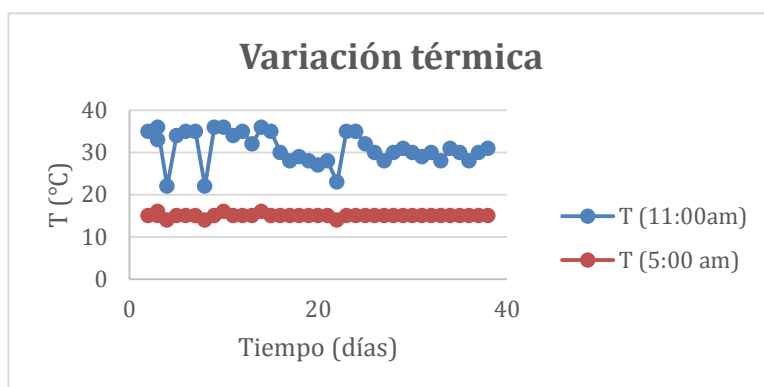


En la gráfica 4 se observan los valores del biogás producido diariamente, notándose inestabilidad en el sistema hasta el día 22; fue solo hasta el día 23 donde alcanzó mayor estabilidad, se observa también que para ese momento ya había iniciado la curva descendente en la producción de biogás. Una de las posibles causas para que se presentara esta situación es la variación en el pH, debido a la tendencia del sustrato a acidificarse en las etapas de hidrólisis y acetogénesis. Una dificultad que surgió y afectó el funcionamiento del reactor fue el hecho de haber colocado una sola manguera para medir el pH y aplicar el

bicarbonato, lo cual hacía que al momento de introducir el bicarbonato, éste causara reacción en el medio ácido y presentara burbujeo, provocando que se devolviera parte del correctivo, además pudo conducir a error al medir el pH después de la aplicación del bicarbonato.

10.2. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA

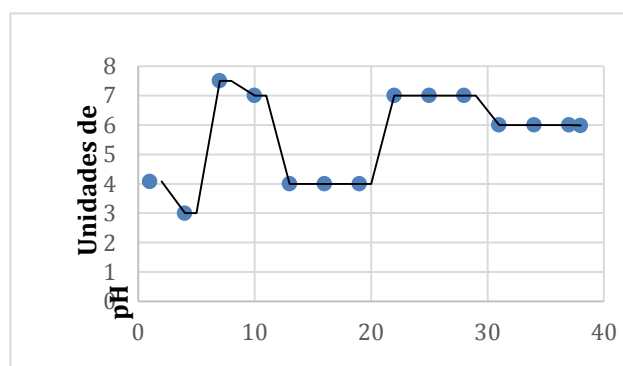
Gráfica 5. Variación de la temperatura



Los días en los que la temperatura descendió, disminuyó la producción de biogás. Uno de los inconvenientes que no permite el correcto funcionamiento del biodigestor es la variación térmica que se presenta en la zona, especialmente la diferencia entre la temperatura en horas de la madrugada y la que se registra durante el día alcanzando una diferencia que oscila en los 15 °C.

10.3. VARIACIÓN EN EL pH

Gráfica 6. Comportamiento del pH



El pH inicial fue de 4,08 (Anexo B) y el pH final fue de 5,98 (Anexo C) como se puede apreciar en la gráfica la tendencia del sustrato a acidificarse especialmente en los primeros días es permanente. Como la medición se realizó cada 3 días se presentaron caídas muy fuertes en el pH.

10.4. REMOCIÓN DE DQO

48.608 mg/L(valor muestra inicial ver anexo B) -19.250mg/L (Valor resultado final ver anexo C) = **29.358 mg/L O₂**

10.5. REMOCIÓN DE DBO₅

18600(Valor muestra inicial) – 9.555 (Valor resultado final) = **9045 mg/L O₂**

11. CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados obtenidos se pueden emitir la siguiente conclusión la cual corresponde a los objetivos propuestos:

El modelo a escala de biodigestor tipo Batch elaborado en botellas plásticas sellado con masilla epóxica y pegante instantáneo instalado en la finca la Loma del municipio de Suaita operado en condiciones de temperatura ambiente, permitió evaluar la eficiencia en la remoción de DQO y DBO₅ durante la digestión anaeróbica del mucílago de café inoculado con estiércol de ganado bovino, a su vez permitió cuantificar la cantidad de biogás producido por cada Kg de DQO removido.

11.1. VOLUMEN DE BIOGÁS OBTENIDO POR CADA KG DE DQO REMOVIDO

Este dato se calculó de la siguiente manera:

En total se removieron 0.029358 Kg de DQO y la cantidad total de biogás obtenido fue de 15,620 L, entonces:

Cantidad de biogás obtenido = 15,62 L/0.029358 Kg = 532 litros de biogás por cada Kg de DQO removido

Estimando un contenido de metano del 62% (Zambrano *et al.*, 2015), se calcula una producción aproximada de 329,8 L de metano por cada Kg de DQO removido

11.2. EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE DQO Y DBO₅

- ✓ Porcentaje de DQO removido = $(29358 \cdot 100) / 48608 = 60,39\%$
- ✓ Porcentaje de DBO₅ removido = $(9045 \cdot 100) / 18600 = 48,6\%$

- ✓ La cantidad de biogás que se obtuvo teniendo en cuenta la cantidad de kg de DQO removidos estuvo cercana a la referenciada por Cenicafé en su

avance técnico 393 (Zambrano y Rodríguez, 2010), la cual es de 336 L de metano por cada Kg de DQO removido, este cálculo se realizó teniendo en cuenta un contenido de metano cercano al 62% (Zambrano *et al.*, 2015)

- ✓ El mucílago de café inoculado con estiércol de ganado bovino al ser degradado mediante digestión anaeróbica no alcanzó el porcentaje de remoción de la carga contaminante esperada, teniendo en cuenta la obtenida por Cenicafe durante la evaluación del reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar aguas mieles de lavado de café, la cual fue de 86,6% para DQO y 87,8% para DBO₅.
- ✓ Según los parámetros fisicoquímicos máximos permisibles para vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales contemplados en la resolución 631 del 17 de marzo de 2015, el efluente obtenido al terminar el proceso de biodigestión no cumple con dicha reglamentación, pues el límite estipulado para DQO en aguas del beneficio tradicional del café no debe superar los 650 mg/L O₂ y en cuanto a DBO₅, el límite máximo está en 400 mg/L O₂
- ✓ Dentro de las posibles razones por las cuales no se alcanzaron los resultados esperados están: La temperatura, pues lo recomendable es que la variación térmica durante el día no supere 1,2 °C, (Manual del biogás pág. 39) sin embargo como se observa en la gráfica 2 la variación térmica oscila en los 15 °C, también influyó la entrada del periodo de lluvias lo cual hizo que durante el día disminuyera la temperatura por la menor incidencia de radiación solar.
- ✓ Otro factor a tener en cuenta es el pH, pues a pesar de que se monitoreó cada 3 días y se le hicieron las correcciones la tendencia a acidificarse fue permanente, lo cual dificultó mantener el pH neutro, teniendo en cuenta que las cintas indicadoras de pH no permiten una precisión en este aspecto.

12. RECOMENDACIONES

- ✓ Para la instalación del biodigestor es necesario ubicar un sitio donde se pueda aprovechar la mayor cantidad de luz solar para que ayude a aumentar la temperatura, sin embargo el interior del biodigestor debe estar protegido de la luz. Adicionalmente se debe cubrir el biodigestor con algún tipo de cobertizo, puede ser en polietileno para que aumente aún más la temperatura y ayude a amortiguar los efectos de la variación térmica.
- ✓ Para el caso de elaboración de modelo a escala del biodigestor es importante colocar dos ductos que vayan al interior del reactor en lo posible uno frente al otro para que se pueda hacer aplicación del correctivo por uno de ellos y por el otro se realice la medición del pH.
- ✓ Es importante contar con un instrumento que permita mayor precisión a la hora de determinar el pH, puesto que el rango en el que funcionan bien las bacterias metanogénicas es reducido (6.8-7.2), la medición del pH debe realizarse diariamente para mantener el pH neutro.
- ✓ Debido al descenso de la temperatura durante el período de operación del reactor, el tiempo de retención hidráulico se prolongó, por lo tanto es necesario para próximos ensayos contar con el tiempo suficiente teniendo en cuenta este tipo de inconvenientes.
- ✓ Para mayor seguridad en cuanto al cumplimiento de los límites máximos permitidos por la autoridad ambiental según la resolución 631 de 17 de marzo de 2015, se debe hacer análisis al efluente para cerciorarse que éste no excede dichos parámetros
- ✓ El biogás obtenido, después de ser pasado por los filtros para purificarlo podrá ser utilizado en la vivienda para la cocción de los alimentos. Es importante contar con un sistema de reservorio del biogás teniendo en cuenta que éste se producirá en época de cosecha y en caso de haber excedente éste se podrá aprovechar más adelante.

BIBLIOGRAFÍA

BOTERO R., T.R. PRESTON. *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas sostenibles de Producción Agropecuaria – CIPAV. Cali, Colombia. 1987. 30 p.* Disponible en: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/biodigestor.pdf>

CASTRO M., ESCALANTE H., GÓMEZ O. & JIMÉNEZ D. *Análisis del potencial metanogénico y energético de las aguas residuales de una planta de sacrificio bovino mediante digestión anaeróbica. Colombia. 2016.* Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/56796/63411>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución No. 0631. 17 de marzo de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

COTRINA, R.; VILLANUEVA, G. Biodigestores tubulares unifamiliares: Cartilla práctica para instalación, operación y mantenimiento: Soluciones Prácticas, Lima. Perú. 2013.

CORRALES, L.; ANTONINEZ, D.; BOHORQUEZ, J.; CORREDOR, A. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá. 2015.

ESPINOZA, R.; CANSECO, J.; CHÁVEZ, S.; CONRADO C.; PRÓCEL, A.; GUTIÉRREZ, R. Diseño y construcción de un biorreactor batch de bajo costo a

escala de laboratorio para la producción de gas metano a partir de biomasa residual. Sangolquí. Ecuador. 2017.

GALINDO, J.; GONZÁLEZ, N.; DELGADO, D.; SOSA, A.; GONZÁLEZ, R.; TORRES, V.; ALDANA, I.; MOREIRA, O.; SARDUY, L.; NODA, C.; CAIRO, J. Efecto del aceite de coco en la población de bacterias metanogénicas y su relación con otros grupos microbianos del rumen en condiciones in vitro. Revista Cubana de Ciencia Agrícola [en línea] 2009, 43 (Sin mes) : [Fecha de consulta: 11 de junio de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015425006>> ISSN 0034-7485.

GARCÍA A., K. Codigestión anaeróbica de estiércol y lodos de depuradora para producción de biogás. Cádiz. España. 2009.

MATUK V.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. Cenicafé 48(4): 234-252. 1997.

MOLINA, G., A. E.; VILLATORO M., R., A., Propuestas de tratamientos de aguas residuales en beneficios húmedos de café. El Salvador 2006.

MORALES, Catherine.; MEJÍA, Claudia Alexandra., evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago de café obtenidas por desmucilagador mecánico. Trabajo de grado para optar al Título de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. 2015. 90 p.

MORENO, Albert. Modelización de la dinámica de los microorganismos anaerobios sintróficos oxidantes del ácido acético (SAO). Barcelona. España. 2014.

QUINTERO M.; RONDÓN Y., Estudio preliminar de la producción de biogás a partir de la digestión anaerobia del mucílago de café utilizando lodo estiércol de

cerdo como inóculo. Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. 2012. 59 p.

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá. 2015.

RAFFO L., RUÍZ L., Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Lima. Perú 2014.

VARNERO M., M.T. Manual del biogás. Santiago de Chile 2011.

ZAMBRANO F., D. A.; RODRÍGUEZ V., N.; OROZCO R., P. A.; LÓPEZ P., U. Evaluación de un reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar aguas mieles del café. Revista Cenicafé 66(1): 32-45. 2015.

ZAMBRANO F., D. A.; RODRÍGUEZ V., N. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Marzo de 2010.

ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Cenicafé 49(4): 279-289. 1998.

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Volumen de agua necesaria para llevar al 8% el contenido de sólidos del estiércol

Diseño (3)

Volumen de agua necesaria para la mezcla

La mezcla que se introduce al biodigestor debe que tener un porcentaje de sólidos entre el 8 y 12%. Como la boñiga tiene un 18% de sólidos y la cerdaza un 22% es necesario agregar agua hasta lograr el porcentaje (%) ideal. La siguiente tabla muestra las proporciones de agua según el estiércol.

% de Sólidos ideal	Agua a agregar Cerdaza (22% ST)	Agua a agregar Boñiga (18% ST)
8	2.75	2.25
9	2.44	2.00
10	2.20	1.80
11	2.0	1.63
12	1.83	1.50

NOTA: Esto para biodigestores con sistema de agitación

Tomado de Diseño de Biodigestores y Producción de Electricidad.
<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>

Anexo B. Caracterización fisicoquímica del sustrato para iniciar proceso de biodigestión anaeróbica

 Uptc Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia INSTITUCIÓN DE ALTA CALIDAD MULTICARTE		MACROPROCESO: ADMINISTRATIVOS PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA REPORTE DE RESULTADOS Código: A-GL-E18-F05 Versión: 01		 SIG Siguiendo el futuro
		Página 1 de 2		

LABORATORIO		INGENIERÍA AMBIENTAL (UPTC)	
FECHA DE REPORTE DE RESULTADOS		16 DE ABRIL DE 2018	
CÓDIGO DE MUESTRA		IA - 063 - 2018	
DATOS DE MUESTREO			
PUNTO DE MUESTREO:	Finca La Loma		
MUNICIPIO - VEREDA:	Suaita - Santander		
FECHA Y HORA DE MUESTREO:	4:00 am 02/04/2018		
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:	9:00 am 02/04/2018		
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS:	3:00 pm 02/04/2018		
TIPO DE MUESTRA:	Lodo (mucilago)		
DATOS DEL SOLICITANTE			
ESTUDIO SOLICITADO POR	Luz Mila Salazar Galvis	E-mail	luzmilasalazargalvis@gmail.com
DIRECCIÓN DE USUARIO	Calle 5#3-44 barrio Piedras de Cal Suaita Santander	TELÉFONO	3203475589
REPORTE DE RESULTADOS parte 1			
PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	SM-5520 D Método Reflujo cerrado - Colorimétrico	mg/L O ₂	48608
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	Incubación 5 días/Winkler, S.M 5210 B	mg/L O ₂	18600
pH	pH, NTC 517 MÉTODO DE LA PASTA SATURADA	-	4.08
HUMEDAD	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	%	95.8
SÓLDOS TOTALES	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	mg/L	950.15
SÓLDOS VOLATILES	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	mg/L	38.23

 INVESTIGACIÓN CONOCIMIENTO DE PAZ	www.uptc.edu.co	Avenida Central del Norte 39-115 Tunja y en el PBX (57) 8 740 5626
---	--	---



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS

Uptc

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

MACROPROCESO: ADMINISTRATIVOS
PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS
PROCEDIMIENTO: PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA
REPORTE DE RESULTADOS



Uptc A-GL-E18-F05 Versión: 01 Página 2 de 2

REPORTE DE RESULTADOS parte 2

SÓLIDOS FUJOS	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	mg/L	3,49
---------------	---------------------	------	------

OBSERVACIONES

Los resultados analíticos del presente informe se obtuvieron siguiendo los métodos enunciados, mediante procedimientos internos del sistema de calidad y corresponden exclusivamente a la muestra recolectada; este informe no se puede reproducir parcialmente, salvo previa autorización escrita del Laboratorio.

ORDANDO VERGEL PORTILLO
Profesor encargado del Laboratorio

Edificio Centro de laboratorios Laboratorio de Ingeniería ambiental LN - 411 Extensión 2245

Anexo C. Caracterización final del sustrato

 ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD BY THE COLLEGE OF PROFESSIONALS UPTE Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia		MACROPROCESO: ADMINISTRATIVOS PROCESO: GESTIÓN DE LABORATORIOS PROCEDIMIENTO: PROCEDIMIENTO DEL SISTEMA REPORTE DE RESULTADOS		FOR EL RESPETO, LA EXCELENCIA Y EL COMPROMISO SOCIAL UPETECISTA 	
Código: A-GL-E18-F05		Versión: 01		Página 1 de 1	
LABORATORIO			INGENIERÍA AMBIENTAL (UPTC)		
FECHA DE REPORTE DE RESULTADOS			29 DE MAYO 2018		
CÓDIGO DE MUESTRA			IA - 069 - 2018		
DATOS DE MUESTREO					
PUNTO DE MUESTREO:		SALIDA DE REACTOR (MUCILAGO)			
MUNICIPIO - VEREDA:		SUAITÁ - SANTANDER (CABECERA MUNICIPAL)			
FECHA Y HORA DE MUESTREO:		20/05/2018 - 3:00 pm			
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:		29/05/2018 - 11:35 am			
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS:		06/06/2018 - 8:00am			
TIPO DE MUESTRA:		Residual			
DATOS DEL SOLICITANTE					
ESTUDIO SOLICITADO POR	LUZ MILA SALAZAR GALVIS	E-mail	luzmilasalazargalvis@gmail.com		
DIRECCIÓN DE USUARIO	Calle 5 # 3-44 Barrio Piedras de Cal	TELÉFONO	3203475589		
REPORTE DE RESULTADOS					
PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO		
pH	SM 4500 - H+ B, Método potenciométrico		5.98		
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	SM-5520 D Método Reflujo cerrado - Colorimétrico	mg/L O ₂	19250		
(DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅))	Incubación 5 días/Winkler, S.M 5210 B	mg/L O ₂	9555		
OBSERVACIONES					
Los resultados analíticos del presente informe se obtuvieron siguiendo los métodos enunciados, mediante procedimientos internos del sistema de calidad y corresponden exclusivamente a la muestra recolectada; este informe no se puede reproducir parcialmente, salvo previa autorización escrita del Laboratorio.  ORLANDO VERGEL PORTILLO Profesor encargado del Laboratorio Edificio Centro de laboratorios Laboratorio de Ingeniería ambiental LN - 411 Extensión 2245					



www.upte.edu.co

ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL DE ALTA CALIDAD
RESOLUCIÓN 6963 DE 2010 MEN
 Avenida Central del Norte - PBX 7405626 Tunja

Anexo D. Registro fotográfico



Recolección de estiércol fresco de vacuno
Finca La Laguna Municipio Suaita.



Montaje del ensayo.



Preparación mezcla estiércol mucílago.



Pesaje de estiércol.



Experimento en funcionamiento.



Pesaje del bicarbonato de sodio



Toma de temperatura.



Neutralización del sustrato.



Aplicación del bicarbonato.



Uso de cajas para cubrir en la noche de bajas temperaturas y en el día de la luz solar.